

# CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ÁREA CÁRSTICA, NO MUNICÍPIO DE SETE LAGOAS – MINAS GERAIS

Eduardo de Castro<sup>1</sup>, Celso de Oliveira Loureiro<sup>2</sup> & Daniela Alcântara Machado<sup>3</sup>

**Resumo** - Este trabalho, de natureza hidrogeoquímica ambiental, insere-se em um projeto conduzido no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - CNPMS, da Embrapa, em Sete Lagoas, MG, através de um convênio firmado com o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, da UFMG, e a Companhia de Saneamento de Minas Gerais–COPASA. A área de estudo está inserida nas microbacias dos ribeirões Matadouro e Jequitibá, afluentes do rio das Velhas, onde predominam latossolos vermelhos e vermelhos-amarelos, sobre carste calcário, no domínio geológico do Grupo Bambuí. O projeto visa a caracterização hidrogeoquímica local e o estabelecimento de um modelo hidrodinâmico sub-superficial e de transporte de contaminantes, no entorno da área do CNPMS, com foco nos eventuais cenários de contaminação das águas subterrâneas por nitratos e atrazina, possivelmente originados da aplicação de agroquímicos nos cultivos experimentais locais, principalmente de milho e sorgo. Neste artigo, é apresentada uma primeira análise hidrogeoquímica dos resultados obtidos após o primeiro ano de monitoramento de águas subterrâneas, originadas de dois sistemas aquíferos, a saber: o aquífero freático, representado por águas amostradas em cisternas rasas escavadas nos solos locais; e, o aquífero cárstico, representado por águas amostradas em poços tubulares profundos, instalados em calcários do Grupo Bambuí.

**Abstract** – An environmental hydrogeologic study is being currently conducted at the agricultural experimental field of the National Center for Research on Corn and Sorghum – CNPMS, Embrapa, in Sete Lagoas, MG, through a cooperation program signed with the Department of Sanitary and Environmental Engineering, UFMG, and the Sanitation Company of Minas Gerais – COPASA.

The study area is located at the karstic region of the Bambuí group geologic domain, within the hydrologic micro-basin of the Matadouro and Jequitibá rivers, tributaries of the Velhas River. The local soil is predominately characterized by dystrophic reddish Latosols. The study aims at characterizing the hydrogeochemistry of the local aquifer system and developing a groundwater flow and contaminant transport model for the CNPMS site. Especial interest is focused on the eventual local groundwater contamination scenarios by nitrates and atrazine, extensively used in agricultural experiments on corn and sorghum cultures, conducted in that site. This article presents a preliminary hydrogeochemical analysis of the results obtained after the first year of groundwater monitoring of two aquifer systems: the phreatic aquifer, represented by the groundwater samples collected in shallow wells; and, the karstic aquifer, represented by the samples collected in deep wells, installed within the carbonate rocks of the Bambuí Group.

## Palavras-Chave:

Águas subterrâneas, monitoramento de águas, contaminação de águas, nitrato.

<sup>1</sup> Doutorando, Geólogo, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Professor do Colégio Técnico, UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Pampulha, Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP 31.270-901. Tel: +55 (31) 3409-4959, Fax: +55 (31) 3409-4969, E-mail: [eduardo@coltec.ufmg.br](mailto:eduardo@coltec.ufmg.br).

<sup>2</sup> Ph.D., Professor Associado de Hidrogeologia Ambiental, DESA - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Escola de Engenharia – UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Pampulha, Av. Antônio Carlos, 6627 - Sala 4524 – Bloco I, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP: 31270-901, Tel.: +55 (31) 3409-1884, Fax: +55 (31) 3409-1879, E-mail: [celso@desa.ufmg.br](mailto:celso@desa.ufmg.br).

<sup>3</sup> Mestranda, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Pampulha, Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP 31.270-901, Tel.: +55 (31) 3409-1947, Fax: +55 (31) 3409-1879, E-mail: [daniourop@yahoo.com.br](mailto:daniourop@yahoo.com.br).

## 1. INTRODUÇÃO

Este artigo descreve os resultados de análises físico-químicas, obtidos em dezoito meses de monitoramento de águas subterrâneas, em terras do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – CNPMS/EMBRAPA, situadas em uma região cárstica, no município de Sete Lagoas, em Minas Gerais.

O monitoramento dessas águas integra um projeto de pesquisa que tem, como um dos propósitos, investigar sua contaminação por nitratos e pelo herbicida atrazina, e que está em desenvolvimento desde maio de 2008. Este projeto, previsto para ser concluído em outubro de 2011, concretizou-se através de um convênio estabelecido entre Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA/UFMG, o CNPMS e a Companhia de Saneamento de Minas Gerais–COPASA.

O período de monitoramento descrito neste artigo inicia-se em maio de 2008 e encerra-se em novembro de 2009.

A sede do Centro Nacional de Pesquisa do Milho e Sorgo – CNPMS, da EMBRAPA, situa-se no município de Sete Lagoas, a cerca de 80 km de Belo Horizonte. Localiza-se no km 65 da rodovia estadual MG 424, aproximadamente a 12 km da sede municipal de Sete Lagoas. Sua área estende-se por mais de 2.000 ha, até o município de Prudente de Moraes, na área de influência de Sete Lagoas (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 2005).

A implantação deste Centro, na região de Sete Lagoas, remonta às primeiras décadas do século XX, cuja localização, segundo Nogueira (2003), deve-se ao fato de estar em uma área de transição entre a mata Atlântica e o cerrado, assim considerada a porta de entrada do cerrado brasileiro.

A cidade de Sete Lagoas, apesar da proximidade de Belo Horizonte, é um polo regional em torno da qual gravitam várias cidades. No município destaca-se produção de ferro gusa. Nele e nos municípios vizinhos existem expressivas jazidas de calcário, que suprem importantes indústrias de cal e cimento (Nogueira, 2003).

Na área do CNPMS, realizam-se cultivos experimentais intensivos, principalmente de milho e sorgo e, secundariamente, de soja e de outras espécies vegetais, com objetivos diversificados, tais como: desenvolvimento e adaptação de linhagens; produtividade; manejo de pragas e doenças; desenvolvimento de tecnologias; manejo de solos e das culturas; e, desenvolvimento de tecnologias associadas (EMBRAPA, 2005). Esses cultivos são realizados em áreas irrigadas e em áreas de sequeiro, com adubação por adubos sintéticos de formulação geral, do tipo NPK, ou seja, nitrogênio, fósforo e potássio, e herbicidas comerciais, cujo composto ativo é, principalmente, a atrazina.

### 1.1 Descrição da Área de Estudo

A área do CNPMS está totalmente inserida na bacia hidrográfica do rio das Velhas. Sua localização está ilustrada na Figura 1.1, com um destaque para algumas cidades, na área de influência de Sete Lagoas e de Belo Horizonte. Localmente, a rede hidrográfica é bastante pobre, não possuindo cursos d'água de grande volume, à exceção do próprio rio das Velhas, que constitui o limite oriental da região de interesse do estudo.

Em escala local, a área de estudo está inserida nas microbacias dos ribeirões Matadouro e Jequitibá. Sendo o primeiro, afluente do ribeirão Jequitibá e, este, um dos principais afluentes do rio das Velhas, em seu médio curso, ao norte da região metropolitana de Belo Horizonte.

Os principais acessos ao CNPMS são através da rodovia federal Br 040, Rio de Janeiro-Belo Horizonte-Brasília e pela rodovia estadual MG 424, que partindo de Belo Horizonte passa pelos municípios de Vespaziano, Pedro Leopoldo e Matozinhos, chegando a Prudente de Moraes, de onde se alcançam as instalações do CNPMS e da EPAMIG.



**Figura 1.1** - Localização da área de estudo

A delimitação geográfica da área de interesse é apresentada na Figura 1.2, sobre imagem de satélite obtida do Google Earth. Na área fluem dois ribeirões perenes, da sub-bacia do rio Jequitibá, um dos afluentes da margem esquerda do rio das Velhas, a saber: o ribeirão Matadouro que atravessa a área em sua porção norte, fluindo de NW para NE e o ribeirão Jequitibá, que flui de SE para NE, em boa parte dentro das terras da fazenda experimental do Gortubam, um centro de pesquisa da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, limítrofe com as terras do CNPMS.

Na Figura 1.2 apresenta-se uma síntese da geologia da área de estudo, mostrada em mapa geológico preliminar, sobre imagem de satélite obtida do Google Earth, adaptada de Projeto Vida (2003). Do ponto de vista geológico, encontram-se presentes rochas polimetamórficas, representadas por gnaisses diversificados, associados a granitóides e migmatitos. Essas rochas arqueanas cortadas por uma série de intrusões básicas e veios quartzofeldspáticos, de idades ainda não bem definidas, foram reunidas sob a denominação de Complexo Gnáissico-Migmatítico Indiviso (Agngr), conforme o Projeto Vida (2003).

Grosso modo, sobre essas rochas depositaram-se os sedimentos que deram origem às rochas subjacentes, pertencentes ao Grupo Bambuí, atribuídas ao Proterozóico Superior. Segundo Tuller e Ribeiro (1992), citado em Cabral (1994), o Grupo Bambuí é subdividido, na área, em duas formações, a saber: Formação Sete Lagoas; e, Formação Serra de Santa Helena (NPbsh).



ou constituindo depósitos horizontais sobre as superfícies arrasadas dessas rochas. Trata-se de depósitos argilo-silticos de cobertura, depósitos argilosos em cavidades cársticas e aluviões e terraços aluvionários (Cabral, 1994). Nesse contexto geológico, situa-se a região de interesse para este estudo, circunscrevendo a área do campus experimental do CNPMS.

## 2. METODOLOGIA

Para realização dos estudos hidrogeoquímicos foram estabelecidas as cinco seguintes etapas metodológicas: 1) cadastramento dos pontos de amostragem e preparação do plano de amostragem; 2) amostragem mensal de águas nos pontos de amostragem; 3) realização de análises físico-químicas e bacteriológicas; 4) preparação de um banco de dados, em planilhas de cálculo eletrônico; e, 5) avaliação e análise dos resultados.

Essas etapas são dinâmicas, acompanhando a evolução do projeto de pesquisa, que se estenderá até outubro de 2011, podendo ser ainda ampliado. Uma descrição sumária de cada uma das etapas metodológicas é apresentada a seguir.

**Etapa 1** – desenvolvida de fevereiro de 2007 a março de 2008. Nesta etapa, foi preparada uma cartografia preliminar da área de estudo e realizado um inventário de campo de pontos de águas subterrâneas e superficiais, passíveis de amostragem. Durante esse inventário, realizou-se a descrição de aspectos geológicos, geomorfológicos e outros aspectos de interesse, dos possíveis pontos de amostragem. As coordenadas UTM desses pontos foram capturadas com GPS e fez-se um inventário fotográfico.

Preliminarmente, foram inventariados e cadastrados 55 pontos, para monitoramento mensal de águas subterrâneas e superficiais, na área circunscrita apresentada na Figura 1.2, e no seu entorno.

Esses pontos foram classificados, qualitativamente, em função dos seguintes critérios: localização geográfica e distribuição espacial; facilidade de acesso; natureza da água; transporte do material para amostragem da água; facilidade de realização de medições *in situ*; e perenidade da fonte.

**Etapa 2** – em acordo com técnicos da Copasa foi estabelecida a amostragem mensal nos pontos de água cadastrados, a realizar-se nas três primeiras semanas do mês e nos dois primeiros dias úteis da semana. Por razões de ordem operacional, do laboratório central da Copasa, de todo o conjunto de pontos inicialmente cadastrados, foram escolhidos 30 pontos para compor o plano final de amostragem e monitoramento.

Os pontos de amostragem foram designados por uma simbologia, estabelecida da seguinte forma:  $SxDy-n$ , em que  $x$  designa a semana do mês;  $y$  designa o dia da semana, 1 ou 2, e  $n$  o ponto de amostragem cadastrado, perfazendo um total de cinco pontos de amostragem, determinados pela sua proximidade geográfica, para cada dia de coleta.

Na Tabela 2.1, apresenta-se, sinteticamente, como a rotina de amostragem de água tem sido cumprida, para o conjunto de 30 pontos de amostragem.

**Tabela 2.1** - Sumário da rotina de amostragem de águas no CNPMS

| Identificação para amostragem | Rotina de amostragem                        |
|-------------------------------|---|
| $S1D1-n$                      | primeiro dia útil da primeira semana do mês |
| $S1D2-n$                      | segundo dia útil da primeira semana do mês  |
| $S2D1-n$                      | primeiro dia útil da segunda semana do mês  |
| $S2D2-n$                      | segundo dia útil da segunda semana do mês   |
| $S3D1-n$                      | primeiro dia útil da terceira semana do mês |
| $S3D2-n$                      | segundo dia útil da terceira semana do mês  |

Para a amostragem em cada ponto, emprega-se um conjunto de 12 frascos, preparados e identificados no laboratório central da Copasa, conforme o parâmetro ou parâmetros a quantificar,

na semana que antecede a amostragem. O conjunto de frascos para as coletas da semana levados ao CNPMS no primeiro dia de coleta, pelos técnicos responsáveis pelo trabalho de amostragem.

**Etapa 4:** as análises físico-químicas e bacteriológicas, tanto para as amostras de águas subterrâneas, como para as amostras de águas superficiais, compreendem os parâmetros indicados nas Tabelas 2.2 e 2.3, de acordo com o plano de monitoramento estabelecido.

**Tabela 2.2** - Substâncias químicas mais frequentes<sup>(1)</sup> nas águas subterrâneas

|  |                       |                       |                      |                    |                      |
|--|-----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| I) Constituintes principais ou maiores   |                       |                       |                      |                    |                      |
| Cálcio                                   | Magnésio              | Ferro                 | Potássio             | Sódio              |                      |
| Bicarbonato                              | Carbonato             | Cloreto               | Nitrato <sup>2</sup> | Sulfato            |                      |
| II) Constituintes secundários ou menores |                       |                       |                      |                    |                      |
| Brometo                                  | Fluoreto              |                       | Fosfato              | Sílica             |                      |
| Compostos fenólicos <sup>2</sup>         | Manganês <sup>3</sup> |                       |                      |                    |                      |
| III) Constituintes traço                 |                       |                       |                      |                    |                      |
| Alumínio                                 | Arsênio <sup>4</sup>  | Bário <sup>4</sup>    | Cádmio <sup>4</sup>  | Cobre <sup>3</sup> | Cobalto <sup>3</sup> |
| Chumbo <sup>4</sup>                      | Cromo <sup>4</sup>    | Mercúrio <sup>4</sup> | Selênio <sup>4</sup> | Zinco <sup>3</sup> |                      |

1) Substâncias presentes com maior frequência na água subterrânea, que também podem estar presentes em águas superficiais.

2) Poluentes provenientes de fertilizantes, de fossas e esgotos sanitários, da oxidação de pesticidas, da degradação microbiana de herbicidas, de efluentes industriais.

3) Micronutrientes usados na agricultura

4) Elementos tóxicos

**Tabela 2.3** - Parâmetros adicionais de caracterização da qualidade da água

| Grupos de Parâmetros                       | Determinações   |
|--|---|
| Físico-Químicos Inorgânicos <sup>(1)</sup> | pH, Eh (pE), Condutividade Elétrica, Cor, Turbidez<br>Sólidos Totais Dissolvidos (STD)<br>Oxigênio Dissolvido (OD), Dureza Total<br>Acidez, Alcalinidade (bicarbonato, carbonato e total)<br>Nitrito, Nitrogênio (amoniaco, orgânico e total)<br>Sulfato e Sulfeto. |
| Físico-Químicos Orgânicos                  | DBO, DQO, Óleos e Graxas  |
| Bacteriológicos                            | Coliformes Fecais, Coliformes Totais  |
| Especiais                                  | Atrazina  |

O conjunto de frascos, com as amostras do dia, é acondicionado em caixas de isopor, imerso em gelo, e enviado para o laboratório central, sendo recebido até às 17h, ainda no dia da coleta, e armazenado sob-refrigeração até o momento das análises.

A preparação dos frascos de amostras e as análises físico-químicas e bacteriológicas são realizadas segundo metodologias do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, para cada um dos parâmetros determinados nas Tabelas 2.2 e 2.3.

**Etapa 5:** os resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas são reportados em planilha impressa, em papel, após liberação pelo responsável técnico do laboratório central da Copasa, com uma frequência variável, em função da demanda de serviços do laboratório.

Após o recebimento, os resultados são digitados em planilha eletrônica, no mesmo formato em que são apresentados impressos, em uma sequência mensal, constituindo o banco de dados originais. Para usos desses dados em análises estatísticas e hidrogeoquímicas, deve-se copiar os dados originais para outra planilha, de modo a manter íntegros os dados originais.

Apresenta-se a seguir uma análise ainda preliminar dos resultados das análises físico-químicas para o conjunto de amostras de águas subterrâneas, referentes aos primeiros 18 meses de monitoramento dessas águas, compreendendo 6 poços tubulares, 7 cisternas e 3 surgências.



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Avaliação preliminar dos resultados analíticos

Dos parâmetros listados nas Tabelas 2.1 e 2.2, excluiu-se o brometo e o Eh do programa de monitoramento, por razões de ordem técnica do laboratório central da Copasa. Inicialmente, previa-se que as 18 campanhas de amostragem, realizadas nos primeiros 18 meses de monitoramento, totalizariam 13.536 resultados, ou seja, 752 resultados mensais, para o conjunto de parâmetros monitorados, em cada ponto de amostragem de água subterrânea, estabelecidos no programa de monitoramento. Entretanto, devido a dificuldades ocorridas na amostragem, ou no laboratório, os resultados das análises para as amostras de alguns dos pontos de monitoramento não foram reportados. Deste modo, do total de resultados previstos, foram reportados 12.786 resultados, o que corresponde a cerca de 94% dos resultados, ocorrendo apenas 6% de perdas.

Para fins de análise hidrogeoquímica, os parâmetros ortofosfatos, alcalinidade bicarbonato, nitratos, nitritos e nitrogênio amoniacal (reportados respectivamente como: mg/L de P; mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; e mg/L de N, nas planilhas de resultados de análises, emitidas pelo laboratório central da COPASA) foram transformados respectivamente em mg/L de  $\text{PO}_4^{3-}$ , mg/L de  $\text{HCO}_3^-$ , mg/L de  $\text{NO}_3^-$ , mg/L de  $\text{NO}_2^-$  e mg/L de  $\text{NH}_4^+$ . Desta forma, os valores das concentrações dessas espécies foram obtidos pela aplicação de fatores estequiométricos de conversão. Assim, as concentrações dos anions nitrato e bicarbonato apresentadas neste artigo, foram obtidas do seguinte modo:

$$\begin{aligned} -\text{mg/L de HCO}_3^- &= \text{mg/L de CaCO}_3 \times 1,22 \text{ ( para água com pH menor ou igual a 8,3); e,} \\ -\text{mg/L de NO}_3^- &= \text{mg/L de N} \times 4,4266. \end{aligned}$$

A avaliação da qualidade dos resultados analíticos pode ser feita através do cálculo de um balanço iônico, ou erro analítico, fundamentado no fato de que, em uma análise química completa, a concentração total dos cátions, expressa em miliequivalentes por litro, deve ser igual, ou no mínimo bem próxima, à dos anions. O valor da desigualdade, expressa em porcentagem, é definido como o erro da análise.

Este balanço, em geral, é executado para a concentração das espécies presentes em quantidades maiores, ou seja, as concentrações dos cátions sódio, potássio, cálcio, magnésio e dos anions bicarbonato, cloreto, nitrato e sulfato, através da aplicação da Equação 3.1, podendo considerar outras espécies iônicas, conforme o caso em estudo.

$$\text{Erro analítico (\%)} = \left( \frac{\sum \text{cátions} + \sum \text{anions}}{\sum \text{cátions} - \sum \text{anions}} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Deve ser notado que na Equação 3.1, a soma das concentrações dos ânions deve ser expressa com sinal negativo, em coerência com a carga negativa das espécies aniônicas.

Para análises de rotina, Deutsch (1997) considera que o erro analítico do balanço iônico não pode ser superior a 5% e, segundo Feitosa e Filho (2000), nunca superior a 10%, para que a análise possa ser considerada analiticamente correta. Custódio e Llamas (1983) distinguem entre erro prático e teórico, sendo o último o erro prático máximo permitido, considerando a condutividade elétrica da água, conforme sumarizado na Tabela 3.1. Já Appelo e Postma (2005) afirmam ser inevitável uma diferença de 2% no balanço iônico. E, mais, consideram que a ocorrência de desvios superiores a 5% exige um exame dos procedimentos de amostragem e analíticos.

**Tabela 3.1** - Erro teórico permitido para avaliar qualidade de análise de água

| Condutividade elétrica ( $\mu\text{S/cm}$ ) | 50 | 200 | 500 | 2000 | >2000 |
|---|----|-----|-----|------|-------|
| Erro permitido (%)                          | 30 | 10  | 8   | 4    | <4    |

Neste balanço devem ser consideradas apenas as espécies iônicas. Assim, a priori, a amostra deveria ser filtrada, no momento da coleta, para remoção do material em suspensão (Deustch, 1997). Este cuidado não tem sido observado, durante as coletas no campo e na transferência das amostras para os frascos apropriados, pois implicaria em uma dificuldade operacional durante a amostragem das águas.

Em princípio, as principais causas de erro resultam: de uma técnica analítica inadequada; de falhas no procedimento de amostragem e de análise; de um intervalo de tempo demasiadamente longo de armazenamento; e, da presença de outros íons não quantificados, existentes em quantidades apreciáveis na água. Além disso, quando a água é pouco mineralizada, pequenas diferenças nos resultados analíticos podem ser relativamente significativas quando comparadas com o total de ânions e cátions, o que invariavelmente resulta em erros apreciáveis no balanço iônico.

Na Tabela 3.2 apresenta-se a distribuição de erros analíticos para os resultados das análises físico-químicas das amostras de águas subterrâneas, calculados de acordo com a Equação 3.1, em função de intervalos de condutividade elétrica das amostras, medidas em laboratório.

Apesar de existir uma relação entre a condutividade elétrica e o erro analítico, essas grandezas não são diretamente relacionáveis, ou seja, a condutividade elétrica não é uma variável independente e o erro uma função da condutividade.

**Tabela 3.2 - Intervalos de Condutividade Elétrica e Distribuição dos Erros Analíticos**

| Condutividade Elétrica (CE)       |             | Erro Analítico |     |                          |              |                      |
|-----------------------------------|-------------|----------------|-----|--------------------------|--------------|----------------------|
| Intervalo<br>( $\mu\text{S/cm}$ ) | Frequência* | Frequência*    |     | Intervalo<br>(%)         | Média<br>(%) | Desvio Padrão<br>(%) |
|                                   | (CE)        | (-)            | (+) |                          |              |                      |
| $\leq 50$                         | 45          | 42             | 3   | $-60,8 \leq E \leq 6,9$  | -19.0        | 34.0                 |
| $50 < CE \leq 100$                | 12          | 11             | 1   | $-25,6 \leq E \leq 8,6$  | -9.5         | 14.4                 |
| $100 < CE \leq 150$               | 25          | 20             | 5   | $-83,8 \leq E \leq 39,8$ | -25.9        | 43.9                 |
| $150 < CE \leq 200$               | 15          | 13             | 2   | $-83 \leq E \leq 8,1$    | -13.9        | 34.2                 |
| $200 < CE \leq 250$               | 100         | 85             | 15  | $-76,6 \leq E \leq 46,5$ | -14.6        | 51.6                 |
| $250 < CE \leq 300$               | 27          | 20             | 7   | $-61,1 \leq E \leq 96,6$ | 5.5          | 68.0                 |
| $300 < CE \leq 350$               | 25          | 15             | 10  | $-34,6 \leq E \leq 11,6$ | -4.2         | 16.3                 |
| $350 < CE \leq 400$               | 5           | 2              | 3   | $-31,7 \leq E \leq 7,3$  | -4.3         | 18.5                 |
| $400 < CE < 500$                  | 5           | 4              | 1   | $-35,9 \leq E \leq 1,5$  | -17.2        | 26.4                 |
| $15 \leq CE \leq 480$             | 259         | 212            | 47  | $-60,8 \leq E \leq 96,6$ | -11.9        | 20.5                 |

\* Valores absolutos

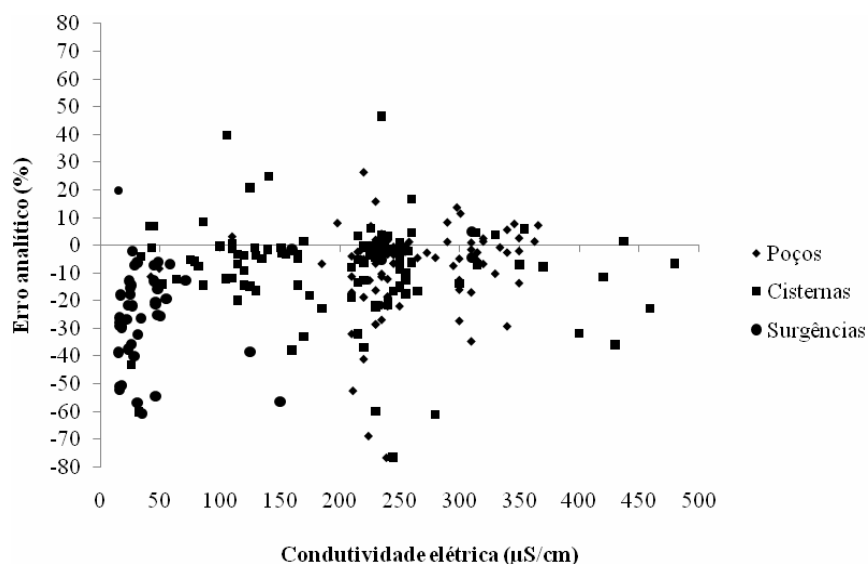
Na Figura 3.1 apresenta-se um diagrama de distribuição dos erros analíticos e as condutividades elétricas medidas em laboratório, para as águas subterrâneas.

Observa-se, no diagrama, que os valores dos erros analíticos mostram-se, predominantemente, negativos, fato que ainda está sendo avaliado.

Considerando, a partir da observação do diagrama mostrado na Figura 3.1, um intervalo de  $\pm 20\%$  em torno de zero, para a aceitabilidade do erro analítico, verificam-se os seguintes percentuais de resultados aceitáveis:

- para o conjunto de amostras dos poços tubulares, 82% das amostras analisadas apresentaram resultados aceitáveis;
- para o conjunto de amostras das cisternas, 80% das amostras analisadas apresentaram resultados aceitáveis; e,
- para o conjunto de amostras dos poços surgências, 47% das amostras analisadas apresentaram resultados aceitáveis.





**Figura 3.1-** Distribuição de erros analíticos de balanço iônico.

Para as amostras das surgências, em uma avaliação ainda preliminar, não é de surpreender o fato do menor percentual de resultados aceitáveis, pois essas águas apresentam condutividades elétricas expressivamente menores que as demais. Portanto, seu conteúdo iônico é pequeno o que pode acarretar concentrações próximas dos limites de detecção, dos métodos de análise utilizados, o que em princípio acarretaria um aumento do erro relativo na medida das concentrações assim, refletindo no balanço iônico.

Apesar de boa parte dos resultados apresentarem-se aceitáveis, considerando o critério qualitativo estabelecido, verifica-se o predomínio de resultados negativos dos balanços iônicos, a saber: 69% para os resultados das amostras dos poços tubulares; 78% para os resultados das amostras das cisternas; e, 91% para os resultados das amostras das surgências. Esta tendência está sendo investigada e analisada com maior cuidado.

Nas Tabelas 3.3 a 3.5 apresenta-se uma síntese dos balanços iônicos calculados para as análises físico-químicas das amostras dos poços tubulares, das cisternas e das surgências. Esses balanços foram calculados considerando-se as amostras coletadas durante 18 meses, consecutivos. Desta forma, foram considerados dois períodos de estiagem e um período chuvoso.

**Tabela 3.3 -** Resumo estatístico - balanços iônicos e condutividades elétricas: poços

| Amostra | Período       | Estiagem (1) |            | Chuvoso (1) |            | Estiagem (2) |            |
|---------|---------------|--------------|------------|-------------|------------|--------------|------------|
|         |               | Erro (%)     | CE (µS/cm) | Erro (%)    | CE (µS/cm) | Erro (%)     | CE (µS/cm) |
| S1D1-5  | Média         | -8.4         | 298        | -2.4        | 243        | 0.02         | 329        |
|         | Desvio padrão | 11.4         | 19         | 5.7         | 129        | 9.36         | 29         |
|         | Mínimo        | 1.5          | 265        | 3.2         | 49         | 12.45        | 298        |
|         | Máximo        | 27.2         | 320        | 10.2        | 340        | 13.74        | 363        |
| S2D1-4  | Média         | -10.5        | 224        | -5.2        | 230        | -13.0        | 231        |
|         | Desvio padrão | 5.0          | 15         | 7.1         | 3          | 31.4         | 28         |
|         | Mínimo        | 0.1          | 210        | 2.1         | 225        | 8.1          | 198        |
|         | Máximo        | 31.9         | 250        | 16.2        | 235        | 68.7         | 273        |
| S2D2-2  | Média         | -13.3        | 232        | -10.2       | 243        | -15.2        | 209        |
|         | Desvio padrão | 9.2          | 10         | 12.7        | 9          | 30.4         | 82         |
|         | Mínimo        | 1.1          | 220        | 0.3         | 230        | 1.8          | 42         |
|         | Máximo        | 21.9         | 245        | 28.4        | 255        | 76.6         | 255        |
| S2D2-3  | Média         | -13.2        | 235        | -9.2        | 246        | -13.9        | 234        |
|         | Desvio padrão | 7.3          | 11         | 4.7         | 9          | 30.7         | 14         |
|         | Mínimo        | 3.2          | 220        | 4.4         | 230        | 4.3          | 210        |
|         | Máximo        | 21.0         | 250        | 14.7        | 255        | 76.3         | 254        |
|         | Média         | -17.4        | 229        | 4.2         | 223        | -22.0        | 211        |
|         | Desvio padrão | 16.3         | 13         | 14.5        | 19         | 37.2         | 38         |

|        |               |       |     |      |     |       |     |
|--------|---------------|-------|-----|------|-----|-------|-----|
| S3D1-3 | Média         | -17.4 | 229 | 4.2  | 223 | -22.0 | 211 |
|        | Desvio padrão | 16.3  | 13  | 14.5 | 19  | 37.2  | 38  |
|        | Mínimo        | 3.2   | 210 | 11.2 | 185 | 7.0   | 142 |
|        | Máximo        | 41.0  | 240 | 26.4 | 235 | 83.8  | 258 |
| S3D2-3 | Média         | -12.6 | 304 | -5.2 | 334 | 2.0   | 323 |
|        | Desvio padrão | 13.4  | 15  | 15.9 | 25  | 7.9   | 28  |
|        | Mínimo        | 1.5   | 280 | 8.3  | 290 | 7.3   | 295 |
|        | Máximo        | 34.6  | 320 | 29.1 | 350 | 11.6  | 366 |

1) Erros mínimos e máximos em valores absolutos

Não se observa na Tabela 3.3, qualquer relação direta entre os valores médios dos erros analíticos e os valores médios das condutividades elétricas. Entretanto, verifica-se uma redução nos valores médios dos erros analíticos, no período de chuvas dentro do mesmo ano hidrológico. Observa-se também, um aumento das condutividades elétricas, no período de chuva para as amostras S2D1-4, S2D2-2, S2D2-3e S3D2-3.

**Tabela 3.4 - Resumo estatístico – balanços iônicos e condutividades elétricas: cisternas**

| Amostra | Período       | Estiagem (1) |            | Chuvoso (1) |            | Estiagem (2) |            |
|---------|---------------|--------------|------------|-------------|------------|--------------|------------|
|         |               | Erro (%)     | CE (µS/cm) | Erro (%)    | CE (µS/cm) | Erro (%)     | CE (µS/cm) |
| S1D2-1  | Média         | -14.1        | 268        | -14.9       | 405        | -2.7         | 391        |
|         | Desvio padrão | 25.9         | 19         | 15.5        | 52         | 13.5         | 68         |
|         | Mínimo        | 16.8         | 250        | 3.8         | 330        | 5.9          | 314        |
|         | Máximo        | 61.1         | 300        | 35.9        | 480        | 22.8         | 459        |
| S2D1-1  | Média         | -11.5        | 138        | 6.4         | 124        | -17.4        | 147        |
|         | Desvio padrão | 11.7         | 38         | 10.5        | 56         | 37.0         | 101        |
|         | Mínimo        | 8.6          | 86         | 3.3         | 45         | 6.8          | 41         |
|         | Máximo        | 37.9         | 185        | 20.8        | 170        | 83.0         | 315        |
| S2D1-5  | Média         | -12.1        | 218        | -           | 205        | -            | 216        |
|         | Desvio padrão | 12.1         | 7          | -           | 32         | -            | 16         |
|         | Mínimo        | 0.8          | 210        | -           | 160        | -            | 195        |
|         | Máximo        | 32.0         | 230        | -           | 230        | -            | 239        |
| S2D2-4  | Média         | -3.2         | 223        | -9.7        | 249.2      | -14.2        | 237        |
|         | Desvio padrão | 27.8         | 29         | 7.3         | 9.7        | 30.6         | 16         |
|         | Mínimo        | 33.1         | 170        | 0.8         | 235.0      | 3.4          | 210        |
|         | Máximo        | 46.5         | 250        | 16.7        | 265.0      | 76.2         | 257        |
| S2D2-5  | Média         | -13.5        | 233        | -7.4        | 242        | -12.1        | 247        |
|         | Desvio padrão | 10.7         | 11         | 5.0         | 19         | 32.0         | 19         |
|         | Mínimo        | 0.1          | 220        | 1.3         | 205        | 6.1          | 226        |
|         | Máximo        | 22.5         | 250        | 12.7        | 255        | 76.5         | 279        |
| S3D1-2  | Média         | -36.4        | 99         | -10.8       | 122        | 0.3          | 131        |
|         | Desvio padrão | 23.3         | 98         | 7.4         | 8          | 12.8         | 35         |
|         | Mínimo        | 4.0          | 26         | 1.2         | 110        | 12.2         | 64         |
|         | Máximo        | 60.1         | 230        | 19.9        | 130        | 25.0         | 165        |
| S3D1-5  | Média         | -10.5        | 191        | -6.1        | 121        | -0.9         | 89         |
|         | Desvio padrão | 5.5          | 87         | 5.9         | 15         | 20.3         | 13         |
|         | Mínimo        | 3.7          | 115        | 0.3         | 100        | 14.4         | 75         |
|         | Máximo        | 18.2         | 350        | 14.7        | 140        | 39.8         | 106        |

1) Erros mínimos e máximos em valores absolutos

Para as amostras das cisternas, também não se observa na Tabela 3.4, um padrão de variação nos valores médios do erro analítico e das condutividades elétricas. Entretanto, verifica-se uma redução nos valores médios dos erros analíticos, no período de chuvas dentro do mesmo ano hidrológico, para as amostras S2D1-1, S2D2-5, S3D1-2 e S3D1-5. Observa-se também, um aumento das condutividades elétricas, no período de chuva para as amostras S1D2-1, S2D2-4, S2D2-5 e S3D1-2.

**Tabela 3.5 - Resumo estatístico – balanços iônicos e condutividades elétricas: surgências**

| Amostra | Período       | Estiagem (1) |            | Chuvoso (1) |            | Estiagem (2) |            |
|---------|---------------|--------------|------------|-------------|------------|--------------|------------|
|         |               | Erro (%)     | CE (µS/cm) | Erro (%)    | CE (µS/cm) | Erro (%)     | CE (µS/cm) |
| S1D1-4  | Média         | -25.6        | 47         | -13.3       | 173        | -10.6        | 93         |
|         | Desvio padrão | 15.6         | 2          | 22.1        | 116        | 6.6          | 87         |
|         | Mínimo        | 7.1          | 45         | 4.9         | 48         | 2.2          | 45         |

|        |               |       |     |       |     |       |     |
|--------|---------------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|        | Máximo        | 54.4  | 50  | 56.4  | 310 | 19.3  | 247 |
| S1D2-3 | Média         | -42.5 | 59  | -21.7 | 35  | -30.8 | 19  |
|        | Desvio padrão | 21.9  | 87  | 20.8  | 44  | 12.6  | 6   |
|        | Mínimo        | 5.2   | 16  | 19.8  | 15  | 17.7  | 15  |
|        | Máximo        | 60.8  | 235 | 38.5  | 125 | 50.5  | 31  |
| S1D2-5 | Média         | -22.4 | 61  | -16.6 | 27  | -14.5 | 26  |
|        | Desvio padrão | 14.0  | 83  | 8.9   | 4   | 12.5  | 2   |
|        | Mínimo        | 3.9   | 24  | 6.2   | 23  | 2.0   | 23  |
|        | Máximo        | 40.1  | 230 | 21.8  | 31  | 37.4  | 29  |

1) Erros mínimos e máximos em valores absolutos

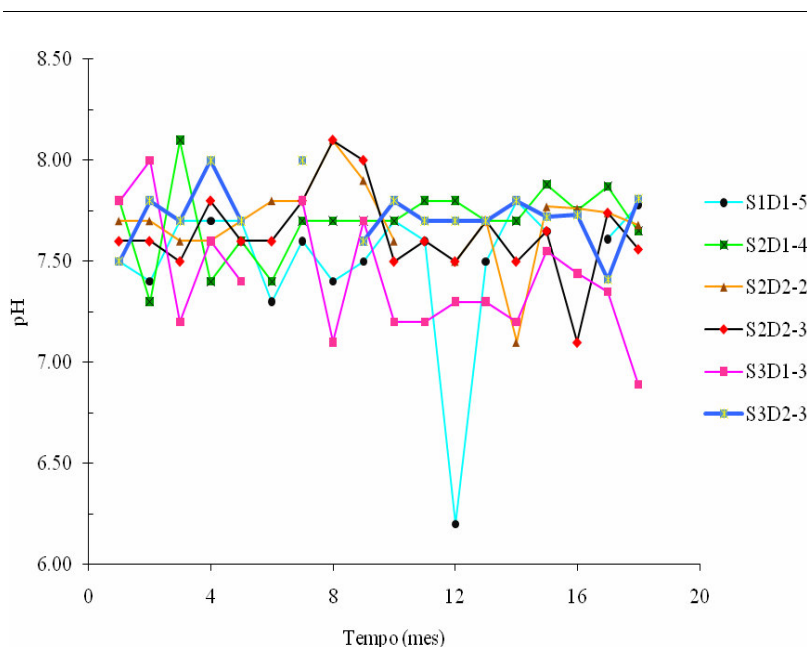
Verifica-se na Tabela 3.5, para as amostras das surgências no mesmo ano hidrológico, que os valores médios dos erros analíticos também são menores no período chuvoso. Entretanto, neste caso, apenas para a surgência S1D1-4 observa-se o aumento do valor médio da condutividade no período chuvoso.

### 3.2 Hidroquímica das Águas Monitoradas

Admite-se que toda a água atmosférica seja muito pouco mineralizada, com uma composição química decorrente do equilíbrio termodinâmico com os gases e materiais particulados presentes na atmosfera. A aquisição de uma composição química final, por essa água, é determinada por sua trajetória, ao precipitar através da atmosfera, alcançando a superfície terrestre e, daí, em contato com os minerais e soluções do solo, até os corpos d'água subterrâneos e superficiais.

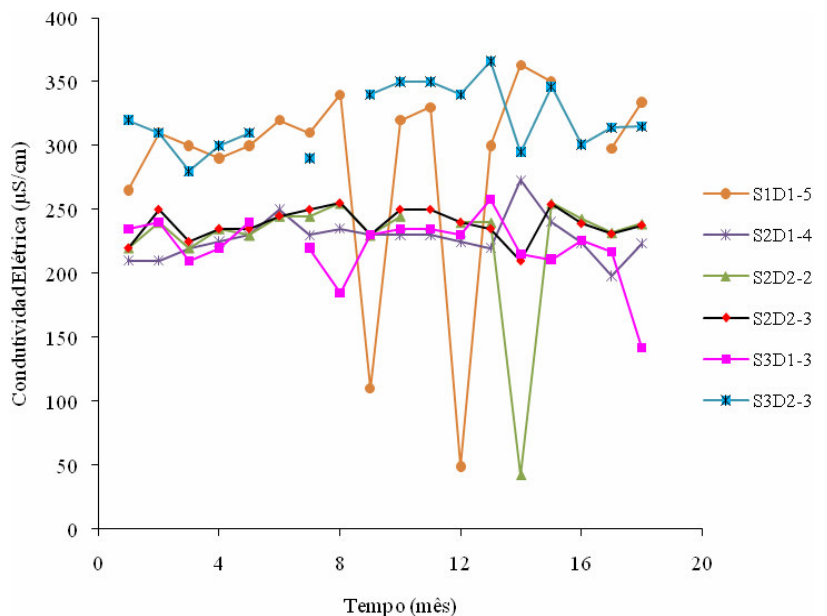
Primariamente, no seu trajeto, as águas atmosféricas (ou meteóricas) solubilizam gases atmosféricos, o que lhes conferem, em maior ou menor extensão, certa agressividade. Assim, ao atingir a superfície terrestre, podem incorporar, continuamente, uma gama de substâncias, adquirindo composição diversificada que reflete a sua permanência e interação com o meio. Desta forma, a composição química das águas subterrâneas, e superficiais, depende da natureza mineralógica e orgânica do solo e do meio geológico. Dois parâmetros que refletem bem esta dependência são o potencial hidrogeniônico, pH, e a condutividade elétrica.

Nas Figuras 3.2 a 3.7 apresentam-se os diagramas temporais para os parâmetros pH e condutividade elétrica das amostras dos poços tubulares, das cisternas e das surgências. Esses parâmetros foram medidos em laboratório, em amostras coletadas durante 18 meses, consecutivos.



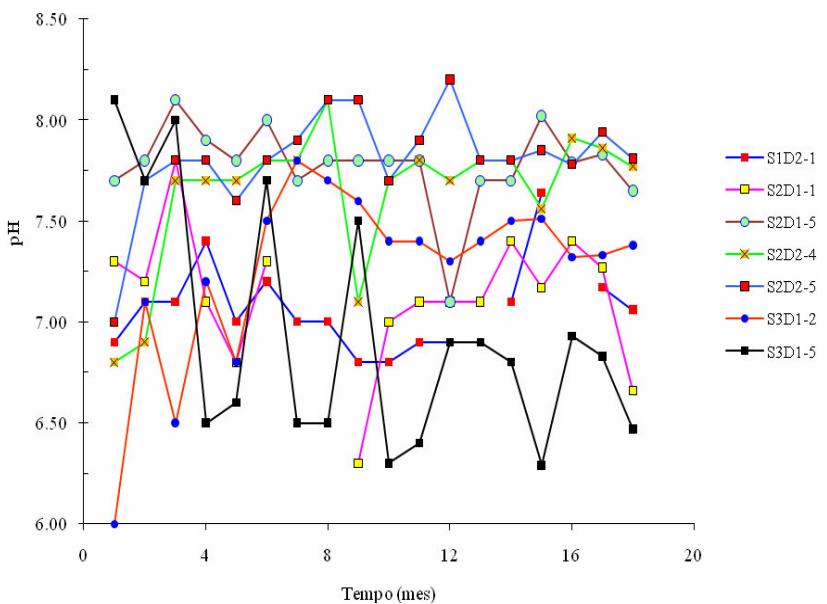
**Figura 3.2** - Diagramas pH x tempo para amostras dos poços tubulares

Verifica-se na Figura 3.2 que os valores de pH medidos em laboratório, para as amostras de água dos poços tubulares estão, notadamente, distribuídos no intervalo  $7,00 < \text{pH} \leq 8,0$ . Característica, que reflete a natureza alcalina bicarbonatada dessas águas e o ambiente geológico em que são captadas.



**Figura 3.3** - Diagramas CE x tempo para amostras dos poços tubulares

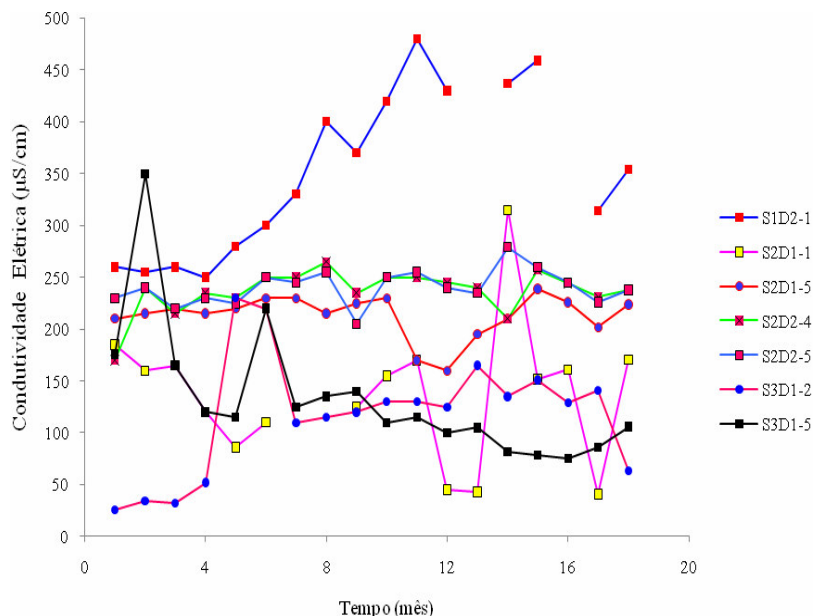
Verifica-se na Figura 3.3, que os valores de condutividade elétrica, medidos em laboratório, para as amostras de água dos poços tubulares estão, notadamente, distribuídos no intervalo  $200 < \text{CE} \leq 300$ . Indicando uma maior salinidade dessas águas, o que pode refletir um maior tempo de residência no meio geológico, dessas águas.



**Figura 3.4** - Diagramas pH x tempo para amostras das cisternas

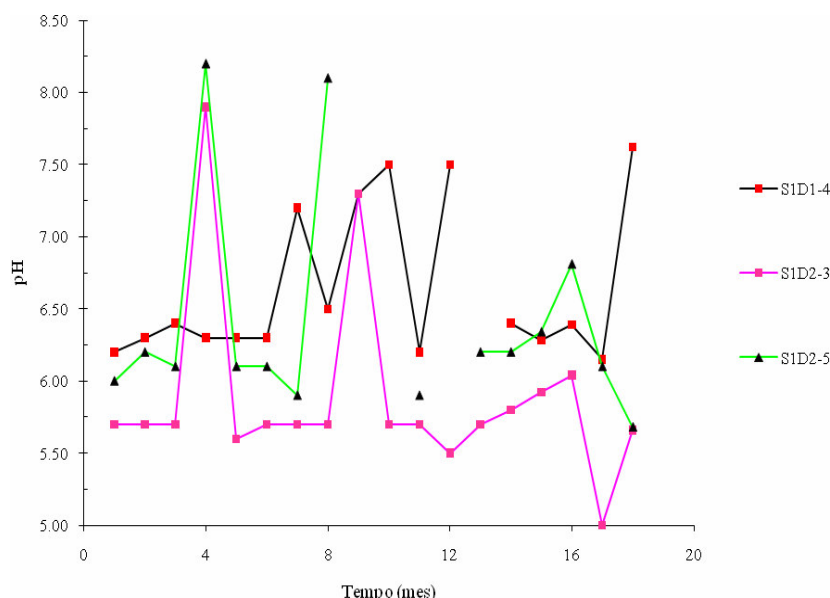
Verifica-se na Figura 3.4, que os valores de pH, medidos em laboratório, para as amostras de água das cisternas, apresentam maior dispersão que os valores de pH obtidos para as amostras dos poços tubulares. Estão, notadamente, distribuídos no intervalo  $6,25 < \text{pH} \leq 8,25$ . Esta maior

amplitude, além do ambiente geológico, pode refletir uma influência antrópica na qualidade dessas águas, visto estarem mais expostas. As águas das cisternas S2D1-5, S2D2-4 e S2D2-5 apresentam-se, nitidamente, alcalinas.



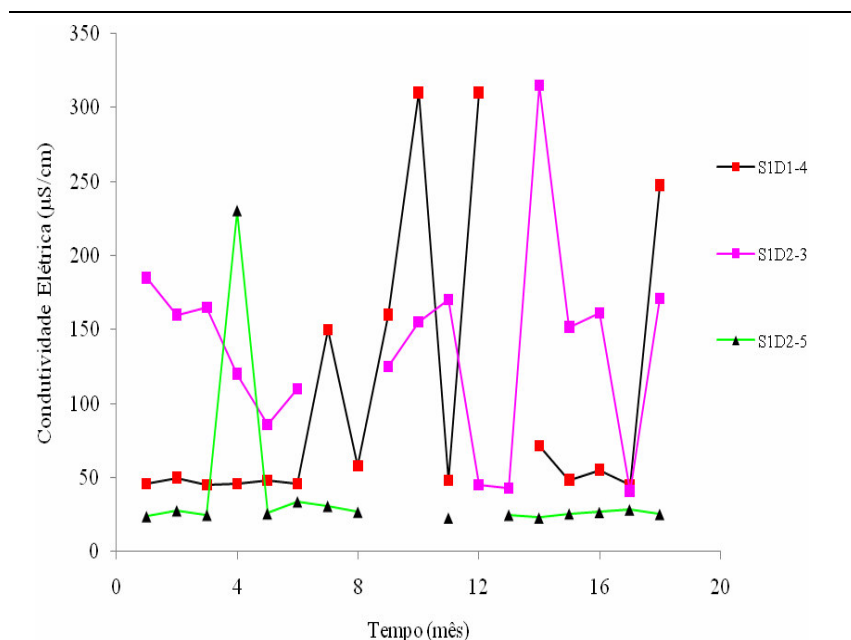
**Figura 3.5** - Diagramas CE x tempo - amostras das cisternas

Verifica-se na Figura 3.5, que os valores de condutividade elétrica, medidos em laboratório, para as amostras de água das cisternas apresentam, notadamente, maior dispersão que para as amostras de água dos poços tubulares. As amostras S2D2-4 e S2D2-5 apresentam condutividades variando, aproximadamente, no intervalo 200 a 280  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando uma salinidade comparável às amostras dos poços tubulares. As amostras S1D2-5 apresentam um intervalo de salinidade muito amplo. Com exceção das amostras S2D2-4 e S2D2-5, cujas condutividades apresentam um menor intervalo de dispersão, as condutividades das demais amostras podem indicar uma influência externa mais intensa.



**Figura 3.6** - Diagramas pH x tempo - amostras das surgências

Observa-se na Figura 3.6, que os valores de pH, medidos em laboratório, para as amostras de água das surgências, apresentam maior dispersão que os valores de pH medidos para as amostras dos poços tubulares e das cisternas. Para as amostras das surgências, os valores de pH estão distribuídos no intervalo  $5,00 < \text{pH} \leq 8,25$ . Esta maior amplitude, além do ambiente geológico, pode refletir uma influência antrópica na qualidade dessas águas, pois se encontram mais expostas às influências externas.

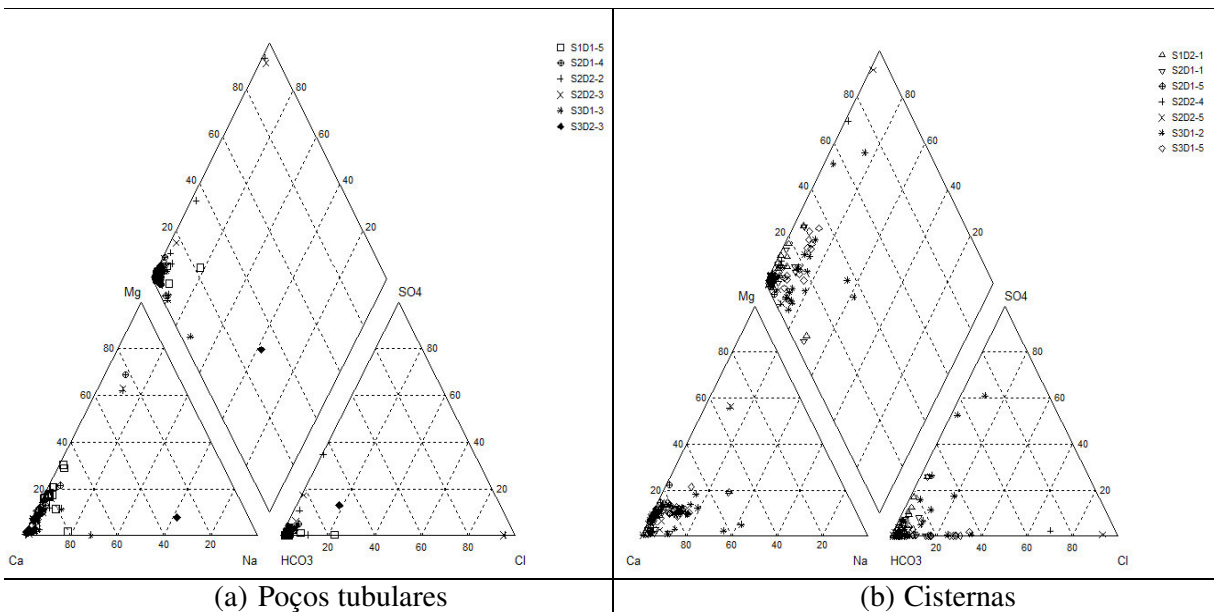


**Figura 3.7** - Diagramas CE x tempo - amostras das surgências

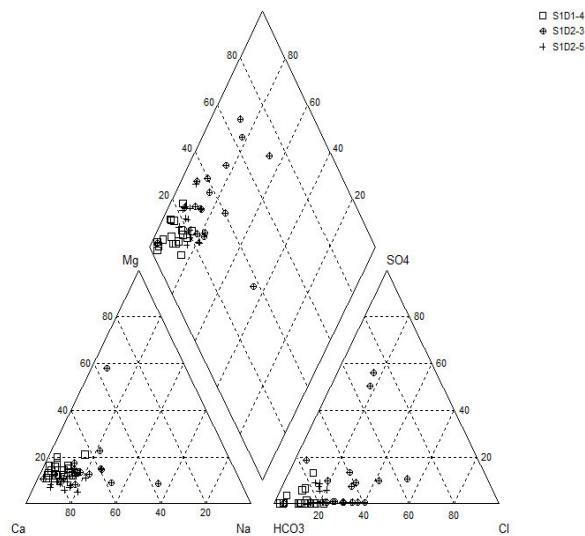
Verifica-se na Figura 3.7, que os valores de condutividade elétrica, medidos em laboratório, para as amostras de água das surgências S1D1-4 e S1D2-3 apresentam dispersão expressiva. Já as amostras S1D2-5, com exceção do mês 4, apresentam pouca variabilidade em sua condutividade. Este comportamento da condutividade pode refletir uma surgência mais preservada e com menor influência do meio externo, o que também reflete uma pequena mineralização de suas águas, o que pode indicar a rápida circulação de suas águas.

Na Figura 3.8 a 3.10 apresentam-se os diagramas de Piper para as águas subterrâneas, amostradas nos poços tubulares, cisternas e surgências monitorados na área de estudo. Esses diagramas constituem uma das várias possíveis maneiras de se caracterizar, analiticamente, a identidade química de um conjunto de amostras de águas subterrâneas ou superficiais. Em geral, tais diagramas são construídos considerando-se as concentrações de cátions e ânions principais, ou maiores, a saber:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$ ;  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{Cl}^-$ .

Nesses diagramas podem ser dados pesos diferentes às diversas espécies utilizadas, na sua elaboração, refletindo a maior ou a menor importância de cada espécie, na hidroquímica da água. No presente artigo, foram mantidos os mesmos pesos para todas as espécies químicas utilizadas.



**Figura 3.8 - Diagramas de Piper para as amostras de águas subterrâneas**



**Figura 3.9 - Diagrama de Piper para as amostras das surgências**

Observa-se nos diagramas mostrados nas Figuras 3.8 (a) e (b) que as águas dos poços tubulares e das cisternas apresentam-se, predominantemente, bicarbonatadas, cálcicas e pobres em magnésio.

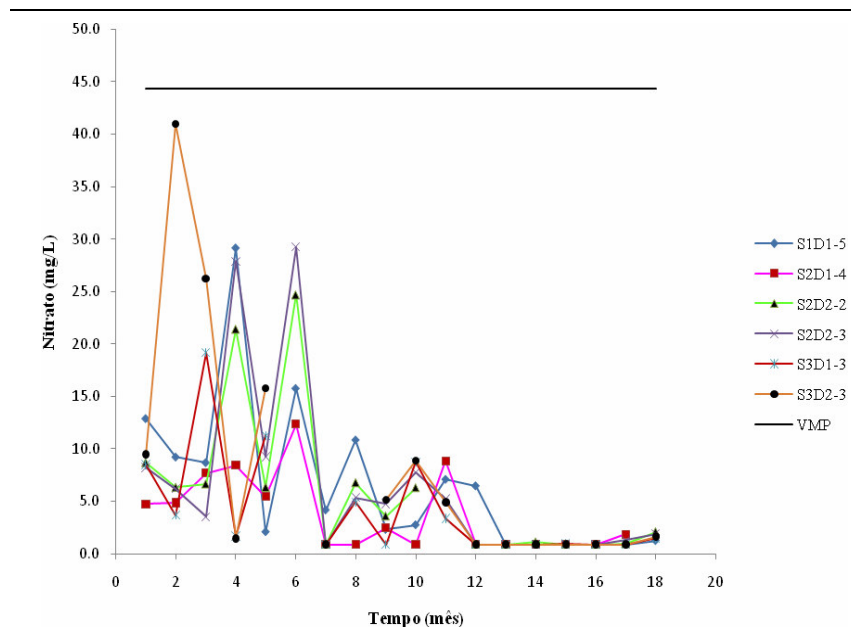
No diagrama mostrado na Figura 3.9 observa-se que as águas das surgências também se apresentam bicarbonatadas, cálcicas e pobres em magnésio, porém com menores concentrações de cálcio e de bicarbonato.

### 3.2 A presença de Nitratos nas Águas Subterrâneas

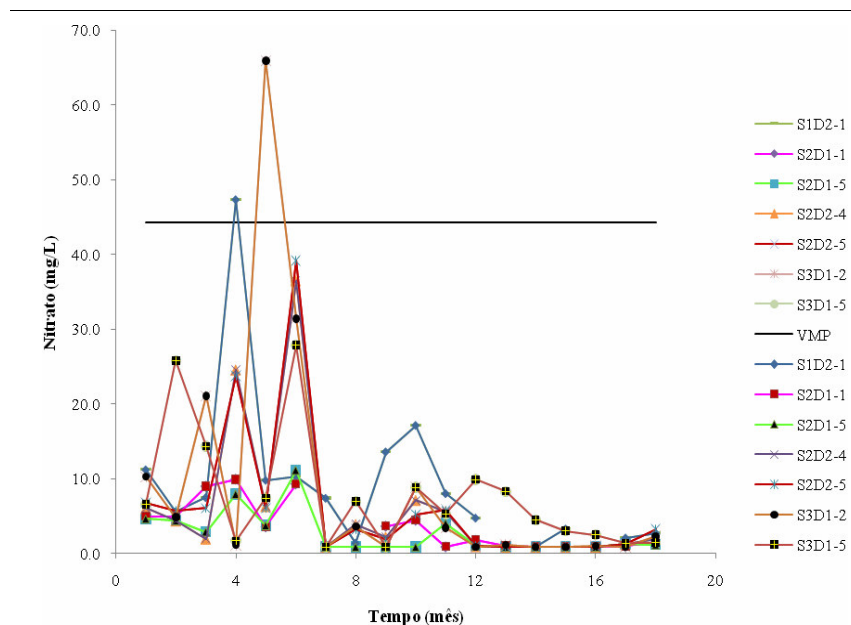
Como um dos focos do projeto de pesquisa, apresentado na introdução deste artigo, é o estudo do comportamento do íon nitrato no meio hidrogeológico, apresenta-se resumidamente, a seguir nas



Figuras 3.10 a 3.12, diagramas das concentrações de nitratos medidas durante os primeiros 18 meses de monitoramento das águas subterrâneas, na área do CNPMS.



**Figura 3.10** - Concentração de nitratos – amostras dos poços tubulares



**Figura 3.11** - Concentração de nitratos – amostras das cisternas

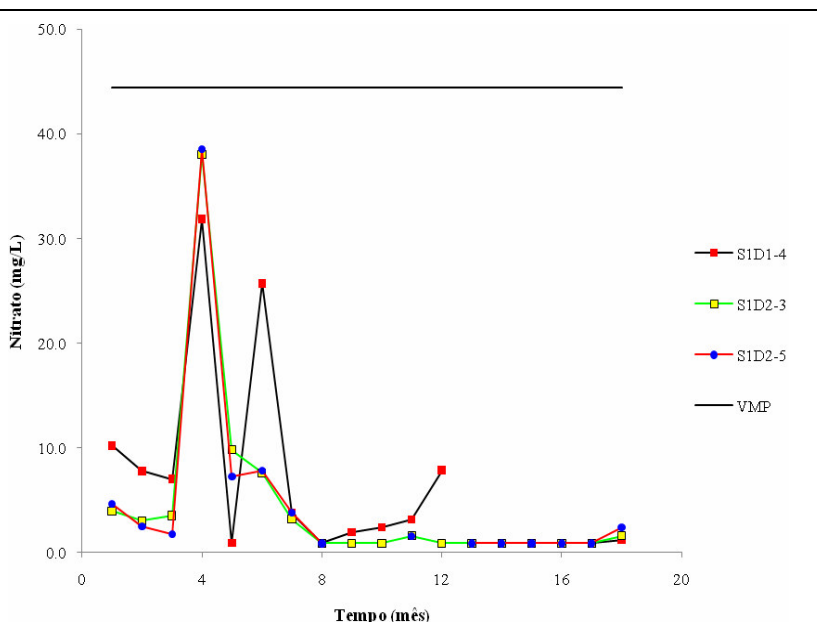
Utilizou-se, como referencial, o valor máximo permitido, VMP, estabelecido para águas subterrâneas de consumo humano. Esse valor está determinado no Anexo I da resolução CONAMA N° 396 (Brasil, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, 2008), de 3 de abril de 2008, que estabelece os parâmetros de qualidade para as águas subterrâneas, em território nacional.

Neste Anexo, o VMP estabelecido para a concentração de nitratos, em águas subterrâneas, é 10 mg de N/L, ou seja, a concentração de nitratos, reportada com nitrogênio. No presente artigo,

como informado no item 3.1, considera-se a concentração de nitratos como tal. Desta forma, o valor do VMP para o parâmetro nitrato, determinado na Resolução N° 396, deve ser transformado em seu correspondente, para o presente estudo, o que resulta em 44,4 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, como valor máximo permitido. Este valor está representado pela linha horizontal, VMP, nos diagrama apresentados nas Figuras 3.10 a 3.12.

Observa-se nos diagramas das Figuras 3.10 e 3.11, que as concentrações de nitratos, medidas para as amostras de água dos poços tubulares e das cisternas, apresentam-se, em geral, muito aquém do valor VMP. Ainda, a partir do oitavo mês de monitoramento, apresentam-se inferiores a 10,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, em geral.

Em uma análise ainda preliminar, isto pode indicar a ausência de contaminação dessas águas por nitratos originados de atividades antrópicas, no presente estudo, notadamente a atividade agrícola, ou mais especificamente, a ausência de contaminação por nitratos originados da fertilização das áreas agrícolas do CNPMS, com adubos contendo nitrogênio em sua formulação.



**Figura 3.12** - Concentração de nitratos – amostras das surgências

Observa-se no diagrama das Figuras 3.12, que as concentrações de nitratos, medidas para as amostras de água das surgências, também se apresentam muito aquém do valor VMP. Ainda, a partir do oitavo mês de monitoramento, apresentam-se bem inferiores a 10,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, em geral.

À primeira vista, as baixas concentrações de nitratos nas amostras de água das surgências, parecem não refletir influências do terreno em que se encontram. A surgência S1D2-3, apesar de cercada, encontra-se em área de pastagens particulares, com tráfego intenso de animais e também de pessoas, que buscam suas águas para uso doméstico e à pequena distância da rodovia MG 424, cujo tráfego é bastante intenso. Interessante observar, que todo este contexto antrópico, em torno desta surgência, parece não refletir nas concentrações de nitratos medidas nas amostras de suas águas.

#### 4. CONCLUSÕES

Apresentou-se neste artigo uma discussão preliminar sobre os resultados de análises físico-químicas de amostras de águas subterrâneas, obtidas durante 18 meses de monitoramento, na área do CNPMS da Embrapa e no seu entorno.

De acordo com o que foi exposto e discutido, foi possível chegar às seguintes conclusões:

- os valores dos erros relativos ao balanço iônico, calculados com os resultados das análises químicas das amostras de águas coletadas no local, apresentam-se, predominantemente negativos, o que indica a prevalência dos valores das concentrações aniônicas sobre as catiônicas;
- os valores dos erros analíticos calculados não apresentam uma relação direta com os valores das condutividades elétricas medidos em laboratório;
- os resultados analíticos, para as amostras de águas dos poços tubulares e das cisternas, apresentam-se, predominantemente, aceitáveis, de acordo com os critérios definidos, neste artigo;
- cerca de 50% dos resultados analíticos, para as amostras de águas das surgências, apresentam-se, aceitáveis, de acordo com os critérios definidos, neste artigo;
- no entanto, em vista da predominância de resultados negativos, justifica-se ainda uma investigação mais detalhada sobre esta tendência;
- os valores de pH e de condutividade elétrica para as amostras de água dos poços tubulares apresentam-se consistentes com a natureza dessas águas, ou seja, águas bicarbonatadas cálcicas, de aquíferos cársticos;
- os valores de pH e de condutividade elétrica para as amostras de água das cisternas apresentam-se dentro de intervalos consistentes com a natureza dessas águas, em geral, águas de circulação rápida;
- os valores de pH e de condutividade elétrica para as amostras de água das surgências apresentam maior variabilidade que os correspondentes valores para as amostras de água dos poços tubulares e das cisternas, não refletindo um padrão em função de sua natureza;
- as concentrações medidas do íon nitrato, nas amostras de águas dos poços tubulares, das cisternas e das surgências, em geral, se apresentam menores que o valor máximo permitido, VMP, para águas subterrâneas de consumo humano;
- as concentrações medidas do íon nitrato, nas amostras de águas dos poços tubulares e das cisternas, não refletem contaminação por atividade de natureza antrópica;
- as concentrações medidas do íon nitrato, nas amostras de águas das surgências, apesar de sua maior exposição ao ambiente, em torno, se apresentam menores que o valor máximo permitido, VMP, para águas subterrâneas de consumo humano e também não refletem contaminação por atividade de natureza antrópica; e,
- as concentrações de nitratos, medidas em todas as amostras de águas subterrâneas, apresentam-se menores que 10,0 mg de  $\text{NO}_3^-$ /L; a partir do oitavo mês de monitoramento.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APPELO, C. A. J.; POSTMA, D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. 2<sup>a</sup> ed. A. A. Balkema Publishers. Londres. 2006.649p.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução N<sup>o</sup> 396. 2008.

- CABRAL, J. A. L. Informações Básicas para a Gestão Territorial – Região de Sete Lagoas e Lagoa Santa, Minas Gerais. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Belo Horizonte. 1994
- CAMARGOS, L. M. M (coord.). Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio das Velhas: resumo executivo, dezembro 2004. Belo Horizonte. Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas – CBHRV. 2005. 228 p.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. Hidrologia subterrânea. Editora Omega. Barcelona. 1983. 1157p.
- DEUSTSCH, W. J. *Groundwater Geochemistry: Fundamentals and Applications to Contamination*. Lewis Publishers. Boca Raton. 1997.221p.
- DOMENICO, P. A; SCHWARTZ, F.W. *Physical and Chemical Hydrogeology*. Ed. John Wiley and Sons. New York. NY. 1990. 824p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Plano Diretor da EMBRAPA Milho e Sorgo, 2004 – 2007. Sete Lagoas. 2005.
- FILHO, J. M. Contaminação das Águas Subterrâneas In: Feitosa Fernando, A. C.; Filho, J. A. (Ed.). *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. Fortaleza: CPRM- Serviço Geológico do Brasil. 1997.
- NOGUEIRA, MARLY. *A Dinâmica Funcional de um Lugar, na Rede Urbana de Minas Gerais*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2003.
- PROJETO VIDA: mapeamento geológico da região de Sete Lagoas, Pedro Leopoldo, Matosinhos, Lagoa Santa, Vespaziano, Capim Branco, Prudente Morais, Confins e Funilândia – Minas Gerais. Relatório Final. Escala 1:50000. 2ªEd. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Belo Horizonte. 2003.54p.
- SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: Feitosa Fernando, A. C.; Filho, J. A. (Eds.). *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. Fortaleza: CPRM- Serviço Geológico do Brasil. 1997. Cap. 5. p81–108.
- VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3ª Ed. V1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.452p.