UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS, HIDROGEOQUÍMICOS E
ISOTÓPICOS DAS ÁGUAS MINERAIS E TERMAIS DE
ÁGUAS DE LINDÓIA E LINDÓIA, SP

Sueli Yoshinaga

Orientadora: Profa. Dra. Annkarin Aurelia Kimmelman e Silva

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Área de Concentração: Recursos Minerais e Hidrogeologia

São Paulo
1990

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005940

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS, HIDROGEOQUÍMICOS E
ISOTÓPICOS DAS ÁGUAS MINERAIS E TERMAIS DE
ÁGUAS DE LINDÓIA E LINDÓIA, SP

Sueli Yoshinaga

Orientadora: Profa. Dra. Annkarin Aurelia Kimmelman e Silva

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO EXAMINADORA

	nome
Presidente:	<u>Dra. A.A.K.e Silva</u>
Examinadores:	<u>Dr. E.Matsui</u>
	<u>Dra. M.Szikszay</u>

ass.

Annkarin Aurelia Kimmelman e Silva
Eisiduo Matsui
Maria Szikszay

São Paulo
1990

AGRADECIMENTOS

O presente estudo foi possível devido à colaboração de muitas pessoas e entidades, às quais a autora deseja externar a mais profunda gratidão.

À professora Dra. Annkarin Aurelia Kimmelmarm e Silva, pela orientação e grande auxílio nos trabalhos de pós-graduação e de tese.

Ao Departamento de Geologia Econômica, Geofísica Aplicada e Hidrogeologia do Instituto de Geociências, na pessoa de seu chefe, professor Dr. Evaristo Ribeiro Filho, pela disposição da infraestrutura e oportunidade de realização da pós-graduação neste departamento.

Ao Instituto Geológico, através de seu Diretor Geral Julian Garcia Alves de Almeida e do chefe de Seção de Hidrogeologia, Geraldo Hideo Oda, pelo incentivo e liberação da autora para a pós-graduação, bem como por proporcionar a infraestrutura necessária para a montagem desta dissertação.

À Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo auxílio financeiro para realização desta tese, através do processo nº 86/2352-2.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação e Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio oferecido.

Ao Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas (CEPAS), na pessoa de seu presidente, professor Dr. Aldo da Cunha Rebouças, pela colaboração e franquia das instalações e laboratórios para os trabalhos de tese.

Ao Centro de Energia Nuclear para a Agricultura de Piracicaba (CENA), através da valiosa colaboração e incentivo do Dr. Eiichi Matsui, e do processamento das análises isotópicas das amostras de águas.

Ao Grupo de Geoquímica Ambiental do Instituto de Pesquisas Espaciais de São José dos Campos (INPE), através da Dra. Licia Moreira Nordemann e da Dra. Cristina Maria Forte, pela colaboração e franquia do laboratório para análise química das águas.

Ao Instituto de Pesquisas de Energia Nuclear (IPEN), nas pessoas das pesquisadoras Maria Helena Sampa e Dora de Castro Poli, pelas análises de radioatividade das águas.

À Eng.^a Hiroe Murakami e ao Geol. José Angelo Mattos, da antiga FUMEST, pela imprescindível colaboração e apoio infraestrutural em trabalhos nos balneários estaduais de Águas de Lindóia e Lindóia.

Ao Departamento de Produção Mineral de São Paulo (DNPM), na pessoa da Eng.^a Sonja Dumas Rauen, pelo valioso auxílio na obtenção de dados sobre a exploração das águas minerais na área de estudo.

À Empresa de Mineração Mantovani Ltda., às Cervejarias Reunidas Skol Caracu S.A., ao Espólio de José da Costa Sobrinho, à Empresa de Mineração Cremasco Ltda., à Empresa Lindoiana de Águas Minerais Ltda. e à Empresa de Mineração São Lourenço, pela gentileza e permissão de visitas às instalações.

À CETESB, por meio do Geol. Leziro Marques e Silva pelas discussões sobre a hidrogeologia do local de estudo.

Às prefeituras de Águas de Lindóia e Lindóia, pela grande colaboração e fornecimento de material para os trabalhos de tese.

Aos professores Mária Szikszay, Nelson Ellert, Uriel Duarte, Robert Cleary e Alberto Pacheco pelas sugestões e idéias para o assunto de tese.

Ao professor Dr. José Milton Bennetti Mendes pelas sugestões e modificações no texto.

Ao Geol. Antônio Luís Teixeira pela leitura e sugestões sobre a geologia regional e estrutural da área de estudo.

Aos sempre amigos Ricardo César Aoki Hirata, Mara Akie Iritani, Silvana Aparecida Peres de Castro, Seiju Hassuda e Maria Amélia Souza Menezes, pelo grande incentivo e valiosa colaboração nos trabalhos de pós-graduação e tese.

Aos técnicos de laboratório José Carlos Camargo e Domingos Donizetti Sardella pelo grande auxílio nos processamentos das análises. À Sandra das Graças Moni, à Lourdes Marques e ao Antônio de Pádua Gomes pela excelência na datilografia e nos desenhos desta tese.

Ao Instituto de Geociências, em especial aos professores e funcionários do Departamento de Geologia Econômica, Geofísica Aplicada e Hidrogeologia e do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas, pelo ótimo ambiente de trabalho e apoio constante.

RESUMO

As famosas "águas minerais" dos municípios de Águas de Lindóia e Lindóia têm sua circulação condicionada aos fraturamentos das rochas pertencentes ao Complexo Amparo.

Os estudos da geologia e sua história evolutiva são importantes para o melhor entendimento da origem, dos mecanismos de circulação e mineralização das águas exploradas na área. Desta forma, as direções de fraturas de maior ocorrência e aquelas que se encontram abertas são definidas, através de análise de fraturamento, e correlacionadas com as tendências de maior capacidade específica e vazão.

As análises químicas das águas das fontes e poços tubulares indicam baixa mineralização, com teores de STD em torno de 100 mg/l. Estas classificam-se, principalmente, como bicarbonatadas mistas e cálcicas, caracterizando águas enriquecidas de elementos provenientes dos processos de alteração de minerais silicatados de rochas de composição granítica. A hidrólise é o principal processo modificador das águas, seguida secundariamente pelos processos de troca de bases e oxi-redução. Através das relações hidroquímicas nota-se que estas águas possuem curto tempo de residência.

Os valores dos isótopos de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ apontam a origem meteórica destas águas e áreas de recarga diferentes, bem como detectam o fenômeno da evaporação, indicando a influência climática nas águas da área.

A monitoração dos pontos selecionados determinou que alguns elementos ou parâmetros físico-químicos possuem correlação direta ou inversa com os índices pluviométricos e outros parecem estar sob influência dos processos de alteração.

No tocante ao Código de Águas Minerais (decreto lei nº 7841 de 08/08/45), este está sendo reestruturado e atualizado, face ao desenvolvimento tecnológico e científico adquirido nestes 45 anos. Todavia, neste trabalho se discute o uso da radioatividade do gás radônio-222 como parâmetro classificatório de águas minerais, devido a sua natureza instável e periculosidade à saúde humana.

ABSTRACT

The underground circulation of the so-called "mineral waters" of Águas de Lindóia and Lindóia is conditioned by fractures of Complex Amparo crystalline rocks.

The geologic studies and its evolutionary history are so important for understanding the origin, circulation and mineralization of these explored waters.

The analysis of the fractures pointed to the most frequent directions and to the orientation of the opened ones. These are important parameters for knowing the highest values of water discharges and specific capacities.

The chemical analysis of the waters both from springs and wells pointed to low mineralization with about 100 mg/l TDS. The bicarbonated calcic and calcic-magnesian content was interpreted as coming from alteration processes of silicate minerals. Hydrolisis is the most important alteration process following by the ionic exchange and oxi-reduction. These waters has low residence time too.

The isotopes $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ concentrations indicate the meteoric origin, diferent recharge zones and evaporation phenomena in the springs and wells waters on the study area.

The select points of monitoration determine that some elements or parameters has direct or inverse correlation with the pluviometric values. Uncorrelated parameters and elements resulted from alteration processes.

The "Código de Águas Minerais" (August 8th, 1945) are now being reestructured and put up-to-date, in view of the advanced technological and scientific development in the last 45 years. The Radon-222 radioactivity used to classification of mineral waters in this legislation is dubious because it is unstable (3,82 days) and may be dangerous to human health.

SUMÁRIO

	PG
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE ANEXOS	VII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Objetivos	1
2. ÁREA DE ESTUDO	3
2.1. Localização e vias de acesso	3
2.2. Histórico dos municípios	3
2.3. Aspectos fisiográficos	5
2.4. Histórico das fontes	7
3. METODOLOGIA	9
3.1. Pesquisa bibliográfica	9
3.2. Amostragem e análise	9
3.3. Monitoração	10
3.4. Tratamento e interpretação dos resultados obtidos	11
3.4.1. Análise do fraturamento	11
3.4.2. Hidrogeologia	12
3.4.3. Hidroquímica	13
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS	16
4.1. Geologia regional	16
4.2. Geologia local	18
4.3. Análise do fraturamento	24
5. HIDROGEOLOGIA	32
5.1. Cadastramento	32
5.2. Aspectos construtivos das obras de captação	32
5.3. Características hidrodinâmicas do aquífero	34
6. HIDROQUÍMICA	46
6.1. Procedimentos de análise dos principais elementos constituíntes da água	46
6.1.1. Determinação dos cátions maiores das águas	46
6.1.2. Determinação dos ânions maiores das águas	47

6.1.3. Determinação dos isótopos oxigênio-18 e deutério das águas.....	48
6.1.4. Determinação da radioatividade natural das águas.....	52
6.2. Composição e evolução química e isotópica das águas.....	55
6.2.1. Água da chuva.....	55
6.2.2. Águas das fontes e poços tubulares.....	62
6.2.3. Estudos sobre a variabilidade físico-química e isotópica dos pontos monitorados.....	84
6.3. Potabilidade.....	99
6.4. Classificação das águas segundo o Código de Águas Minerais.....	102
7. CONCLUSÕES.....	104
8. BIBLIOGRAFIA.....	106

LISTA DE FIGURAS

	PG.
FIGURA 01 - Mapa de localização.....	4
FIGURA 02 - Mapa geológico da área	19
FIGURA 03 - Mapa de tendência de 4 ^o grau e resíduo de frequências de fraturas da área de estudo.....	25
FIGURA 04 - Mapa de tendência de 4 ^o grau e resíduo de densidades de fraturas na área de estudo.....	26
FIGURA 05 - Diagrama de frequência de direções de lineamentos de fraturas na área de estudo.....	28
FIGURA 06 - Modelos de desenvolvimento de fraturas.	30
FIGURA 07 - Distribuição logarítmica normal dos valores de capacidade específica de poços tubulares profundos na área de estudo.	36
FIGURA 08 - Frequência das entradas de água dos poços tubulares na área de estudo.....	38
FIGURA 09 - Distribuição logarítmica normal dos valores de vazão das fontes na área de estudo.....	40
FIGURA 10 - Distribuição logarítmica normal dos valores de capacidade específica dos poços tubulares profundos em relação ao tipo de feição geomorfológica.	41
FIGURA 11 - Distribuição logarítmica normal dos valores de vazão das fontes em relação ao tipo de feição geomorfológica.	42
FIGURA 12 - Distribuição logarítmica normal dos valores de vazão das fontes de acordo com a litologia.....	44
FIGURA 13 - Distribuição das frequências dos valores médios de capacidade específica e vazões das fontes em relação a direção dos lineamentos de fratura.....	45
FIGURA 14 - Esquema de um aparelho de absorção atômica.	49
FIGURA 15 - Configuração do cromatógrafo de íons Dionex 2010i.....	49
FIGURA 16 - Desenho esquemático do processo de medição da radioatividade com detectores líquidos de cintilação.....	54
FIGURA 17 - Distribuição dos valores médios de condutividade elétrica das águas de chuva em função dos dados mensais de pluviometria.	57

FIGURA 18 - Relação dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ das águas de chuva e os traçados da reta meteórica da área de estudo e da reta meteórica mundial.....	60
FIGURA 19 - Regressão linear entre pH e Eh.....	63
FIGURA 20 - Regressões lineares de pH e Eh em função do CO_2 livre.....	64
FIGURA 21 - Diagrama de Piper.....	69
FIGURA 22 - Distribuição da composição química das águas das fontes e poços tubulares de acordo com os diagramas de Stiff.....	70
FIGURA 23 - Regressão linear entre C.E. e S.T.D.....	72
FIGURA 24 - Regressão linear entre C.E. e cálcio.....	72
FIGURA 25 - Regressão linear entre C.E. e magnésio.....	73
FIGURA 26 - Regressão linear entre C.E. e bicarbonato.....	73
FIGURA 27 - Regressão linear entre S.T.D. e cálcio.....	74
FIGURA 28 - Regressão linear entre S.T.D. e bicarbonato.....	74
FIGURA 29 - Regressão linear entre bicarbonato e cálcio.....	75
FIGURA 30 - Regressão linear entre bicarbonato e magnésio.....	75
FIGURA 31 - Relação dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ das águas das fontes e poços tubulares em função das retas meteóricas mundial e da área de estudo.....	80
FIGURA 32 - Regressão linear entre o oxigênio-18 e o logaritmo das concentrações de sódio.....	82
FIGURA 33 - Distribuição das concentrações de oxigênio-18 na área de estudo.....	83
FIGURA 34 - Dados pluviométricos da área de estudo.....	85
FIGURA 35 - Variação da temperatura das águas dos pontos monitorados em relação ao tempo.....	87
FIGURA 36 - Variação do pH e Eh das águas da Fonte Filomena em função do tempo.....	88
FIGURA 37 - Variação do pH e Eh das águas do poço tubular do Balneário Fumest - Lindóia em relação ao tempo.....	89
FIGURA 38 - Variação da condutividade elétrica das águas dos pontos monitorados em relação ao tempo.....	90

FIGURA 39 - Variação do CO ₂ livre das águas dos pontos monitorados em relação ao tempo.....	92
FIGURA 40 - Variação dos sólidos totais dissolvidos das águas dos pontos monitorados em relação ao tempo.	93
FIGURA 41 - Variação dos principais elementos catiônicos das águas dos pontos monitorados em função do tempo.	95
FIGURA 42 - Variação dos principais elementos aniônicos das águas da Fonte Filomena em relação ao tempo.....	96
FIGURA 43 - Variação dos principais elementos aniônicos das águas do poço tubular do Balneário Lindóia em relação ao tempo.....	97
FIGURA 44 - Variação do oxigênio-18 das águas dos pontos monitorados em relação ao tempo.....	98

LISTA DE TABELAS

PG.

TABELA 01 - Comparação entre as colunas estratigráficas propostas para o Complexo Amparo e áreas possivelmente correlatas	17
TABELA 02 - Estratigrafia da área de estudo de acordo com diversos autores.....	22
TABELA 03 - Resultados estatísticos da espessura do manto de alteração na área de estudo.....	39
TABELA 04 - Variação sazonal dos parâmetros físico-químicos das águas de chuva.....	56
TABELA 05 - Variação sazonal da carga total das águas de chuva.	59
TABELA 06 - Média ponderada dos valores de oxigênio-18 das águas de chuva.....	61
TABELA 07 - Resultados estatísticos dos parâmetros físico-químicos e isotópicos das águas das fontes e poços tubulares.....	65
TABELA 08 - Padrões de qualidade dos parâmetros físico-químicos de águas para consumo humano.....	100,101

LISTA DE ANEXOS

	PG.
ANEXO 01 - Mapa de localização das fontes e poços tubulares na área de estudo.....	111
ANEXO 02 - Cadastro e características hidrogeológicas das fontes e poços tubulares.	113
ANEXO 03 - Análises químicas e relações iônicas das fontes e poços tubulares na área de estudo.....	116
ANEXO 04 - Análises químicas e isotópicas dos pontos monitorados na área de estudo.....	120

1. INTRODUÇÃO

1.1. Generalidades

As águas minerais no Brasil, apesar de constituir em recurso hídrico subterrâneo de grande importância econômica, não têm sido suficientemente estudadas.

No Brasil, registram-se cerca de 400 ocorrências de águas minerais e termais, concentradas nas regiões de maior desenvolvimento econômico (FALCÃO, 1978; HURTER, 1987). Estas ocorrências encontram-se associadas a grandes dobramentos e falhamentos, às bordas cratônicas e de bacias sedimentares, e às áreas que sofreram reflexos de processos que condicionaram a formação de bacias costeiras (HURTER, 1987).

As águas minerais, definidas como bens minerais, têm sua exploração controlada pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). O Código de Águas Minerais (decreto-lei nº 7841, de 8 de agosto de 1945) é a legislação que define, classifica e regulamenta a exploração das águas minerais no país. Embora seja a única legislação federal para esta matéria, o Código necessita de atualização e de uma revisão geral sobre seus conceitos.

O presente trabalho visa estudar a origem e a circulação das águas minerais, através de estudos hidrogeoquímicos e hidrogeológicos nos Municípios de Águas de Lindóia e Lindóia, bem como proporcionar maiores conhecimentos em hidrogeologia e hidrogeoquímica em terrenos cristalinos.

1.2. Objetivos

Os objetivos desta pesquisa são :

- caracterizar as águas das fontes quanto a sua origem e dinâmica, através de seu comportamento hidrodinâmico, químico e isotópico, na região dos Municípios de Águas de Lindóia e Lindóia;

- estudar o comportamento e as relações entre as águas de chuva e fontes, através de uma monitoração química e isotópica por um período de 1 ano;

- realizar um levantamento das ocorrências de águas minerais nos Municípios de Águas de Lindóia e Lindóia;

- avaliar e discutir a classificação das águas minerais de acordo com o Código de Águas Minerais, e

- proporcionar um maior e melhor conhecimento técnico-científico na hidrogeologia e hidrogeoquímica de terrenos cristalinos, nos procedimentos de amostragem e na análise físico-química de água subterrânea.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1. Localização da área e vias de acesso

A área de estudo abrange parte dos municípios de Águas de Lindóia e Lindóia, situados na região nordeste do Estado de São Paulo, com aproximadamente 61 km².

O acesso principal, a partir da capital, é feito pelas rodovias Bandeirantes e Anhanguera. Os acessos secundários são representados pela SP-360 (via Amparo), SP-08 (via Bragança Paulista), SP-342 e SP-147 (via Mogi Guaçu - Bragança Paulista), SP-352 e 147 (via Itatiba).

A localização à área de investigação está representada na figura 1.

2.2. Histórico dos municípios

A região dos atuais municípios de Águas de Lindóia e Lindóia, conhecida desde o século XVIII, servia de pouso aos bandeirantes que seguiam rumo às novas minas do sertão de Guaianazes.

Em 1728, a região se tornou uma sesmária, resultado de grandes disputas pelas terras que ligavam o litoral às minas de Goiás (GUIMARÃES, 1946).

Em 1895, foi criado o distrito policial de Lindóia e em 1899, devido ao conhecimento das "águas medicamentosas" e consequente desenvolvimento do local, a região foi elevada a distrito de paz, subordinado à Serra Negra (GUIMARÃES, 1946).

As "Thermas de Lindoya" - local de origem do atual município de Águas de Lindóia - surgiram em 1920, como resultado dos esforços do médico italiano Francisco Tozzi, transformando o distrito em famosa estação crenoterápica (TOZZI, 1987).

As "Thermas", localizadas a 7 km da sede do antigo distrito, foram construídas próximo aos cinco pontos de surgência de águas termais, as atuais captações das fontes São Roque, Filomena, Glória, Beleza e Madame Curie.

Graças à intensa campanha publicitária referente ao valor crenológico das águas e às novas descobertas em outros municípios, foi dado grande impulso no tocante à exploração das águas minerais na região, assim como em todo o Estado de São Paulo.

Em 1953, a sede do município de Lindóia foi transferida para as "Thermas de Lindoya" e adotou-se a denominação "Águas de Lindóia" (TOZZI, 1987).

Em 1964, houve o desmembramento das cidades de Lindóia e Águas de Lindóia, e atualmente ambas são importantes municípios pertencentes ao Circuito das Águas do Estado de São Paulo.

Estas cidades têm no turismo e nas indústrias de engarrafamento de águas minerais suas principais atividades econômicas.

Com uma população de 3.542 habitantes, Lindóia caracteriza-se por possuir como principal atividade econômica a exploração e comércio de águas minerais (SEADE, 1987). Já em Águas de Lindóia, com 9.838 habitantes, a principal atividade é o turismo, seguida pela exploração de águas minerais (SEADE, op.cit.).

Estas cidades são grandes produtoras de água mineral no Estado de São Paulo, e também no Brasil. A cidade de Lindóia detém o primeiro lugar no Estado de São Paulo, com 28% da produção e vendas e 63.820.000 l produzidos em 1987. Águas de Lindóia, com produção de 18.321.000 l/ano em 1987, ocupa o quarto lugar no Estado de São Paulo, com 8% da produção (DNPM, 1988).

2.3. Aspectos fisioclimáticos

Fisiografia

Sob o aspecto fisiográfico, a região de Águas de Lindóia e Lindóia situa-se no PLANALTO ATLÂNTICO, dentro da zona geomorfológica da SERRANIA DE LINDÓIA (IPT, 1981).

A Serrania de Lindóia é descrita como uma zona de transição interplanáltica, limitada pela Depressão Periférica e a Morraria de Jundiá e pelas terras altas mineiras.

Esta transição é caracterizada por formas dissecadas que se alongam em serras concordantes com as direções estruturais e a elevação gradual do relevo. Esta elevação se inicia nos limites da Depressão Periférica e Morraria de Jundiá e prossegue em direção às terras altas mineiras. (IPT, 1981).

É notável a grande variação da altitude no local: os menores valores situam-se na faixa de 680 m, próximos ao Rio do Peixe, e os maiores valores, de 1319 m, no Morro Pelado, a NNE da cidade de Águas de Lindóia.

Na região de estudo são descritas três formas de relevo, pertencentes a um grande grupo denominado Relevos de Degradação em Planaltos Dissecados (IPT, 1981).

As Serras Alongadas, pertencentes ao Relevo Montanhoso (declividade média a alta - acima de 15% - e amplitudes locais de 100 a 300 m), são caracterizadas por topos angulosos, vertentes ravinadas com perfis retilíneos às vezes abruptas, drenagem de alta densidade de padrão paralelo pinulado e vales fechados.

Este tipo de relevo está alinhado em função das direções estruturais, com vales possuidores de trechos retilíneos de grande extensão condicionados por grandes falhamentos. Notam-se, também, cristas compostas de granitos e quartzitos de direção NE-SW.

Os morros com Serras Restritas - pertencentes ao Relevo de Morros (declividade média a alta - acima de 15% - e amplitudes locais de 100 a 300 m) são caracterizados por morros de topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos (por vezes abruptas) e presença de serras restritas. Possuem drenagem de alta densidade, padrão dendrítico a pinulado, vales fechados e planícies aluvionares interiores restritas.

Este tipo de relevo ocorre na região associado às Serras Alongadas.

A forma de relevo Mar de Morros faz parte do Relevo de Morros e caracteriza-se por topos arredondados, vertentes com perfis convexos a retilíneos, drenagem de alta densidade e padrão dendrítico a retangular, vales abertos a fechados, planícies aluvionares interiores desenvolvidas e ocorrências de formas "meias-laranjas".

Clima e hidrografia

O clima e a pluviosidade da região estão intimamente relacionados com a altitude e o sistema de relevo, controlando a distribuição das chuvas locais e as oscilações

da temperatura (IPT, 1981).

O clima da área é classificado por Koppen como Cwa, ou seja, Mesotérmico com Inverno Seco e Verão Quente. A temperatura média anual situa-se em torno de 20°C.

A pluviosidade média anual, segundo as médias multianuais no período de 1941 a 1970 em Serra Negra, variam de 1143 mm a 2023 mm, com máximos durante a primavera e o verão (novembro a fevereiro) e mínimos, no outono e inverno (maio, setembro), chegando, em alguns anos, à estiagem (DAEE, 1981).

Quanto à hidrografia, a área pertence a Região Administrativa de Campinas, e fazem parte da região a montante da Bacia do Rio Mogi-Guaçu. Os principais cursos de água existentes na área, afluentes do Rio Mogi-Guaçu, são o Rio do Peixe e Ribeirão dos Coutos, situados respectivamente em Lindóia e Águas de Lindóia.

2.4. Histórico das fontes

As águas minerais das fontes do municípios de Águas de Lindóia e Lindóia, apesar de pioneiras na história da exploração e comercialização no Estado de São Paulo, se ressentem de estudos científicos sobre sua origem, circulação e sua implicação com o meio-físico.

Em geral, os trabalhos existentes são estudos crenológicos e de determinação da radioatividade natural, assuntos em voga nas décadas de 20, 30 e 60, bem como publicações em que se registram e classificam as águas minerais em todo o estado e no país. Os trabalhos mais recentes são de caráter regional, enfocando, por vezes, assuntos específicos.

É o caso de MATTOS (1928), GONSALVES et al (1936), TEIXEIRA (1938 e 1946) e LOPES (1956), cujos trabalhos registram e classificam as águas minerais, segundo o Código vigente na época. Quanto aos estudos sobre a determinação da radioatividade, WANDERLEY (1924) analisa as águas das fontes São Roque e Filomena e PRADO (1938) e LONGO (1967), as águas minerais do Estado de São Paulo.

Quanto à área de estudo, MATTOS (1935) analisa a fonte São Roque e GUIMARÃES (1946) estuda, pela 1ª vez, as fontes São Benedito e Santa Terezinha, enfocando, com detalhes, a geologia e sua relação com as fontes, quanto a sua surgência e composição química.

Em trabalhos mais recentes (da década de 70 até hoje), os estudos científicos são mais aprimorados, mas de caráter regional e de cadastramento, em que as fontes da área de investigação estão inseridas num universo maior. O "Perfil Analítico de Águas Minerais do Brasil" (FALCÃO, 1978) registra e classifica todas as águas minerais cadastradas no DNPM, enquanto que HURTER et al. (1983) catalogam dados geotérmicos de fontes termais do país.

Muitas vezes, estes estudos abordam um tema específico, como SAMPA (1978), que enfoca a radioatividade das águas minerais do estado, MIOTO e DEL REY (1984), ESTON e HAMZA (1984) e HURTER (1984 e 1987), que estudam a geotermia das águas termais brasileiras, e SZIKSZAY e TEISSEDRE (1977a, 1977b, 1979, 1981a, 1981b), que realizam uma avaliação hidrogeoquímica preliminar das águas minerais do Estado de São Paulo.

Na região do Circuito das Águas do Estado, onde a área de investigação está inserida, mencionam-se os trabalhos de SZIKSZAY e TEISSEDRE (1978) e DEL REY (no prelo) enfocando, em caráter de *avaliação preliminar*, a hidrogeoquímica e geotermia-hidrogeologia das águas, respectivamente. No município de Águas de Lindóia, uma avaliação hidrogeológica foi realizada pela CETESB (1987), a pedido da prefeitura local.

3. METODOLOGIA

A metodologia de estudo consistiu, principalmente, das seguintes fases :

3.1. Pesquisa bibliográfica e cadastramento

Todos os trabalhos científicos referentes às águas minerais com enfoque na área de estudo foram pesquisados, bem como relatórios internos do DNPM - São Paulo, DAEE, CETESB - São Paulo e da antiga FUMEST-Paulistur.

Com base nestes dados foi realizado um levantamento preliminar de todas as ocorrências de águas minerais e termais na área. Pelos trabalhos de campo, novas ocorrências em exploração foram catalogadas, assim como verificados os usos e as desativações das ocorrências levantadas bibliograficamente.

Os pontos cadastrados foram, então, locados em fotos aéreas pan-cromáticas (da IBGE - CERCA, na escala 1:25.000) e transportados para os mapas topográficos (IBGE, na escala 1:50.000).

3.2. Amostragem e análise

As ocorrências de água mineral em atual regime de exploração, bem como os produtos resultantes da monitoração, foram selecionados para amostragem e análise.

Os procedimentos de amostragem variaram de acordo com o tipo de análise de água a ser realizado e das exigências de cada laboratório. No entanto, todas as amostras coletadas foram preservadas na temperatura de 4° C.

Para análise dos ânions e cátions, foram coletados cerca de 50 ml e 100 ml de amostra em frascos descartáveis de polietileno. A determinação do radônio-222 necessitou de 0,5 l de água em frasco de polietileno descartável e um prazo de entrega para análise de no máximo 12 horas, devido à meia-vida muito curta deste gás (3,82 dias). Para a análise dos isótopos $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$, amostraram-se 50 ml de água em frasco de polietileno descartável. O local, o nome da fonte, a data da coleta e, no caso da radioatividade, o

horário, foram anotados nos frascos com amostras.

Em cada amostra de água foram analisados os seguintes parâmetros :

- físico-químicos "in situ" - temperatura do ar e da água, pH, Eh, condutividade elétrica, bicarbonato e carbonato e gás carbônico livre;
- elementos maiores - cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloreto, nitrato e sulfato;
- elementos menores - fluoreto, brometo, nitrito; e em algumas amostras, boro, ortofosfato, zinco, alumínio, cádmio, cobre, ferro ferroso, chumbo, bário, cromo total, níquel e amônio;
- demais parâmetros - sílica, Resíduo Filtrável em algumas amostras;
- radioatividade - radônio-222, em algumas amostras, e
- isótopos - oxigênio-18 e deutério.

As análises químicas dos elementos maiores foram executadas no Laboratório de Hidroquímica do CEPAS-IGUSP e Laboratório de Geoquímica Ambiental do INPE-São José dos Campos; algumas análises foram enviadas ao Laboratório de Química Inorgânica da CETESB-São Paulo e CENA-Piracicaba. A determinação das concentrações de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ foram feitas no Laboratório do CENA-Piracicaba e as análises de radioatividade, no Laboratório do IPEN-São Paulo.

3.3. Monitoração

A monitoração consistiu na amostragem semanal e mensal, por um ano, de dois pontos selecionados : a fonte FILOMENA, situada no Município de Águas de Lindóia, e do poço tubular profundo do Balneário FUMEST - Paulistur, em Lindóia.

No balneário FUMEST-Paulistur de Águas de Lindóia foi instalado um coletor de água de chuva para monitoração semanal por um período de um ano.

3.4. Tratamento e interpretação dos resultados obtidos

3.4.1. Análise do fraturamento

Os trabalhos realizados visaram compreender os mecanismos de origem das estruturas deformacionais e rúpteis da área de estudo e, consequentemente, entender a circulação das águas subterrâneas locais.

Inicialmente, foram pesquisadas bibliografias referentes à geologia regional e da área, procurando entender sua história evolutiva, principalmente no tocante aos aspectos estruturais. Em fotos aéreas pan-cromáticas, de escala 1:25.000 (IBGE-CERCA), foram determinados os lineamentos de fraturas existentes. O termo lineamento de fratura, utilizado neste trabalho, é definido por LOCZY e LADEIRA (1976) como "qualquer linha condicionada topograficamente e observável em mapas topográficos, no terreno ou em qualquer tipo de imagens supramencionáveis. Os lineamentos são causados por juntas, falhas, fraturas, planos de acamamento, xistosidade, foliação e lineação". Foram considerados lineamentos de fraturas aqueles maiores que 1 cm (250 m) na fotointerpretação.

A área, então, foi subdividida em 60 células, de 1 km² cada, onde se procedeu à medição dos comprimentos e o número de lineamentos de fraturas. O comprimento total (km) dividido pela área da célula (km²) caracterizou a densidade de lineamentos de fraturas existentes na célula; o número de lineamentos de fraturas existentes por célula correspondeu à frequência destes.

Desta maneira, as análises de tendência de frequência e densidade de lineamentos de fraturas foram realizadas utilizando-se o programa TREND, que utiliza métodos polinomiais não ortogonais para o cálculo das superfícies de tendência de graus 1 a 10.

As superfícies e os mapas de resíduos utilizados para os 2 tipos de análise foram de grau 4, com coeficientes de correlação de 0,5657 para a frequência e de 0,5795 para a densidade de lineamentos de fraturas.

As frequências calculadas para as direções dos lineamentos de fraturas foram distribuídas no diagrama de frequência de direções, pretendendo-se com isto visualizar as principais direções destes lineamentos.

Com base nesse estudo e com as informações bibliográficas disponíveis, foram aplicados 2 modelos deformacionais visando correlacionar tais atitudes de fraturamento com os movimentos transcorrentes presentes na região. Estes modelos foram aplicados por Bertachini (1987) na região de Jundiá.

3.4.2. Hidrogeologia

O estudo das características hidrodinâmicas do aquífero da área de estudo se baseou na correlação e interpretação dos parâmetros hidrodinâmicos, representados pela capacidade específica ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) e transmissividade (m^2/s) de poços tubulares profundos e vazão (m^3/s) das nascentes, através dos seguintes critérios:

- morfoestruturais: a situação topográfica de cada ponto analisado, classificada de acordo com 3 feições principais: topo, vale e vertente.

- geológicos: litologia e principais direções dos lineamentos de fraturas. As litologias da área foram reunidas em 3 grupos mais representativos: quartzito, migmatito e migmatito milonitizado. A classificação dos pontos analisados nestas 3 litologias baseou-se nas observações de campo, nas descrições dos relatórios internos das empresas engarrafadoras e perfuradoras e no mapa geológico da região.

Os valores de capacidade específica de poços e vazão das nascentes apresentaram distribuição logarítmica normal e mediana, representados em gráficos de probabilidade logaritmo normal de cada parâmetro hidrodinâmico analisado.

As transmissividades foram calculadas através do método Cooper-Jacob, por meio de dados existentes em ensaios de bombeamento executados pelas empresas perfuradoras. As restrições quanto à utilização deste parâmetro em meios fraturados são conhecidas, assim como as limitações do método aplicado para sua determinação. No entanto, este parâmetro foi utilizado no sentido de se avaliar qualitativamente as transmissividades direcionais dos fraturamentos, sem qualquer outra intenção que necessite de maior precisão.

Os valores de capacidade específica e transmissividade, assim caracterizados, foram comparados aos resultados existentes em bibliografias.

Na análise da influência dos condicionantes morfoestruturais na hidrodinâmica do aquífero, as capacidades específicas dos poços e vazões das nascentes

foram agrupadas de acordo com a situação topográfica de cada local analisado. Cada grupo foi representado em gráficos de probabilidade logaritmo normal de cada parâmetro analisado, com o objetivo de se avaliar as melhores tendências de produtividade de cada situação topográfica.

O mesmo procedimento foi feito para os estudos da influência das litologias na hidrodinâmica do aquífero. Gráficos de probabilidade logaritmo normal foram construídos para cada litologia, visando determinar as que apresentam tendências de melhores valores de capacidade específica e vazão.

No estudo dos condicionantes estruturais, foram determinadas direções de lineamentos de fratura para cada ponto analisado (poço ou fonte). Deste modo, diagramas de frequência de valores médios de capacidade específica de poços e vazões de nascentes foram confeccionados, de acordo com as direções dos lineamentos. Através da distinção das estruturas que apresentam maiores valores médios de capacidade específica e vazão e sua classificação nos modelos estudados na análise dos fraturamentos, determinaram-se as principais estruturas e suas direções, que propiciam uma melhor circulação das águas subterrâneas na área de estudo.

3.4.3. Hidroquímica

a) Águas de chuva :

As interpretações sobre o comportamento das águas de chuva consistiram em estudar as variações de condutividade e dos principais elementos (cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloreto, nitrato e sulfato) por estação climática. As médias de sólidos totais dissolvidos (STD), ponderadas com a precipitação do mês, foram calculadas, plotadas em gráficos e comparadas com os valores de precipitação mensal, no período de junho de 1987 a julho de 1988.

O parâmetro STD (sólidos totais dissolvidos) foi calculado pela equação $STD = 0,65 \times CE$ baseado em MATTHESS (1982), onde CE é a condutividade elétrica em uS/cm.

As médias dos elementos químicos e condutividade por estação climática foram calculadas com o intuito de se avaliar, de forma aproximada, o aporte de sais das precipitações por km^2 , no solo.

A metodologia de análise aqui utilizada está descrita em SILVA (1983).

Os valores de isótopos de oxigênio-18 e deutério obtidos pela monitoração foram plotados no gráfico (oxigênio-18 versus deutério) para se obter a equação da reta meteórica da área de estudo. A média ponderada dos teores de oxigênio-18 das águas de chuva com os valores de precipitação foi calculada objetivando compará-la com os valores das águas das fontes e poços tubulares, no sentido de se verificar sua origem e mecanismos de recarga do aquífero.

b) Águas das fontes e poços tubulares :

Os parâmetros físico-químicos analisados foram agrupados por litologias, com o intuito de se obter tendências. Estes parâmetros e os elementos químicos foram então correlacionados entre si, com o objetivo de determinar e interpretar as inter-relações que possam existir. A somatória de íons (em mg/l) foi utilizada em substituição ao parâmetro STD (sólidos totais dissolvidos).

As unidades dos elementos maiores, em miligramas por litro, foram transformadas em miliequivalentes por litro, e, desta maneira, calculados seus erros analíticos. As análises foram aproveitadas por apresentarem erro menor que 10%, ou seja, dentro do limite aceitável.

Para a classificação das águas, foram usados três métodos: por comparação dos valores dos elementos maiores, (SCHOELLER, 1962), através do Diagrama de PIPER e Diagramas de STIFF.

No estudo da evolução química, utilizaram-se os índices iônicos rNa/rCa , rK/rNa , rMg/rCa e índice de troca de base (i.t.b.), expresso pela equação:

$$i.t.b = \frac{rCl - (rNa + rK)}{(rHCO_3 + rNO_3 + rSO_4)}$$

Os valores dos isótopos de deutério e oxigênio-18 das águas foram plotados no gráfico das retas meteóricas da área de estudo e mundial. Os valores dos isótopos

oxigênio-18 foram representados no mapa topográfico com o intuito de se observar tendências e possíveis áreas de recarga.

Os parâmetros físico-químicos e químicos foram correlacionados com os valores de oxigênio-18, visando determinar tendências e possíveis mecanismos que ocorram nestas águas.

Os cálculos de regressão linear, bem como feitura de planilhas, cálculos de transformação de mg/l em meq/l, balanços iônicos, i.t.b. e relações iônicas foram realizados em microcomputadores, através do programa LOTUS 123.

Os estudos sobre a variabilidade físico-química e isotópica dos pontos monitorados basearam-se na análise dos parâmetros físico-químicos e dos isótopos de oxigênio-18 em relação aos dados de pluviometria, em intervalos semanais e também mensais. As análises de correlações destas variáveis em relação a pluviometria, através do programa LOTUS 123, foram também realizadas.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

4.1. Geologia regional

A região pré-cambriana do nordeste do Estado de São Paulo e da parte sul de Minas Gerais ainda é assunto de muitas discussões e controvérsias devido a sua grande complexidade geológica. De idade que varia do Arqueano ao Proterozóico Inferior, a região sofreu, ao longo do tempo, a ação de uma evolução policíclica que modificou as rochas de origem através de metamorfismo, redobramentos, cisalhamentos, migmatização, intrusões e rejuvenescimentos isotópicos. As rochas ali existentes caracterizam-se pelo seu metamorfismo de alto grau, geralmente de fácies granulito, anfibolito, e algumas vezes xisto verde, bem como pelas evidências de atuação dos efeitos termotectônicos atribuídos aos eventos Jequié, Transamazônico, Brasileiro e, parcialmente, Uruaçuano (ALMEIDA e HASUI, 1984).

Deste modo, a área de estudo e seus arredores têm sido objeto de muitos trabalhos visando entender a estratigrafia da região, bem como os eventos que alteraram aquelas litologias.

A tabela 01 (modificado de CAMPANHA et al., 1983b) demonstra a problemática de classificação estratigráfica para as unidades litológicas encontradas na região em questão.

CAMPANHA et al. (1983a), na folha Águas de Lindóia, classificam as litologias em Unidade I (superior), Unidade II (intermediária) e Unidade III (inferior). ZANARDO (1987), também na folha de Águas de Lindóia, reconhece como unidade basal o Grupo Amparo, constituído por sequência migmatítica transposta de composição tonalítica a granodiorítica, aflorante em núcleos antiformais redobrados. Sobre este último, situa-se o Grupo Itapira, que é a sequência metassedimentar ocorrente em estruturas sinformais, braquisinformais ou em lentes encravadas nos granitóides sin-tectônicos. Os granitóides sin-tectônicos, fusão da parte metassedimentar e do embasamento, estão situados entre estes dois grupos.

GROSSI SAD e BARBOSA (1982), propõem no mapeamento da folha Socorro duas unidades pertencentes ao Complexo Amparo: a Unidade Serra Negra, basal, e a Unidade Monte Alegre, topo. A Unidade Serra Negra é constituída por biotita gnaisse,

TABELA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE AS COLINAS ESTRATIGRÁFICAS PROPOSTAS PARA O COMPLEXO AMPARO E ÁREAS POSSIVELMENTE CORRELATAS

Ebert (1968,1971)	Wernick (1978a,b)	Choudhuri et alii (1978) (*)	Fiori (1979) (**) Fiori et alii (1978, 1981)	Cavalcante et alii (1979)(***)	Artur et alii (1981)	Almeida et alii (1981)	Grossi Sad & Barbosa 1983 (****)	Campanha et al. (1983 a e b)	Almeida e Hasui(1984)	Zanardo (1987)			
Grupo Itapira (Andre- lândia)	Grupo Amparo	quartzito e mica-xistos	Grupo Amparo	Complexo Itapira ----- Complexo Amparo	Grupo Amparo	Complexo Amparo	Unidade Monte Alegre	Superior ----- Inferior	Unidade I (superior)	Grupo Amparo	Grupo Itapira		
Grupo Amparo (Barbacena)		gnaisses banda- dos e biotita hornblenda para gnaisses com forte metamor- fismo e anate- xia incipiente	Complexo de Silvianópolis					Complexo de Silvianópolis (Barbacena)	Superior			Unidade II (intermediária)	Granitoides sintectônicos -----
		gnaisses anate- xíticos e gnaiss es homogêneos											

(*) área de Pouso Alegre; correlação feita com o presente trabalho por associação litológica

(**) área de Pouso Alegre; correlação feita com o presente trabalho com base no critério estrutural proposto por esse autor

(***) correlação feita pelas áreas de ocorrência das unidades

(****) Folha Socorro 1:50 000

Fonte: compilado e atualizado de Campanha et al. (1983 b)

granitóide e migmatito com paleossoma de gnaiss granítico de estrutura estromática e neossoma leucocrático, além de corpos de anfibolito e anfibólio-biotita gnaiss. Nesta unidade ainda são observadas rochas cataclásticas ao longo da zona do Falhamento de Monte Sião. A Unidade Monte Alegre se divide em 2 subunidades: a inferior, constituída por quartzito, anfibolito, anfibólio gnaiss, gnaiss máfico a biotita; a superior, por gnaisses milonitizados e migmatitos milonitizados, com intercalações de anfibolito e quartzito. Estas 2 subunidades se encontram, em geral, cataclasadas.

Na tabela 01, estas unidades se encontram enquadradas dentro das classificações propostas por vários autores para as litologias da região nordeste de São Paulo e sul de Minas Gerais.

Nos estudos geocronológicos do Grupo Amparo, foram datadas rochas com 2.085 Ma (por Rb/Sr) e 1.918 Ma (por K/Ar) indicando o Evento Transamazônico. Em neossomas mais jovens existentes através de migmatização e injeções de granitóides brasileiros, determinaram-se as idades de 760 e 600 Ma (WERNICK et al., 1981, in ALMEIDA e HASUI, 1984).

O Grupo Amparo foi afetado reconhecidamente por três fases de deformação, relacionadas aos eventos Transamazônico, Uruaçuano e Brasileiro. A primeira fase gerou dobras com eixos NNE, com planos axiais empinados e transpostos; a segunda, dobras de eixos NNW e planos axiais empinados e a terceira fase, ondulações de eixos NE (ALMEIDA e HASUI, 1984).

4.2. Geologia local

A geologia da área de estudo é uma adaptação de dados existentes, compilados dos mapeamentos geológicos executados pelo Pró-Minério nas folhas de Socorro e Águas de Lindóia (GROSSI SAD e BARBOSA, 1982, e CAMPANHA et al., 1983a, respectivamente) e por ZANARDO (1987), que realizou também um estudo petrográfico e microestrutural na folha Águas de Lindóia.

Desta forma, a área em questão (FIGURA 02) é caracterizada pelas seguintes unidades litoestratigráficas:

Aluviões atuais - (Ha) - são depósitos aluvionares constituídos por sedimentos imaturos como areias de granulação média a grosseira, argilas e matéria

LEGENDA

HOLOCENO

Ha depósitos aluvionares inconsolidados

EOPALEOZOICO

PSM protomilonitos, blastomilonitos, milonitos, ultramilonitos e cataclitos.

PROTEROZOICO INFERIOR

Qx ortoquartzito, quartzito, gnaisses, rochas edialo-silicáticas e anfibolitos.

GMS migmatitos e granitos sinfectônicos gnaissificados.

GHO gnaisses com estrutura homogênea, bandados.

GMH gnaisses e migmatitos cinza e róseos.

MG migmatitos cinza gnaissificados.

--- CONTATO GEOLÓGICO

--- FALHA INFERIDA

ZONA MILONITIZADA DA FALHA DE MONTE SIAO

ESTRUTURA ANTIFORMAL COM CAIMENTO DO EIXO

ESTRUTURA SINFORMAL COM CAIMENTO DO EIXO

ESTRUTURA SINFORMAL INVERSA COM CAIMENTO DO EIXO

FOLIAÇÃO MILONÍTICA

FOLIAÇÃO GNAÍSSICA OU DE TRANSPOSIÇÃO

FIGURA 02 - MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO

orgânica. Em locais acidentados, são comuns as cascalheiras, com seixos centimétricos a decimétricos na base. Estes aluviões ocorrem, em escala mapeável, no Córrego dos Coutos (ao NNW da área de estudo), no rio do Peixe (na cidade de Lindóia) e no Córrego do Monjolo.

Protomilonito, blastomilonito, milonito, ultramilonito e cataclasito - (PSM) - ocorrentes na zona da Falha de Monte Sião, possui direção NE/SW e formam uma faixa com espessura entre 500 e 1000 metros, afetando gnaisses graníticos, quartzitos e gnaisses porfiroblásticos, anfibolitos, hornblenda e biotita- gnaisses, granada gnaisses, xistos psamo-pelíticos e migmatitos homogêneos ou estromáticos (ZANARDO, 1987). Os milonitos e ultramilonitos, em geral, ocorrem nos centros das zonas de falhas, enquanto que nas bordas destas predominam os blastomilonitos e protomilonitos.

Ortoquartzitos, quartzo-xistos, xistos psamo-pelíticos, gnaisses, rochas cálcio-silicáticas, anfibolitos, ultramáficos e gnaisses oftalmíticos - (Qx) - caracterizam-se como pacotes de ortoquartzitos com intercalações com as demais litologias e espessuras variadas. Ocorrem em forma de lentes na parte oriental da área e são encontrados alinhados com as direções de cisalhamento. Na parte superior oriental da área de estudo, estas litologias apresentam dobras de arrasto, indicando sentido sinistral para a Falha de Monte Sião. Esta unidade é o elemento básico para a estratigrafia e para a estruturação geral da área, assim como responsável pelo relevo acidentado e altas altitudes (ZANARDO, 1987).

Migmatitos e granitos sin-tectônicos gnaissificados - (GMS) - caracterizam-se por possuir intercalações frequentes de biotita e hornblenda gnaisses, anfibolitos, e por vezes, quartzitos, xistos, rochas calcossilicáticas, gonditos e ultramáficas e pela presença dominante de orto-gnaisses com estruturas migmatíticas. Próximo às falhas, encontram-se milonitizados.

Gnaisses com estrutura homogênea difusamente bandados, frequentemente oftalmíticos - (GHO) - ocorrentes ao norte, no extremo oeste da área, aparecem inclusos na unidade GMH e encontram-se associadas aos gnaisses porfiroblásticos.

Gnaisses e migmatitos cinza a róseos de aspecto homogêneo a bandado de composição adamelítica a granodiorítica - (GMH) - esta unidade encontra-se formando o núcleo da estrutura antiformal ao norte da área. É frequente a presença de rochas ultramáficas intercalando-se com as litologias principais.

Migmatitos cinza gnaissificados com estrutura bandada e dobrada - (MG) - esta unidade encontra-se a leste da área de estudo e são caracterizadas por bandamento mais

difuso, baixa frequência de bandas anfíbolíticas, granulação grosseira, e transições para tipos mais homogêneos (ZANARDO, 1987).

A descrição das litologias acima referida foi baseada em ZANARDO (1987), com a preocupação de verificar sua compatibilidade com os demais autores (GROSSI SAD e BARBOSA, 1982, e CAMPANHA et al., 1983a).

A posição estratigráfica destas unidades, de acordo com os autores, está descrita na tabela 02.

A unidade litoestratigráfica MG é controversa: ZANARDO (1987) considera como representante do Grupo Amparo na área em questão, enquanto que CAMPANHA et al. (1983) acreditam que sua correlação com as demais unidades não é clara. Já GROSSI SAD e BARBOSA (1982) situam as rochas similares a esta na unidade Monte Alegre Superior.

Quanto à análise da geologia estrutural da área, o estudo das foliações demonstra grande complexidade estrutural. CAMPANHA et al. (1983) indicam a existência de intensa foliação de transposição afetando outras anteriores.

ZANARDO (1987) determina para a área oeste da Falha de Monte Sião ("Setor III") 7 máximos de atitudes médias de foliação: N76E/86SE, N25E/65SE, N44W/65SE, N55W/54SW, N07E/59NW, N16E/79NW e N24E/39NW. GROSSI SAD e BARBOSA (1982), determinam para as rochas da parte oriental da folha de Socorro as atitudes médias de N24E/60SE e N02W/74SW, referidas às abas do grande antiforme. As elevadas dispersões na determinação destas atitudes são explicadas pelo falhamento e dobramento superpostos.

Na região da falha de Monte Sião, as foliações demonstram movimentação de massa sinistral e um máximo de N38E/64SE (ZANARDO, 1987).

A leste da falha, obtiveram-se as atitudes N33E/70SE e N41E/20NE, sendo esta última atribuída a um suposto traço axial mergulhando para NE. A elevada dispersão de atitudes, sugere uma outra fase de dobramento (ZANARDO, 1987). Segundo GROSSI SAD e BARBOSA (1982), a foliação se orienta de acordo com a atitude N28E/S4SE e se adapta a uma estrutura sinformal.

Na parte leste da Falha de Monte Sião, há o predomínio de dobras isoclinais a fechadas, de direções axiais WNW-ESE, com mergulhos NW com valores de moderados a altos. As dobras concêntricas exibem atitudes médias N-S com mergulhos elevados (65° a

TABELA 02 - ESTRATIGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO DE ACORDO
COM DIVERSOS AUTORES.

UNIDADE LITOESTRATIGRÁ - FICA (este trabalho)	CAMPANHA et al. (1982)		GROSSI SAD & BARBOSA (1983)	ZANARDO (1987)
Qx	Bloco Itapira	Unidade I	Unidade Monte Alegre Superior	Grupo Itapira
GMS		Unidade II	Unidade Serra Negra Superior	Granitóides Sintectônicos
GHO			_____	Grupo Itapira
GMH			Unidade Serra Negra Inferior	
MG	Bloco Ferreiras	Unidade II ou III	Unidade Monte Alegre superior (?)	Grupo Amparo

90°), porém com grande dispersão (ZANARDO, 1987). GROSSI SAD e BARBOSA (1983) determinam para o antifome ali existente o eixo estatístico S10W/32, e em escala mesoscópica, SN/23 e N44E/28.

Na zona da Falha de Monte Sião, ZANARDO (1987) determina a atitude média (N51E/10NE) do eixo axial das dobras concêntricas ou isoclinais, causadoras da milonitização.

A oeste deste falhamento o antiformal invertido existente na folha Águas de Lindóia possui atitude do eixo axial de direção NE e mergulho 40° a 50°SE. Na folha de Socorro, a estrutura sinformal tem eixo estatístico de direção SSW.

Segundo CAMPANHA et al. (1983a), a região em estudo sofreu várias fases de dobramento: pelo menos uma fase de dobramento e migmatização anterior a transposição e mais quatro fases deformativas posteriores. As dobras intrafoliais seriam da fase anterior à transposição e as dobras não transpostas representariam um complexo dobramento polifásico que teria atuado na foliação de transposição. Desta forma, as estruturas maiores, como o antifome próximo as Águas de Lindóia seriam da fase Ft+3, com a direção aproximada N/S e NNE/SSW. Os arqueamentos suaves, com eixos e planos axiais com direções aproximadas para W, WNW e NW, seriam a quarta e última fase de dobramento, depois da transposição (Ft+4). GROSSI SAD e BARBOSA (1982), no entanto, reconheceram três fases deformativas na folha de Socorro.

Aos falhamentos transcorrentes da região atribui-se idade brasileira (entre 500 Ma a 430 Ma); porém, há evidências de pelo menos uma fase de milonitização, anterior a esta idade (CAMPANHA et al., 1983).

ZANARDO (1987) determinou na falha de Monte Sião e arredores 4 atitudes médias máximas para as juntas: N71W/75NE, N15W/43NE, N25E/S55E e N49°30'E/79SE. Na parte oeste da falha, apesar de elevada dispersão, encontraram-se 2 máximos importantes, N45E/85SE e N35E/85SE e, secundariamente, as atitudes N69E/77SE, N24E/57SE e N70W/90, controlando o sistema de drenagem.

Na parte leste do falhamento, na folha Águas de Lindóia, 6 atitudes máximas foram verificadas: N42E/89SE, N72W/80NE, N34W/90, N02W/88SE, N66W/65SW e N42W/61NE também controlando o sistema de drenagem.

4.3. Análise do fraturamento

O entendimento dos mecanismos que regem a dinâmica das águas subterrâneas em domínio cristalino requer uma melhor compreensão da geologia e de sua história evolutiva local, principalmente nos aspectos litológicos, deformacionais e rúpteis.

A região nordeste do Estado de São Paulo possui grande complexidade estrutural, devido à sobreposição de eventos que são indicadores de uma evolução polifásica e policíclica.

Na área de investigação, o fraturamento das rochas está relacionado às diversas fases deformacionais, grandes estruturas, como o antiformal situado a noroeste de Águas de Lindóia, e às fases rúpteis, como o falhamento de Monte Sião.

Através da fotointerpretação, verificou-se que os lineamentos de fraturas mais extensos estão dispostos nas direções do falhamento de Monte Sião e do antiformal de Águas de Lindóia. Estes lineamentos controlam o sistema de drenagem, como o Córrego dos Barbosas e o Ribeirão de Águas Quentes, situados respectivamente a sudeste e a noroeste da área. Perpendiculares às estas estruturas, encontram-se os lineamentos de fraturas de menor extensão, que controlam as drenagens menores, afluentes das acima citadas. Ao longo do Rio do Peixe e perpendicularmente a sua direção são observados lineamentos de fraturas de grande extensão.

Os mapas de tendência de 4^o grau de densidade e frequência de fraturas realizados na área de estudo possuem comportamentos similares. Estes mapas apresentam altos valores de densidade e frequência em uma larga faixa de sentido NE-SW que se estende a oeste da área e na parte superior dos quadrantes NW e NE da área em questão. Estes valores máximos encontrados correspondem às regiões do falhamento de Monte Sião, do antiformal de Águas de Lindóia e da região ao longo do Rio do Peixe, zonas estas de alta densidade e frequência de lineamentos de fraturas (FIGURAS 03 e 04).

O mapa de resíduos de frequência de lineamentos de fraturas apresenta valores negativos na parte central da área e em algumas concentrações no quadrante SW, SE, NW. No quadrante NE, há uma curta faixa de direção nordeste, de altos valores negativos. No entanto, verificam-se valores positivos nas demais regiões do mapa, indicando o alto grau de fraturamento na área de estudo (FIGURA 03).

FIGURA 03 - MAPA DE TENDÊNCIA DE 4º GRAU E RESÍDUO DE FREQUÊNCIAS DE FRATURAS DA ÁREA DE ESTUDO

FIGURA 04 - MAPA DE TENDÊNCIA DE 4º GRAU E RESÍDUO DE DENSIDADES DE FRATURAS NA ÁREA DE ESTUDO

Na análise do mapa de resíduos de densidade de lineamentos de fraturas, verificou-se a ocorrência de valores negativos em uma faixa de sentido NE, em pontos do quadrante NW, NE e SE da área.

As grandes áreas de valores negativos se relacionam a locais entre a zona da Falha de Monte Sião e o antiformal de Águas de Lindóia e ao núcleo deste antiformal, que são possuidores de baixa densidade de lineamento de fraturas. As áreas de valores positivos de densidade de lineamentos de fraturas indicam o elevado grau de fraturamento nas rochas da área em questão (FIGURA 04).

O diagrama de frequência de direções de lineamentos de fraturas (FIGURA 05) mostra uma elevada dispersão de valores. No entanto, verifica-se que as direções N30 - 50E (12,1%), N40 - 70W (26,9%), N0 - 20W (11,5%), N0 - 20E (10,1%), e E - W (10,4%) são as atitudes mais representativas na área de estudo. As direções N30 - 50E pertencem aos lineamentos de maior extensão e são atribuídos ao Falhamento de Monte Sião, a seus reflexos e ao antiformal de Águas de Lindóia. Os lineamentos de direção N40 - 70W são de pequena extensão e estão situados perpendicularmente aos lineamentos N30 - 50E.

Os lineamentos de direções N-S são de maiores extensões, onde os lineamentos de menor porte (E - W) estão situados perpendicularmente a estes primeiros.

Zanardo (1987) determinou, na região da Falha de Monte Sião 4 principais atitudes máximas de concentração de fraturas: N71W/75NE, N15W/43NE, N25E/S5SE e N49°30'E/79SE, concordantes com as direções determinadas no diagrama de frequência. A oeste da falha este mesmo autor determinou as atitudes N45E/85SE, N35E/85SE, N69E/77SE, N24E/S7SE e N70W/90 e a leste, os planos estatísticos N42E/89SE, N72W/80NE, N34W/90, N02/88SE, N66W/65SW, N42W/61NE, que controlam os sistemas de drenagem.

ZANARDO (1987) relata, ainda, a elevada dispersão das atitudes das fraturas e a dificuldade de correlacionar seus sistemas às estruturas definidas, devido à impossibilidade de separá-las por evento tectônico.

No entanto, DEL REY (no prelo) nos estudos sobre o fraturamento da região do Circuito das Águas do Estado de São Paulo, define que as fraturas N10-40E/subvertical e N70-80E/subvertical são de caráter transcorrente, apresentando, frequentemente, superfícies planas a onduladas e abertas. As atitudes N30-60W/subvertical apresentam, por sua vez, superfícies irregulares e fechadas. Este mesmo autor detecta, ainda, fraturas oriundas de alívio de carga, com direção N30-60E e

FIGURA 05 - DIAGRAMA DE FREQUÊNCIA DE DIREÇÕES DE LINEAMENTOS DE FRATURAS NA ÁREA DE ESTUDO

mergulhos variáveis e sub-horizontais.

GROSSI SAD e BARBOSA (1982) determinam no sul da área direções de fraturamentos NNE E SSE, com fortes mergulhos, normais às atitudes de eixos dos dobramentos existentes.

A área de investigação encontra-se entre o Falhamento de Jacutinga, de caráter transcorrente e de sentido dextral (CAMPANHA et al., 1983), situado a noroeste, e a Falha de Monte Sião, de caráter transcorrente e de sentido sinistral (ZANARDO, 1987). BERTACHINI (1987) propõe para os estudos dos fraturamentos em área de transcorrência dois modelos de desenvolvimento: o modelo de RIEDEL (1929), modificado por SADOWSKI (1984), e o modelo de HARDING (1974, in BERTACHINI, 1987) (FIGURA 06).

Neste estudo foi usado o modelo de Harding (1974, in Bertachini), com o objetivo de avaliar, a grosso modo, as tendências principais de atitudes de determinados tipos de fraturas e falhas secundárias que se desenvolvem em zonas de transcorrência (FIGURA 06).

O modelo de HARDING (1974, in BERTACHINI, 1987) conjuga dobramentos e falhas normais e de empurrão, além das fraturas sintéticas e antitéticas. As atitudes dos dobramentos e fraturamentos analisados foram considerados como resultantes do evento mais marcante da região : a transcorrência do Falhamento de Monte Sião. No entanto, a região, de evolução policíclica, sofreu inúmeros eventos que condicionaram o aparecimento de muitos sistemas de fraturas, bem como movimentações posteriores ao evento de transcorrência (TEIXEIRA, comunicação pessoal). Estes diversos eventos superpostos, originando diversos sistemas de fraturas, limitam o uso de modelos de desenvolvimento de fraturas neste tipo de área. Porém, a sua aplicação na área visa caracterizar as estruturas mais notáveis, que são as originadas pela transcorrência deste falhamento.

Aplicando este modelo à área, definem-se as direções das seguintes estruturas:

- Dobra - o eixo do dobramento deste modelo possui direção aproximada Norte-Sul, concordante com o definido por GROSSI SAD e BARBOSA (1982);
- Fraturas Sintéticas e Antitéticas - respectivamente com as direções N40E e

C-VETOR DE COMPRESSÃO DERIVADO DO FALHAMENTO TRANSCORRENTE
E-VETOR DE EXTENSÃO DERIVADO DO FALHAMENTO TRANSCORRENTE

COMPOSIÇÃO DAS FORÇAS E ESTRUTURAS RESULTANTES DE UM FALHAMENTO
TRANSCORRENTE, SEGUNDO HARDING (1974).

FONTE: BERTACHINI, 1997

FIGURA 06 – MODELO DE DESENVOLVIMENTO
DE FRATURAS

N60W; de alta frequência e marcante na área, são concordantes com as estruturas encontradas por ZANARDO (1987) e DEL REY (no prelo);

- Falhas normais - de direção aproximada E-W e de baixa frequência, estariam marcadas por fraturas provenientes de outras fases de dobramentos;

- Falhas de empurrão - de direção aproximada N-S.

A aplicação deste modelo na área apresentou boa correlação geométrica com as estruturas definidas bibliograficamente e com o diagrama de frequência de direções de lineamentos de fraturas (FIGURA 05).

5. HIDROGEOLOGIA

5.1. Cadastramento

O cadastramento consistiu na realização de um levantamento e seleção das ocorrências de águas subterrâneas existentes na área de estudo (ANEXO 01).

A caracterização da hidrodinâmica baseou-se nos dados hidráulicos existentes para 20 poços tubulares profundos e 24 surgências, destinados ao uso comum e ao engarrafamento de águas minerais, explorados pelas empresas mineradoras, pelo estado e pelas prefeituras (ANEXO 02).

Para os estudos hidroquímicos, foram selecionadas e amostradas, deste universo de 44 pontos, 17 ocorrências de águas minerais em exploração e 7 nascentes de uso público (ANEXO 03).

Em Águas de Lindóia, cadastraram-se 6 fontes de águas minerais, pertencentes a 4 empresas de mineração: Empresa de Águas de São Lourenço S.A., LAMIN - Espólio de José Costa Sobrinho, Cervejarias Reunidas Skol-Caracu S.A. e Hotel Tamoyo. A Secretaria dos Esportes e Turismo do Estado de São Paulo, através da antiga FUMEST, utiliza as águas de 5 surgências para seu balneário. A prefeitura, por sua vez, possui 3 nascentes para uso público.

No município de Lindóia, existem quatro empresas que exploram as águas minerais: Empresa de Mineração Mantovani Ltda., Empresa Lindoiana de Águas Minerais Ltda., Empresa Cremasco de Mineração e Lindoiano Hotel Fontes Radioativas. Estas são responsáveis pelo cadastro de 17 ocorrências de águas minerais no município. A prefeitura de Lindóia possui 5 surgências para uso público e a Secretaria dos Esportes e Turismo, um poço tubular profundo que abastece seu balneário (antiga FUMEST).

5.2. Aspectos construtivos das obras de captação

Na área de investigação, verificou-se o emprego de dois tipos de obras de captação: a caixa, usada para as surgências naturais, e o poço tubular profundo.

As captações existentes nas empresas mineradoras e nos balneários estão de acordo com as especificações técnicas ditadas pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 1973).

Estas especificações determinam o tipo de material a ser utilizado na construção das captações (caixa ou poço tubular), dos condutos e dos reservatórios, bem como definem a área de proteção da fonte, prédio, maquinaria, higiene pessoal e construção do fontanário. Estas normas tem como finalidade o aproveitamento da água mineral sem alteração das propriedades naturais e pureza.

Na área de estudo, as captações do tipo caixa caracterizam-se por possuir revestimento interno constituído por azulejos vitrificados, tampo de vidro, caixilho de alumínio revestido de borracha e extravasores, protegendo a surgência de agentes poluidores externos.

Os poços tubulares profundos, perfurados pelo método de percussão, apresentam diâmetros iniciais de perfuração de 10" ou 8", passando a 6", e revestimentos com diâmetros de 6" (secundariamente 8"). Somente em alguns poços existem filtros, devido a sua inviabilidade em rochas cristalinas. A profundidade varia de 14 m (Fonte Lindália) a 150 m (Balneário - FUMEST - Lindóia), não existindo ainda critérios que definam uma profundidade ótima. Estes poços possuem laje de proteção, porém verifica-se a ausência de cimentação.

Tanto os poços tubulares como as caixas de captação são protegidas por construção de alvenaria, com telhado e porta para proteção contra a entrada de animais e pessoas, além de serem mantidos sob boas condições sanitárias. Estas fontes possuem área de proteção, ou seja, uma porção do terreno ao redor da fonte com um adequado sistema de esgotamento de águas pluviais e cercada, de modo a impedir a entrada de animais.

Os condutos de distribuição são geralmente de material inerte (por exemplo, PVC) e os reservatórios, azulejados e limpos, de acordo com as especificações do DNPM (1973).

Em geral, as captações das empresas de mineração estão em boas condições de uso, graças aos objetivos da empresa em preservar a qualidade do produto e a fiscalização do DNPM.

Atualmente, as empresas mineradoras vêm substituindo, gradualmente, as captações tipo caixa pelo poço tubular profundo, devido ao crescente aumento da produção. O poço tubular, quando bem localizado, possui maior produtividade que as

fontes naturais, daí a preferência destas empresas em construí-lo. No entanto, em alguns pontos da região estudada existem muitos poços situados em área restrita (por exemplo: no vale do Córrego do Monjolo), podendo ocorrer uma superexploração local do aquífero.

Os poços tubulares construídos para uso comum foram perfurados pelo método de percussão com diâmetros iniciais de 10" e 8" e finais de 6". Apresentam revestimento liso de aço com diâmetro de 6" e ausência de filtros. A profundidade total gira em torno de 100 m, com mínimo de 49 m (Frigorífico Aves de Lindóia) e máximo de 261 m (Sítio Lindágua). Geralmente, apresentam laje de proteção e tubo de boca, porém não possuem cimentação. Os poços do S.A.A.E. e da Nova Lindóia Hotéis e Turismo S.A. são os que possuem sistema de proteção completo.

As nascentes Sertãozinho, Brejal, Pracinha, Estrada e Nossa Senhora das Brotas, sob responsabilidade das prefeituras, possuem captações do tipo caixa, revestidas internamente com azulejos e protegidas por construção de alvenaria. Essas captações, bem como seus condutos e reservatórios, são construções antigas, que não sofreram reformas nestes últimos anos; verificaram-se, ainda, condições sanitárias não satisfatórias, carecendo de inspeções e limpezas de maior constância. A nascente Sertãozinho, em Águas de Lindóia, encontra-se em situação mais grave: localizada à jusante e próximo a residências, esta fonte não possui construção conveniente nem área de proteção, onde acumula-se lixo em seus arredores. No mesmo local, desemboca, ainda, uma tubulação de águas pluviais, tornando-se inviável a situação atual da nascente. Apesar de sua reforma estar nos projetos da prefeitura do município de Águas de Lindóia, é necessário acelerar o início dos trabalhos, pois verificou-se o uso desta água pelos habitantes do local. Já as fontes da Prefeitura, São Luís e BR-360, são captações relativamente novas e se encontram em boas condições de uso.

5.3. Características hidrodinâmicas do aquífero

Os estudos dos aspectos hidrodinâmicos em meios fraturados e sua estreita relação com os condicionantes litológicos, estruturais e morfológicos, visaram um maior conhecimento dos mecanismos que regem a dinâmica de circulação e consequente evolução da composição das águas subterrâneas na área de estudo.

Os parâmetros hidráulicos utilizados para esta caracterização foram a capacidade específica ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) e transmissividade (m^2/s) de poços tubulares, bem como a vazão (m^3/s) das fontes naturais (ANEXO 2).

Os valores mais frequentes de capacidade específica estão situados no intervalo de $9,0 \times 10^{-6}$ a $2,2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s/m}$ (88%), apresentando a mediana de $3,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s/m}$ (FIGURA 07).

A transmissividade foi calculada através de dados existentes de testes de bombeamento, pelo Método Cooper-Jacob. Vale salientar a ciência das limitações deste parâmetro hidráulico em meio fraturado e do método aplicado; todavia, no sentido de se avaliar qualitativamente as transmissividades direcionais dos fraturamentos, estes dados foram considerados. Na área de estudo, foram obtidas em 4 ensaios de bombeamento, transmissividades nos valores de $1,2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, $3,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, $3,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ e $12,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Os dados de capacidade específica e transmissividade são concordantes com os valores encontrados pelo DAEE (1981), nas rochas cristalinas da região leste do Estado e por BERTACHINI (1987), na folha de Jundiá.

No Estudo das Águas Subterrâneas da Região Administrativa de Campinas (DAEE, 1981) os valores de capacidade específica apresentam distribuição logarítmica normal, em que 70% dos dados se situam no intervalo de $4,2 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s/m}$ a $8,3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s/m}$, com mediana de $1,7 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s/m}$.

BERTACHINI (1987) encontrou também comportamento logaritmo normal para os dados de capacidade específica e mediana no valor de $2,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s/m}$. As transmissividades, calculadas a partir de 42 ensaios de bombeamento, variaram de $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, obtendo-se uma correlação com a capacidade específica, pela equação:

$$\log_{10} T = 0,9 \times \log_{10} q - 0,5 \times 10^{-6},$$

onde : T = transmissividade em m^2/s

q = capacidade específica em $\text{m}^3/\text{s/m}$ (DAEE, 1981; BERTACHINI, 1987).

FIGURA 07 - DISTRIBUIÇÃO LOGARÍTMICA NORMAL DOS VALORES DE CAPACIDADE ESPECÍFICAS DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS NA ÁREA DE ESTUDO

As entradas de águas descritas nos dados existentes de poços tubulares profundos, variam de 10 a 100 metros. Na figura 08, a maior frequência de entrada de água situa-se entre 30 a 100 metros, destacando-se o intervalo de 30 a 50 metros. Supõe-se que neste intervalo de entrada de água se encontre o contato entre a base do manto de alteração e o topo do cristalino formando um plano de percolação da água proveniente do solo. Os fraturamentos, que são a principal razão das entradas de água, situam-se nos demais intervalos.

A espessura do manto de alteração nos pontos analisados varia de um mínimo de 4m a um máximo de 60 m na área estudada. Apesar dos poucos dados existentes, o manto de alteração tende a ser mais espesso no topo que nas vertentes e vales, onde são encontrados maiores valores extremos, 15 m e 60 m (TABELA 03).

As nascentes da área apresentam vazões que obedecem também uma distribuição logarítmica normal, com valores mais frequentes situados entre $7,0 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ e $2,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (71%) e mediana de $1,8 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. (FIGURA 09).

Na análise dos condicionantes morfoestruturais, os poços e nascentes foram agrupados de acordo com 3 feições de relevo: topo, vertente e vale. Entretanto, devido à baixa densidade de pontos analisados e à não ocorrência destes em uma destas feições, o estudo do comportamento das capacidades específicas dos poços e das vazões das nascentes se restringiu a 2 feições morfoestruturais: vale e vertente, no caso dos poços tubulares, e topo e vertente, nas nascentes (ANEXO 02).

Os poços tubulares profundos locados em vales tendem a apresentar maiores valores de capacidade específica que nas vertentes, devido à maior probabilidade de ocorrência de fraturas nesta primeira feição (FIGURA 10).

Nas nascentes, a tendência de se encontrar maiores valores de vazão na feição vertente é também explicado pela existência de maior probabilidade de ocorrer fraturamentos nesta feição do que em relação ao topo (FIGURA 11).

No estudo da influência das litologias na hidrodinâmica do aquífero, as nascentes e poços tubulares foram reunidos em 3 grupos litológicos de maior representatividade na área de investigação, subdivididos em: quartzito, migmatito e migmatito milonitizado.

Os poços tubulares profundos estão situados na litologia migmatito, apresentando distribuição logarítmica normal e mediana de acordo com a figura 07. Já as nascentes, distribuídas em 3 tipos de litologias, apresentaram diferentes comportamentos.

FIGURA 08 - FREQUÊNCIA DAS ENTRADAS DE ÁGUA DOS POÇOS TUBULARES NA ÁREA DE ESTUDO

**TABELA 03 - RESULTADOS ESTATÍSTICOS DA ESPESSURA DO MANTO DE
ALTERAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO.**

FEIÇÃO	MÉDIA	D.PADRÃO	MÁXIMO	MÍNIMO	MEDIANA	TOT.DADOS
Topo	33,0	19,4	15,0	60,0	24,0	3
Vertente	16,8	9,2	6,0	32,0	15,0	9
Vale	24,6	16,3	4,0	56,0	26,0	9

FIGURA 09 - DISTRIBUIÇÃO LOGARÍTMICA NORMAL DOS VALORES DE VAZÃO DAS FONTES NA ÁREA DE ESTUDO

FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO LOGARÍTMICA NORMAL DOS VALORES DE CAPACIDADE ESPECÍFICA DOS POÇOS TUBULARES PROFUNDOS EM RELAÇÃO AO TIPO DE FEIÇÃO GEOMORFOLÓGICA

FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO LOGARÍTMICA NORMAL DOS VALORES DE VAZÃO DAS FONTES EM RELAÇÃO AO TIPO DE FEIÇÃO GEOMORFOLÓGICA

As nascentes situadas no quartzito tendem a apresentar maiores valores de vazão, seguido do migmatito e, por fim, do migmatito milonitizado (FIGURA 12).

A tendência de maior produtividade dos quartzitos em relação aos migmatitos pode ser atribuída a ocorrência de planos de foliação bem desenvolvidos e a maior competência da rocha, responsável pela produção de alta densidade de fraturamentos extensos e abertos.

O tipo de material que preenche os planos de percolação de água (foliação e fratura) pode influir na produtividade das nascentes. O material de alteração do quartzito, arenoso e de maior permeabilidade, conduz a água com maior eficiência que o material argiloso produzido pelo migmatito.

Deste modo, a menor produtividade das nascentes localizadas na litologia migmatito milonitizado pode ser explicada pela existência de planos de foliação e fraturamentos extensos, porém fechados, e preenchimentos de material de menor permeabilidade.

Na análise da produtividade das nascentes e poços tubulares em relação à geologia estrutural, foram construídos diagramas de frequência de vazões médias e capacidades específicas médias, segundo as direções dos lineamentos de fraturas, nos quais os poços e nascentes estão situados (FIGURAS 13a e b).

No diagrama da figura 13a, a maior tendência de capacidade específica média reside na direção N40-60W, seguido de E-W (N80-90W e N80-90E) e, por fim, do sentido N20-30E.

De acordo com o modelo estrutural aplicado neste estudo, estas direções foram atribuídas às fraturas e falhas antitéticas e sintéticas (N40-60W e N20-30E), às falhas normais ou fraturas de tração (E-W).

Os maiores valores de vazão das nascentes, indicativos da circulação mais representativas das águas subterrâneas no local, situam-se nas seguintes direções: N20-30E e N50-60W - atribuídas as falhas e fraturas sintéticas e antitéticas e de maior frequência na área; E-W (N80-90W e N80-90E) - falhas normais ou fraturas de tração abertas. A direção de lineamento de fratura N50-60E não se classifica nos modelos propostos, no entanto DEL REY (no prelo) a identifica como direção de fraturas oriundas de alívio de carga, com mergulhos variáveis e sub-horizontal. A direção N20-30W, também não identificada pelos modelos aplicados, talvez tenha se originado por outros processos e eventos (FIGURA 13b).

FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO LOGARÍTMICA NORMAL DOS VALORES DE VAZÃO DAS FONTES DE ACOR DO COM A LITOLOGIA

A) POÇOS ASSOCIADOS A LINEAMENTOS DE FRATURA

B) NASCENTES ASSOCIADAS A LINEAMENTOS DE FRATURAS

FIGURA 13 - DISTRIBUIÇÃO DAS FREQUÊNCIAS DOS VALORES MÉDIOS DE CAPACIDADE ESPECÍFICA E VAZÕES DAS FONTES EM RELAÇÃO A DIREÇÃO DOS LINEAMENTOS DE FRATURA

6. HIDROQUÍMICA

6.1. Procedimentos de análise dos principais elementos constituintes da água

O conhecimento das principais técnicas de preparação e análise de água foi um dos objetivos originais deste estudo, devido a sua importância na formação básica do hidrogeoquímico.

A análise dos íons principais foi realizada através da absorção atômica (cátions) e cromatografia de íons (ânions). As determinações dos isótopos oxigênio-18 e deutério e da radioatividade do gás radônio-222, por sua vez, foram feitas através de espectrômetro de massa e de detetores líquidos de cintilação, respectivamente. Os laboratórios de Geoquímica Ambiental do INPE - São José dos Campos, Hidroquímica do CEPAS - IGUSP, CENA - Piracicaba e IPEN - São Paulo foram os locais onde se processaram tais análises.

6.1.1. Determinação dos cátions maiores das águas

Os elementos Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ de amostras de águas da chuva, fontes e poços foram determinados por absorção atômica no Laboratório de Geoquímica Ambiental do INPE - São José dos Campos. As amostras de águas das fontes e poços, devido a sua alta concentração em relação à faixa ótima do equipamento, foram diluídas na proporção de 1:100 e separadas em alíquotas de 10 ml, onde foi adicionado 1 ml de solução estabilizante de óxido de Lantânio (La^{3+}) e solução 50% de HCl.

As amostras, assim preparadas, foram processadas no equipamento de absorção atômica, calibrada através de padrões de diferentes concentrações.

O princípio básico deste método de análise, a espectrometria de absorção atômica, consiste na medição da energia absorvida de elétrons excitados, que é correlacionável com a quantidade total de átomos (concentração) de um elemento.

O equipamento de absorção atômica é composto, principalmente, pelas seguintes partes :

- a fonte de emissão - constituída por uma lâmpada de vapor espectral, para os elementos mais voláteis, como os alcalinos e o mercúrio;
- a atomização - aqui a amostra é vaporizada diretamente na chama, e os elementos são dissociados através da ação da temperatura;
- o monocromador - tem a função de eliminar eventuais radiações parasitas;
- o sistema óptico - é um conjunto de lentes de quartzo, ou de espelhos côncavos, que tem a função de focalizar o feixe emitido pela fonte de radiação, no centro da chama, e depois na fenda do monocromador;
- o detector-leitor - nesta parte do aparelho, a radiação absorvida é detectada e transformada por um sinal elétrico proporcional à intensidade luminosa em um tubo fotomultiplicador, depois amplificado e medido. Os resultados são expressos em absorbância ($\log I_0/I$, onde I_0 = intensidade incidente e I = intensidade transmitida) que é a função linear da concentração (TRESCASES, 1984).

A figura 14 descreve o esquema de um aparelho de absorção.

Os valores obtidos de cada elemento, em absorbância, são então convertidos em ppm através das regressões lineares entre as concentrações dos elementos dos padrões e da respectiva absorbância.

Os limites de detecção do equipamento são: Na^+ - 0,2 ppm, K^+ - 0,5 ppm, Ca^{2+} - 1,0 ppm e Mg^{2+} - 0,1 ppm.

6.1.2. Determinação dos ânions maiores das águas

Os elementos analisados pelo método de cromatografia de íons foram: F^- , Cl^- , NO_2^- , HPO_4^{2-} , Br^- , NO_3^- e SO_4^{2-} , pelo cromatógrafo de íons do Laboratório de Hidroquímica do CEPAS - IGUSP.

A cromatografia de íons consiste, basicamente, da análise de espécies iônicas em meio aquoso, através da separação destas espécies em colunas de resina de baixa capacidade de troca iônica.

Os componentes do cromatógrafo de íon (no caso, Dionex 2010i) estão esquematicamente ilustradas na figura 15. A amostra, injetada sob a pressão atmosférica no sistema, é carregada para a coluna de troca iônica juntamente com o eluente (soluções de hidróxido de sódio). Nesta coluna separadora, os ânions são separados de acordo com sua relativa afinidade com a resina. A separação dos ânions e seus tempos de retenção na coluna são controlados pela força e composição do eluente, combinado com a natureza da resina de troca iônica. A detecção é feita através de uma célula condutividade; no entanto, para não haver interferências de cátions na determinação dos ânions e ampliar seus valores de condutividade, estes primeiros íons são retirados por uma coluna supressora. Os valores de condutividade são, então, registrados por meio de "picos" (em relação a um "background") no registrador elétrico. Através do cálculo de área ou altura deste pico em relação a um padrão são computadas as concentrações de cada elemento aniônico (FIGURA 15).

As colunas separadoras utilizadas na análise das amostras foram os modelos HPIC-AS 4 e, depois, HPIC AS 4 A. Os eluentes consistiram de soluções de 1,8 mM Na_2CO_3 e 1,7 mM NaHCO_3 sob um fluxo contínuo de 2ml/min. O tempo de processamento de análise destes ânions por amostra foi de aproximadamente 7 minutos, e o volume utilizado, em torno de 0,25 ml. Na coluna separadora HPIC-AS4, as saídas dos ânions, que é função do tempo de retenção de cada espécie aniônica, esteve sob a seguinte ordem: F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} ; já na coluna HPIC - AS 4 A, a saída obedeceu a seguinte ordenação: F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , Br^- , HPO_4^{2-} , SO_4^{2-} .

Os limites de detecção do aparelho podem ser muito baixos, a nível de ppb; no entanto, para o laboratório são satisfatórios os seguintes: F^- - 0,016 ppm, Cl^- 0,005 ppm, NO_2^- - 0,005 ppm, HPO_4^{2-} - 0,01 ppm, Br^- - 0,005 ppm, NO_3^- - 0,011 ppm e SO_4^{2-} - 0,02 ppm.

6.1.3. Determinação dos isótopos $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ das águas

A existência de isótopos naturais de Oxigênio (^{16}O , ^{17}O e ^{18}O) e Hidrogênio (^1H e ^2H) faz com que a água apresente pelo menos nove componentes isotópicos diferentes, cujas massas variam de 18 ($^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ - molécula mais leve) a 22 ($^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ - molécula de água mais pesada). No entanto, quatro destes são os mais importantes, devido a maior ocorrência na natureza: $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$, $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$, $^1\text{H}_2^{17}\text{O}$ e $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ (DANSGAARD, 1961).

FIGURA 14 - ESQUEMA DE UM APARELHO DE ABSORÇÃO ATÔMICA

FIGURA 15 - CONFIGURAÇÃO DO CROMATÓGRAFO DE ÍONS
DIONEX 2010i

Estas pequenas diferenças de massa determinam diferenças no comportamento químico e físico da água e explicam o fenômeno do Fracionamento Isotópico, causado pela troca isotópica de substâncias em equilíbrio químico e processos cinéticos físicos e químicos irreversíveis (evaporação, absorção, difusão e reações químicas) (MOOK, 1968).

As análises de oxigênio-18 ($\delta^{18}\text{O}$) e deutério ($\delta^2\text{H}$), determinadas através de espectrômetro de massa, são expressas pela equação:

$$\delta = (R \text{ amostra}/R \text{ padrão}) - 1 \times 1000$$

onde o padrão é o SMOW (Standard Mean Ocean Water)

$$e R = \delta^{18}\text{O}/\delta^{16}\text{O}.$$

A medida do espectrômetro de massa é realizada pela comparação dos componentes isotópicos C^{16}O_2 (massa 44) e $\text{C}^{16}\text{O}^{18}\text{O}$ (massa 46).

O princípio básico usado nos espectrômetros de massa é a aceleração de todos os íons da amostra através de uma mesma voltagem (V), que são defletidos em 180° (ou 60°) em um campo magnético (H). O raio de curvatura (r) feito por estes íons é dado pela equação :

$$r = (K/H) \sqrt{V.M/e}$$

em que : e = carga do íon,

M = Massa do íon e

K = constante,

onde a dispersão devido às diferenças de massa é obtida e medida (DANSGAARD, 1961).

Na determinação do $\delta^{18}\text{O}$ das águas de chuva, fontes e poços tubulares da área de estudo, realizou-se, preliminarmente, a extração deste isótopo por troca isotópica com o gás CO_2 , que é analisado no espectrômetro de massa.

O método de preparação das amostras e dos padrões CENA I (água bidestilada) e CENA II (água bidestilada da água do mar - SMOW) consistiu do seguinte procedimento:

- em seringas de vidro, foram adicionadas 3 ml de amostra (ou padrão) e uma gota de ácido sulfúrico;
- nestas seringas ainda foram adicionadas 5 ml de CO_2 , tampadas com borrachas e agitadas;
- estas foram armazenadas em um recipiente com temperatura constante de 25°C , para realização da troca isotópica da água com o gás CO_2 , e deixadas em repouso por 24 horas.

Deste modo, o CO_2 entra em equilíbrio com a amostra de água, expresso pela seguinte equação:

O gás, então, é extraído da seringa por meio de um sistema de vácuo e "traps" de gelo seco e nitrogênio. O espectrômetro de massa analisa o gás CO_2 (enriquecido de ^{18}O) das amostras, em relação ao padrão.

Após aproximadamente 5 minutos, o resultado obtido pelo aparelho é o delta medido da amostra.

Os padrões CENA I e CENA II foram passados no espectrômetro duas ou três vezes durante o processamento das amostras, preferencialmente no início, meio e fim das análises.

As amostras foram analisadas duas vezes para verificação da precisão do aparelho, em que a média destas duas análises é o resultado final.

Os resultados obtidos são calculados pela equação:

$$\delta = -7,01 - 6,94 \times (DM - CENA I)/(CENA I - CENA II)$$

onde DM é o delta da máquina.

O deutério (δ^2H) é analisado pelo espectrômetro de massa através do H_2 extraído da água.

O método de extração é feita por um sistema de alto vácuo, onde se utiliza apenas 5 ul de amostra, confinada em um capilar de vidro.

Neste sistema, além dos "traps" utiliza-se urânio aquecido a $650^{\circ}C$, que absorve O_2 e libera H_2 da água. Nota-se que em temperaturas ambientes o urânio absorve H_2 e libera O_2 . O tempo de preparação de uma amostra é de cerca de 35 minutos.

A análise do gás H_2 extraído foi, então, realizada por espectrômetro de massa, em função dos padrões utilizados.

6.1.4. Determinação da radioatividade natural das águas

A radioatividade natural das águas é decorrente das concentrações de elementos radioativos existentes na rocha, liberados pela infiltração da água, que ataca os minerais e os solubiliza. A água, então, se enriquece destes elementos radioativos, como o rádio - 226 e, principalmente, sua emanção, o gás radônio - 222.

Na área de estudo, as determinações de radioatividade do gás radônio - 222 foram realizadas nas águas das fontes Filomena e Glória e do poço tubular profundo do Balneário FUMEST-PAULISTUR - Lindóia. O laboratório de análise do IPEN-CNEN - São Paulo utilizou o método de contagem alfa por detectores de cintilação líquida

(SAMPA,1979).

A metodologia de detecção consiste, basicamente, na cessão de energia de radiação ionizante da amostra ao solvente (solução cintiladora), através de processos múltiplos e sucessivos de interação. Isto faz com que haja ionização dos átomos do solvente e excitação eletrônica de suas moléculas.

A energia desta excitação do solvente é, então, transferida para as moléculas do soluto primário (material fluorescente).

As moléculas excitadas deste soluto primário retornam ao seu estado estável, emitindo fótons na região do visível e ultra-violeta.

Estes fótons são absorvidos por outro composto fluorescente (soluto secundário), que os reemitirá em um novo comprimento de onda, maior que o original.

Os fótons reemitidos atravessam o detetor de cintilação líquida, as paredes do recipiente em que estão contidos, a janela do tubo fotomultiplicador e atingem o material deste detetor. Ao atingir o fotocátodo, estes fótons liberam uma quantidade inicial de fotoelétrons, proporcional ao número de fótons incidentes do detetor, que são contados.

O processo de medição por detectores de cintilação líquida é esquematizado na figura 16.

Para a determinação da radioatividade do poço foram utilizados 10 ml da amostra de água, à qual foram acrescentadas 10 ml de solução cintiladora, o AQUASOL - 2. A amostra foi homogeneizada e a contagem feita pelo detetor de cintilação líquida. O prazo de entrega da amostra de água para análise é muito curto, devido à meia-vida de 3,82 dias do gás radônio-222.

A unidade de medida da radioatividade deste gás é o pCi/l, apesar de constar no Código de Águas Minerais (decreto-lei nº 7841 de 8 de agosto de 1945) o uso da Unidade Mache.

fonte : Sampa (1979)

FIGURA 16 - DESENHO ESQUEMÁTICO DO PROCESSO DE MEDIÇÃO DA RADIOATIVIDADE COM DETETORES LÍQUIDOS DE CINTILAÇÃO

6.2. Composição e evolução química e isotópica das águas

6.2.1. Águas de chuva

As águas de chuva do período de junho de 1987 a julho de 1988 apresentaram as seguintes características físico-químicas:

- condutividade elétrica com valores entre 3 e 51 uS/cm;
- cálcio, entre 0,04 e 3,53 mg/l;
- magnésio, no intervalo de 0,1 a 0,56 mg/l;
- sódio, entre 0,20 e 0,48 mg/l;
- potássio, com valores entre 0,04 e 0,44 mg/l;
- cloreto, entre 0,07 e 2,84 mg/l;
- nitrato, entre 0,01 e 3,31 mg/l, e
- sulfato, com valores entre 0,02 e 7,05 mg/l (ANEXO 4a).

A grande variabilidade das concentrações de íons é atribuída a fatores como: intensidade e duração das precipitações, época do ano, condições climáticas e topografia. As águas de chuvas apresentaram como íons predominantes o Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} e SO_4^{2-} , característicos de regiões continentais (MATTHESS, 1982).

Apesar dos poucos dados coletados e da grande variabilidade dos valores das concentrações e precipitações, foram calculados os teores médios dos elementos químicos constituintes das chuvas por estação climática com o objetivo de se verificar apenas as tendências sazonais.

A tabela 04 indica salinidade máxima das águas de chuva na estação de inverno de 1987. Há um decaimento gradativo destes teores até atingir concentrações mínimas no verão, onde se registram maiores valores de precipitações. No outono, com a diminuição das precipitações, as concentrações tendem a aumentar novamente. Este fenômeno é visualizado na figura 17.

TABELA 04 - VARIAÇÃO SAZONAL DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS DE CHUVA.

ESTAÇÕES DO ANO	C.E. (uS/cm)	S.T.D.* (mg/l)	Cálcio (mg/l)	Magnésio (mg/l)	Sódio (mg/l)	Potássio (mg/l)	Cloreto (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Sulfato (mg/l)
Inverno 87	19,6	12,74	1,17	0,21	0,12	0,27	0,36	2,18	1,66
Primavera 87/88	14,8	9,62	1,00	0,17	0,04	0,32	0,34	1,60	1,60
Verão 88	3,5	2,28	0,23	0,04	0,05	0,06	0,08	0,31	0,52
Outono 88	15,4	10,01	1,19	0,19	0,15	0,23	0,47	0,30	1,39
* S.T.D. = 0,65 x C.E. (uS/cm) (Mathess, 1982)

FIGURA 17 - DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DAS ÁGUAS DE CHUVA EM FUNÇÃO DOS DADOS MENSAIS DE PLUVIOMETRIA

No entanto, a variação sazonal da carga total de fons, em uma área de 1 km², indicou maiores valores na primavera de 87/88 que nas demais estações, por apresentar maior pluviometria em relação às estações outono e inverno e concentrações de fons mais elevadas (TABELA 05). Este comportamento é concordante com os resultados obtidos por SILVA (1983), em Ribeirão Preto.

Os valores de oxigênio-18 e deutério das águas de chuva apresentaram a seguinte equação de reta meteórica, para o período de junho de 1987 a julho de 1988:

$$\delta^2\text{H} = 7,6 \delta^{18}\text{O} + 12,5 \text{ (FIGURA 18)}$$

Esta reta meteórica comporta-se de modo similar à reta meteórica mundial, $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$, e é muito próxima à reta meteórica obtida para a América do Sul, cuja equação é expressa por $\delta^2\text{H} = 7,9 \delta^{18}\text{O} + 10,7$.

Os teores mais negativos de oxigênio-18 são correspondentes aos valores mais altos de precipitação, decorrente da negatividade crescente dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ à medida que perdura tal evento.

A média ponderada dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ das precipitações, determinada para este período, foi de - 5,27 ‰ para um índice pluviométrico de 1810,7 mm. No entanto, este valor pode ser um pouco mais negativo (em torno de -6,0 ‰) devido à falta de dados de oxigênio-18 nos períodos mais chuvosos (TABELA 06).

YURTESEVER e GAT (1981) obtiveram, para a rede mundial de estações de observação do IAEA, valores mais positivos de $\delta^{18}\text{O}$: - 4,52 ‰ para Porto Alegre, com índice pluviométrico de 1200 mm, e - 4,79 ‰ para Rio de Janeiro, com índice pluviométrico de 1241 mm.

A maior negatividade da média ponderada da área em questão pode ser explicada pelo maior índice pluviométrico ocorrido no período de monitoração. No entanto, acredita-se que o efeito de altitude e a grande distância do oceano sejam as principais causas da maior negatividade de $\delta^{18}\text{O}$ das águas nesta região.

TABELA 05 - VARIAÇÃO SAZONAL DA CARGA TOTAL DAS ÁGUAS DE CHUVA.

ESTAÇÕES DO ANO	Precip. (mm)	S.T.D. (kg/km)	Cálcio (kg/km)	Magnésio (kg/km)	Sódio (kg/km)	Potássio (kg/km)	Cloreto (kg/km)	Nitrato (kg/km)	Sulfato (kg/km)
Inverno 87	131,1	1670,2	153,4	27,5	15,7	35,4	47,2	285,8	217,6
Primavera 87/88	479,6	4613,8	479,6	81,5	19,2	153,5	163,1	767,4	767,4
Verão 88	1054,7	2404,7	242,6	42,2	52,7	63,3	84,4	327,0	548,4
Outono 88	314,2	3145,1	373,9	59,7	47,1	72,3	147,7	94,3	436,7
* S.T.D. = $0,65 \times C.E.$ (uS/cm) (Mathess, 1982).

FIGURA 18 - RELAÇÃO DOS VALORES DE $\delta^{18}\text{O}$ E $\delta^2\text{H}$ DAS ÁGUAS DE CHUVA E OS TRAÇADOS DA RETA METEÓRICA DA ÁREA DE ESTUDO E DA RETA METEÓRICA MUNDIAL

TABELA 06 - MÉDIA PONDERADA DOS VALORES DE OXIGÊNIO - 18 DAS ÁGUAS DE CHUVA.

ANO 87	D ¹⁸ O	P	PiDi ¹⁸ O	ANO 88	D ¹⁸ O	P	PiDi ¹⁸ O
Fev. 5	-4,35	7,1	-30,89	Mar. 4	-10,62	27,1	-287,80
Abr. 1	-3,82	7,2	-27,50	Abr. 27	-8,08	11,4	-92,11
4	-9,50	49,3	-468,35				
12	-2,10	12,2	-25,62	Mai. 6	-4,79	22,8	-109,21
18	-4,90	5,2	-25,48	13	-5,81	5,6	-32,54
25	-10,90	19,8	-215,82	20	-5,86	39,2	-221,87
				27	-5,06	12,9	-65,27
Mai. 3	-11,00	2,8	-30,80				
9	-3,50	20,6	-72,10	Jun. 3	-5,03	12,4	-62,37
17	-4,00	21,2	-84,80	6	-5,26	3,1	-16,31
31	-4,10	16,9	-69,29	11	-2,15	1,3	-2,80
				25	-0,65	13,1	-8,52
Jun. 7	-5,26	10,4	-54,70	$\xi_P = 509,2$ $\xi(\text{PiDi}^{18}\text{O}) = 2.681,87$ Média Ponderada : $D^{18}\text{O} = \frac{\xi(\text{PiDi}^{18}\text{O})}{\xi_P}$ $D^{18}\text{O} = \frac{2.681,82}{509,2} = -5,27$			
17	-5,90	35,0	-184,10				
Jul. 10	-5,23	12,0	-62,76				
Ago. 7	-1,95	14,0	-27,30				
14	-1,70	4,7	-7,49				
Set. 8	-0,79	4,5	-3,56				
18	-0,36	21,7	-7,81				
22	-1,89	42,7	-80,70				
Out. 22	-1,45	4,1	-5,95				
Dez. 4	-2,68	7,1	-19,03				
11	-2,51	16,9	-42,42				
15	-9,48	24,9	-236,05				

6.2.2. Águas das fontes e poços tubulares

a) Características físico-químicas

As águas de subsuperfície, representadas pelas águas das fontes e poços tubulares, caracterizam-se por possuir baixa condutividade elétrica, entre 9 uS/cm a 165 uS/cm, pH entre 5 a 7,70 e Eh no intervalo de - 13 mV a 125 mV. Apresentam, ainda, valores de temperatura variando de 18°C a 28°C e CO₂ livre, entre zero e 68,2 mg/l.

A análise por regressões lineares entre estes parâmetros físico-químicos determinam relações entre o pH e Eh, com grau de correlação de 0,96, pH e CO₂ livre e Eh com CO₂ livre, com menores, porém significativos graus de correlação: de 0,44 e 0,38, respectivamente (FIGURAS 19, 20a e b).

As águas provenientes das fontes do quartzito tendem a possuir os menores valores médios de condutividade (74,82 uS/cm) e de CO₂ livre (17,15 mg/l), apresentando pH mais básico (6,61) e temperatura média mais elevada (23°C). As águas de fontes da litologia migmatito milonitizado possuem valores médios de condutividade de 83,50 uS/cm, CO₂ livre de 44,83 mg/l, pH e Eh com valores médios de 5,84 e + 66,25 mV e temperatura de 21°C. No migmatito, as fontes caracterizam-se por possuir condutividade média de 91,83 uS/cm, pH mais ácido que as demais litologias (5,60), Eh médio de + 80,33 mV, 42,35 mg/l de CO₂ livre e menor temperatura média, 21°C (TABELAS 07a, b e c).

As águas de poços tubulares situados na litologia migmatito têm maiores valores médios de condutividade (119,7 uS/cm) em relação às fontes, concentração média de CO₂ livre de 43,9 mg/l, pH e Eh médio de 6,3 e + 43,4 mV e temperatura média de 21,8°C (TABELA 07d).

Na litologia quartzito, as fontes São Roque, Madame Curie, Glória, Filomena e São Bernardo possuem maiores valores de temperatura (acima de 25°C), condutividade elétrica e pH (entre 6,71 a 7,70). As fontes Santa Clara, Levíssima I e Levíssima II apresentam os mais baixos valores de condutividade elétrica, por volta de 10 uS/cm, e as menores temperaturas, 18°C a 19°C.

Na litologia migmatito, a fonte São Francisco apresenta o maior valor de temperatura, 25°C, e a fonte BR-360, o maior valor de condutividade (165 uS/cm).

FIGURA 19 - REGRESSÃO LINEAR ENTRE pH E Eh

a) pH x CO_2 livre b) Eh x CO_2 livre

FIGURA 20 - REGRESSÕES LINEARES DE pH E Eh
 EM FUNÇÃO DO CO_2 LIVRE

TABELA 07 - RESULTADOS ESTATÍSTICOS DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS DAS FONTES E POÇOS TUBULARES PROFUNDOS.

a) FONTES NO QUARTZITO

PARÂMETRO	MIN.	MAX.	MÉDIA	D.PADRÃO
T.água (°C)	18,0	28,0	22,9	3,68
pH	5,5	7,7	6,6	0,60
Eh (mV)	-13,0	65,0	20,1	33,74
C.E. (uS/cm)	9,0	136,0	74,8	46,26
CO ₂ livre (mg/l CaCO ₃)	0,0	36,9	17,2	12,23

b) FONTES NO MIGMATITO

PARÂMETRO	MIN.	MAX.	MÉDIA	D.PADRÃO
T.água (°C)	19,0	25,0	21,2	2,73
pH	5,1	6,2	5,6	0,37
Eh (mV)	48,0	102,0	80,3	21,81
C.E. (uS/cm)	54,0	165,0	91,8	35,87
CO ₂ livre (mg/l CaCO ₃)	19,8	55,0	42,4	11,77

c) FONTES NO MIGMATITO MILONITIZADO

PARÂMETRO	MIN.	MAX.	MÉDIA	D.PADRÃO
T.água (°C)	18,0	28,0	22,5	3,63
pH	4,9	6,6	5,8	0,63
Eh (mV)	19,0	125,0	66,3	39,10
C.E. (uS/cm)	57,0	123,0	83,5	26,17
CO ₂ livre (mg/l CaCO ₃)	24,2	59,4	44,8	13,10

d) POÇOS TUBULARES NO MIGMATITO

PARÂMETRO	MIN.	MAX.	MÉDIA	D.PADRÃO
T.água (°C)	19,0	23,0	21,8	0,75
pH	5,3	7,2	6,3	0,68
Eh (mV)	5,0	95,0	43,4	33,47
C.E. (uS/cm)	81,0	148,0	119,7	24,92
CO ₂ livre (mg/l CaCO ₃)	3,9	68,2	43,9	21,68

Entre as fontes situadas no migmatito milonitizado, a Sertãozinho é a mais mineralizada, com condutividade elétrica de 123 uS/cm e pH mais ácido (4,92). A São Luiz apresenta a maior temperatura, 24°C. Todavia, a elevada condutividade e a acidez das águas da fonte Sertãozinho podem ser atribuídas a poluição, devido a sua precária captação e à falta de condições sanitárias do local.

Os poços tubulares Vida I e Balneário FUMEST - Lindóia apresentaram os maiores valores de condutividade elétrica, seguido pela Vida II e o poço do SAE de Águas de Lindóia.

No geral, as águas das fontes e poços tubulares são pouco mineralizadas, apresentando valores de STD (no caso somatória de íons) entre 11 mg/l e 155 mg/l. As concentrações mais constantes giram em torno de 70 mg/l nas fontes e 100 mg/l nas águas dos poços. A variabilidade do conteúdo de STD nas águas não correspondem com a litologia. No entanto, verificou-se que as águas oriundas de poços tubulares são mais mineralizadas que as das fontes, pois estas últimas são resultantes de misturas das águas de infiltração mais recente e de um aquífero mais profundo.

As fontes Santa Clara, Levíssima I e Levíssima II, com concentrações em torno de 11 mg/l, apresentam águas com os menores valores de STD da área de estudo. As águas mais mineralizadas provém da fonte São Bernardo, com 121,15 mg/l de STD.

Os poços tubulares Vida I e Vida II possuem os maiores valores de STD, com 154,85 mg/l e 135,72 mg/l, respectivamente, enquanto que o poço Santa Isabel detém o menor teor (69,68 mg/l).

Na análise da composição química das águas, verificou-se que o cálcio é o elemento catiônico de maior concentração, situando-se no intervalo de 0,23 a 20,36 mg/l, seguido do potássio (0,30 a 8,04 mg/l), magnésio (0 a 6,84 mg/l) e sódio (0,10 a 19,92 mg/l). Entre os ânions maiores, há o predomínio absoluto do bicarbonato, cujas concentrações encontram-se entre 6,10 mg/l e 108,50 mg/l. O cloreto, nitrato e sulfato apresentam menores concentrações nos seguintes intervalos: respectivamente, 0,005 a 23,360 mg/l, 0,005 a 43,000 mg/l e 0,020 a 13,180 mg/l.

A água da fonte Sertãozinho apresenta elevadas concentrações de nitrato (43,00 mg/l) e sódio (11,35 mg/l) em relação aos demais elementos que a compõem; o mesmo ocorre com a fonte da Pracinha, em que se observam altos valores de cloreto, sulfato e sódio. Estas anomalias em relações aos demais poços e fontes são atribuídas à poluição destas águas, causada pelas condições precárias das obras de captação e pela falta

de um perímetro de proteção.

O amônio encontra-se em baixas concentrações nas águas da área em questão, variando de 0,005 a 1,420 mg/l, este último registrado na fonte da Pracinha, em Lindóia.

O teor de sílica dissolvida varia de 1,56 a 35,00 mg/l e é encontrada sob a forma Si(OH)_4 .

Os parâmetros físico-químicos e elementos químicos acima citados estão descritos no anexo 03.

Os elementos menores, como boro, fluoreto ortofosfato e zinco, resultantes da análise de 7 fontes e 2 poços, apresentam concentrações mínimas, caracterizando águas que circulam em terrenos ígneos.

Não são detectados os íons alumínio, cádmio, cobre, ferro ferroso e chumbo em análises de águas de 6 fontes e 1 poço tubular. No entanto, nestas águas encontram-se bário, no teor de 0,02 a 0,40 mg/l. As águas do poço Balneário FUMEST - Lindóia e da fonte Filomena contêm o elemento cromo nos valores de 0,09 e 0,12 mg/l, respectivamente. Na fonte Brejal e neste último poço, o elemento zinco é detectado nas concentrações de 0,03 e 0,11 mg/l, respectivamente. O elemento níquel foi determinado na concentração de 0,14 mg/l no poço do Balneário.

A radioatividade das águas aqui analisada é proveniente do gás radônio-222, produto da desintegração do elemento rádio-226. Este gás aparece em concentrações elevadas nas rochas de composição granítica, devido à presença de minerais de alta solubilidade, ricos em elementos radioativos como os feldspatos e micas. Os valores da radioatividade nas águas da área de estudo estão compreendidos no intervalo de 1,065 nCi/l a 7,137 nCi/l. Os menores valores são encontrados nas fontes de temperaturas mais elevadas (como São Roque, Glória e Filomena) e as maiores, em fontes frias (Santa Clara, Levíssima I e Levíssima II). Este fenômeno é explicado pela lei de solubilidade dos gases, cuja maior concentração na solução é função inversa da temperatura.

b) Classificação química das águas

Em geral, a composição química das águas expressam as seguintes sequências de concentrações de íons principais (em meq/l):

Pelo Diagrama de Piper, as águas classificam-se, em sua maioria, como bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas cálcio-magnesianas. No entanto, as águas pouco mineralizadas das fontes Santa Clara, Levíssima I, Levíssima II qualificam-se como bicarbonatadas sódicas, devido ao domínio do potássio sobre os demais cátions. As águas da fonte Nossa Senhora das Brotas também são classificadas como bicarbonatadas sódicas, neste caso, porém devido ao domínio do sódio sobre os demais cátions (FIGURA 21).

A distribuição da composição química das águas na área de investigação está representada pelos Diagramas de Stiff na figura 22. As águas estão classificadas em: bicarbonatadas cálcio-magnesianas, bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas cálcio-sódicas, bicarbonatadas magnesianas e cloretadas sódicas.

A classificação bicarbonatada cálcio-magnesiana é atribuída às águas das fontes São Roque, Filomena, Glória, Beleza, Madame Curie e ao poço Santa Isabel. As águas das fontes do Brejal, Prefeitura, São Bernardo, São Francisco, São Jorge, São Luiz, Estrada, Santa Bernardete e dos poços do SAAE - Águas de Lindóia, Lindália e Balneário FUMEST - Lindóia classificam-se como bicarbonatadas cálcio-sódicas. As águas bicarbonatadas cálcicas são originárias dos poços Vida I e Vida II, enquanto que as águas da fonte São Luiz são classificadas como bicarbonatadas magnesianas.

As águas das fontes Santa Clara, Levíssima I, Levíssima II e Nossa Senhora das Brotas enquadram-se na classificação bicarbonatada sódica. As águas das fontes Sertãozinho e da Pracinha qualificam-se como cloretadas sódicas.

Neste estudo não foram observadas diferenças significantes na composição química das águas, quando analisadas por litologia.

c) Comportamento dos íons maiores dos principais parâmetros físico-químicos.

A análise do comportamento dos íons maiores, bem como dos principais parâmetros físico-químicos, consiste no estudo de suas inter-relações, com o intuito de compreender os mecanismos que regem a composição química das águas.

Todos os elementos maiores e parâmetros físico-químicos foram correlacionados entre si, visando determinar e estudar as inter-relações mais significantes.

FONTES E POÇOS

1- São Roque	10- Levíssima II	19- São Francisco
2- Beleza	11- Brejal	20- Estrada
3- Madame Curie	12- Sertãozinho	21- BR-360
4- Glória	13- S.A.E.E.	22- N ^a .Sra.Brotas
5- Santa Isabel	14- São Jorge	23- São Luiz
6- Lindália	15- Santa Bernadete	24- Pracinha
7- Prefeitura	16- Vida I	25- Filomena
8- Santa Clara	17- Vida II	26- Balneário FUMEST-
9- Levíssima I	18- São Bernardo	- Lindóia

FIGURA 21 - DIAGRAMA DE PIPER

FIGURA 22 - DISTRIBUIÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS DAS FONTES E POÇOS TUBULARES DE ACORDO COM OS DIAGRAMAS DE STIFF

A condutividade elétrica apresenta correlação com a somatória de íons (neste estudo, correspondente ao STD), com coeficiente de correlação de 0,65, podendo ser parâmetro indicativo da mineralização das águas devido a sua relação direta com o STD (FIGURA 23).

Este mesmo parâmetro ainda se inter-relaciona, de modo direto, com os íons cálcio, magnésio e bicarbonato, apresentando os seguintes valores de coeficiente de correlação: 0,39, 0,48 e 0,55, respectivamente (FIGURAS 24, 25 e 26). Analisando as regressões lineares destes elementos em função do STD, verifica-se a mesma tendência, porém com maior coeficiente de correlação para os íons cálcio e bicarbonato: 0,76 e 0,79, nessa ordem (FIGURAS 27 e 28).

O comportamento dos íons cálcio, magnésio e bicarbonato com o parâmetro STD e condutividade, demonstra a preponderância destes íons na composição química destas águas e em sua mineralização.

As figuras 29 e 30 indicam a dependência dos cátions cálcio e magnésio com o ânion bicarbonato, com coeficientes de correlação de 0,79 e 0,46. As causas da interação dos íons cálcio e bicarbonato podem ser explicadas pela dependência da solubilidade deste cátion com o equilíbrio $\text{CO}_2 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$ das águas (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1983). A correlação significativa do magnésio com o bicarbonato pode ser atribuída à maior solubilidade deste cátion em relação ao cálcio, bem como à dissolução e hidrólise de minerais silicatados, que também originam o bicarbonato.

Este fenômeno é descrito também por TARDY (1969, in PARISOT, 1983), que sugere o uso destas correlações para a análise da mineralização da água.

d) Evolução química das águas

A composição química das águas de chuva não tem contribuição significativa para o aumento das concentrações das águas em subsuperfície. No entanto, estas águas, ao se infiltrarem no solo, determinam os processos de mineralização, pois se enriquecem de ácidos orgânicos instáveis e, principalmente, de H_2CO_3 , principal agente do ataque químico dos minerais.

O ácido H_2CO_3 provém do CO_2 dissolvido, que por sua vez, origina-se da decomposição da matéria orgânica. A água, enriquecida pelo gás CO_2 dissolvido, desloca a

FIGURA 23 - REGRESSÃO LINEAR ENTRE C.E. E S.T.D.

FIGURA 24 - REGRESSÃO LINEAR ENTRE C.E. E CÁLCIO

FIGURA 25 - REGRESSÃO LINEAR ENTRE C.E. E MAGNÉSIO

FIGURA 26 - REGRESSÃO LINEAR ENTRE C.E. E BICARBONATO

FIGURA 27 - REGRESSÃO LINEAR ENTRE S.T.D. E CÁLCIO

FIGURA 28 - REGRESSÃO LINEAR ENTRE S.T.D. E BICAR -
BONATO

FIGURA 29 - REGRESSÃO LINEAR ENTRE BICARBONATO E CÁLCIO

FIGURA 30 - REGRESSÃO LINEAR ENTRE BICARBONATO E MAGNÉSIO

equação do equilíbrio CO_2 dissolvido + $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ para a direita, provocando a dissociação do ácido carbônico e formando o bicarbonato, através da equação $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$. Segundo SILVA (1983), a acidez provocada pela concentração de H^+ inibe a formação do carbonato de tal modo que sua ocorrência limita-se a concentrações mínimas, não detectáveis, nas águas analisadas. O pH das águas estudadas varia de 5,38 a 7,70, período de maior ocorrência do ânion bicarbonato. A água resultante desta acidificação provoca a alteração dos minerais da rocha, através dos processos de hidratação e, principalmente, de hidrólise.

A hidrólise é um dos principais agentes de ataque químico de minerais silicáticos e consiste na eliminação da sílica e dos cátions básicos de minerais silicatados nas águas de infiltração (PARISOT, 1983). Todavia, para que tal mecanismo se processe, é necessário uma eliminação ou aporte contínuo de íons ao meio, devido a sua propriedade de entrar em equilíbrio rapidamente com a reação inversa.

Os principais minerais constituintes das rochas na área de investigação, pertencentes ao Complexo Amparo, são os plagioclásios ($\text{Ca}_n (\text{Na})_m \text{AlSi}_3\text{O}_8$), ortoclásio (KAlSi_3O_8), biotita ($\text{H}_2\text{K} (\text{Mg}, \text{Fe})_3 \text{Al} (\text{SiO}_4)_3$), hornblenda ($((\text{Ca}, \text{Na})_{2-3} (\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_5 (\text{Si}, \text{Al}) \text{Si}_3\text{O}_{11})_2 (\text{OH})_2$) e muscovita ($(\text{H}, \text{K}) \text{AlSiO}_4$). A alteração destes minerais fornecem à água elementos como o cálcio, magnésio, potássio, ferro. BERTACHINI (1987) explica que o predomínio do cálcio sobre os demais elementos citados nas águas subterrâneas em terrenos cristalinos se encontra na ordem de alterabilidade dos silicatos, ou seja, o plagioclásio cálcio e a hornblenda são mais alteráveis que a biotita e a muscovita. A hidrólise destes minerais também fornece às águas elevadas concentrações do ânion bicarbonato. A sílica, nas condições de pH entre 5 e 7, apresenta-se em estado coloidal, sob a forma de ácido silícico (H_4SiO_4).

O íon ferro, neste tipo de solução aquosa, sofre o processo de oxi-redução, modificando-se de ferro ferroso (Fe^{2+}) a ferro férrico (Fe^{3+}) e, por isso, precipitando sob a forma de óxidos.

Segundo BERTACHINI (1987), este fenômeno ocorre nas camadas superficiais do manto de alteração, onde o ambiente é preponderantemente oxidante.

Os cátions potássio e magnésio podem sofrer o processo de troca de bases, definida como a propriedade de trocar íons entre a rocha e a água que está em contato com elas, através da adsorção, e diminuindo a concentração desses elementos na água.

O elemento sódio, considerado como um dos íons predominantes da água,

origina-se da alteração das biotitas e dos plagioclásios sódicos, minerais de menor grau de alterabilidade que os demais feldspatos.

A relação rK/rNa , usada para estudar o grau de mineralização e tempo de residência das águas de estudo, demonstrou uma variação de 0,03 a 19,42. Os maiores valores desta relação foram registrados nas águas das fontes Levíssima I, Levíssima II e Santa Clara, seguidas das fontes São Roque, Beleza, São Jorge e do poço Vida II.

As baixas concentrações das águas das fontes Santa Clara, Levíssima I e Levíssima II, juntamente com os altos valores desta relação iônica, indicam águas em etapas iniciais de mineralização, onde o potássio ainda não sofreu processo de troca iônica. Os plagioclásios sódicos e as biotitas, nos estágios iniciais de alteração, fornecem à estas águas baixas concentrações de sódio.

As águas das fontes São Jorge estão num estágio ligeiramente superior que as citadas acima : a concentração do potássio se reduz, devido à troca de bases, e a do sódio aumenta, com a alteração dos feldspatos sódicos. No entanto, a concentração de potássio ainda é maior que o sódio.

As fontes São Roque e Beleza apresentam valores de rK/rNa maiores do que 1. As altas concentrações de elementos dissolvidos e as temperaturas das águas mais elevadas que o "background" regional, demonstram uma circulação profunda. Todavia, as significativas vazões registradas nestas surgências demonstram que estas águas são produtos de misturas, oriundas de uma circulação mais profunda e de uma circulação mais superficial (HURTER, 1987). O valor deste índice sugere um maior aporte das águas mais recentes. Esta idéia é reforçada pela localização topográfica das fontes, situadas num ponto de descarga do aquífero.

As misturas de água, provenientes de diferentes níveis de entradas de água em poços tubulares profundos, podem ser a causa dos altos valores da relação iônica rK/rNa .

As águas da região de estudo apresentam baixos índices de rNa/rCa (< 1), demonstrando o maior aporte de cálcio, oriundos da alteração dos plagioclásios cálcicos, em relação ao teor de sódio, proveniente da hidrólise de feldspatos menos alteráveis (plagioclásios sódicos). A baixa presença do cátion sódio indica que as águas das fontes e poços tubulares são oriundas da infiltração de águas de superfície, com curto tempo de residência na rocha hospedeira. Esta hipótese é corroborada pelo índice de troca de bases, que reflete o aporte de íons alcalinos do terreno nas águas estudadas.

O magnésio, oriundo da decomposição da hornblenda e biotita, surge aproximadamente ao mesmo tempo que o cálcio. No entanto, este íon caracteriza-se pela sua significativa solubilidade, permanecendo em solução por um maior período de tempo que o cálcio. Desta maneira, o índice rMg/rCa , conjuntamente com as relações rNa/rCa e i.t.b., fornece de modo qualitativo informações de fenômenos modificadores que ocorrem nas águas de estudo. O alto índice registrado na água da fonte BR-360 pode demonstrar a ocorrência do processo de adsorção do cálcio pelo terreno. Os menores valores sugerem que este fenômeno de troca iônica ainda é incipiente. Os elevados índices registrados nas fontes Santa Clara, Levíssima I e Levíssima II podem ser consequência das baixíssimas concentrações de ambos os elementos, cujos processos modificadores ainda estão num estágio inicial de mineralização.

O sulfato, presente em baixas concentrações, é resultante da oxidação da pirita existente nas rochas como também da matéria orgânica do solo. O íon nitrato, também em baixas concentrações, provém da decomposição da matéria orgânica por processos de nitrificação de vegetais do solo (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1983).

O cloreto existente nas águas da área em estudo é oriundo de precipitações, pois os minerais existentes neste tipo de rocha não fornecem quantidades representativas deste íon. Desta maneira, as concentrações de cloreto destas águas, variando de 0,005 a 4,14 mg/l, são representações diretas dos valores médios registrados nas precipitações.

Os processos mais significativos de mineralização das águas neste estudo ocorrem no manto de alteração, onde a água que se infiltra ataca os minerais e se enriquece de íons. Neste local, o processo mais importante é a hidrólise dos minerais silicatados e, secundariamente, a troca de bases e oxi-redução. Nas fraturas, devido à grande dinâmica de circulação, o aporte de íons nas águas ocorre através da hidrólise de minerais mais alteráveis (BERTACHINI, 1987).

A maior mineralização das águas dos poços em relação às fontes é atribuída ao maior tempo de residência e a maiores profundidades de circulação.

BERTACHINI e ESCONDINO (1985, in BERTACHINI, 1987) determinaram zonalidades litológicas nas águas de fontes e poços escavados, identificando águas provenientes da alteração de rochas graníticas e de xistos.

Na área de estudo, as águas das fontes não registraram tal zonalidade; a razão de tal fato pode estar associada aos tipos de surgência: as águas originam-se diretamente de fraturamentos e zonas de fraqueza da rocha sã, não sendo observadas

nascentes oriundas de contatos de manto de alteração e rocha-mãe. Segundo BERTACHINI e ESCONDINO (1985, in BERTACHINI, 1987), as águas que estão diferenciadas no manto de alteração, ao atingir o meio fraturado tendem a se modificar, através do aumento da concentração do elemento, dos processos de troca iônica e da hidrólise parcial de silicatos de maior alterabilidade. Assim, acredita-se que as águas das fontes da região não provêm diretamente do manto de alteração, ou seja, já circulam, há um certo tempo, por menor tempo que ele seja, no meio fraturado.

e) Estudos do oxigênio 18 ($\delta^{18}\text{O}$) e deutério ($\delta^2\text{H}$) das águas

A natureza conservativa do oxigênio-18 e deutério e sua participação na composição química da molécula de água fazem destes isótopos traçadores naturais muito utilizados nas águas subterrâneas.

Em geral, estes isótopos são empregados nos estudos dos mecanismos de circulação, localização e processos de recarga do aquífero, origem e determinação dos sistemas de salinização das águas subterrâneas.

Na área de investigação, os teores de oxigênio-18 das águas das fontes e dos poços tubulares profundos variam de $-8,30\text{‰}$ a $-6,80\text{‰}$. As concentrações de deutério, em 11 fontes e 4 poços tubulares, são encontradas no intervalo de $-51,8\text{‰}$ a $-45,7\text{‰}$ (ANEXO 03).

As concentrações de oxigênio-18 destas águas, com média de $-7,5\text{‰}$, não refletem o valor médio ponderado das chuvas no período de junho de 1987 a julho de 1988. Para efeito de comparação, a média ponderada de oxigênio-18 das precipitações, na região mais próxima - Águas da Prata ($-8,9\text{‰}$), determinada por SZIKSZAY (1981) também difere do valor encontrado.

Os dados de oxigênio-18 e deutério das águas das fontes e poços tubulares foram plotados no gráfico da figura 31, juntamente com a reta meteórica da área e a reta meteórica mundial.

A distribuição destes valores no gráfico demonstra que a maioria das águas obedecem à reta meteórica mundial. No entanto, os valores de deutério e oxigênio-18 das águas das fontes Santa Clara, Levíssima I e Levíssima II e do poço Lindália comportam-se de acordo com a reta meteórica da área de estudo.

Esta diferença demonstra que as águas das fontes Santa Clara, Levíssima I, Levíssima II e do poço Lindália provêm de recarga direta, enquanto que as demais sofreram evaporação antes de atingir a água subterrânea, tornando-se mais negativos e seguindo a outra reta (GAT, comunicação verbal).

O alto coeficiente de correlação entre as concentrações de sódio e oxigênio-18 nestas águas corrobora esta hipótese. Os valores deste isótopo tornam-se menos negativos à medida que o teor de sódio aumenta (FIGURA 32).

Esta tendência confirma, também, as conclusões obtidas por Bertachini (1987) sobre os processos de evaporação das águas que se infiltram no manto de alteração. Em períodos de seca, a solução percolante se enriquece de sais, provenientes dos processos de alteração, e de isótopos de oxigênio-18. Na estação chuvosa, as novas águas de infiltração se concentram de sais que foram precipitados anteriormente e de elementos oriundos dos processos de alteração que se iniciaram. Na estação seca seguinte, o fenômeno da evaporação se repete, tornando-se tal mecanismo um processo cíclico e contínuo.

O sódio, proveniente da alteração de minerais como os feldspatos sódicos, é um bom indicador do fenômeno da evaporação, devido à maior solubilidade em relação aos demais elementos catiônicos. Assim, à medida que a solução aquosa se concentra, elementos como o cálcio, magnésio e potássio se precipitam, enquanto que o sódio permanece solubilizado, acompanhando a trajetória descendente da água até atingir o aquífero.

A distribuição em mapa das concentrações de oxigênio-18 e das diferentes datas de coleta de amostra, representada na figura 33, não indicam variações sazonais significativas, sugerindo que estas águas pertençam a um aquífero de grande volume (MATSUI, informação pessoal).

A representação destes valores no mapa topográfico demonstra tendências que podem significar áreas de recarga diferentes. Na região nordeste, as águas das fontes Santa Clara, Levíssima I, Levíssima II, São Roque, Filomena, Beleza, Madame Curie e Glória parecem originar-se de uma mesma área de recarga. Os valores muito negativos destas águas (em torno de $-8,00/_{\text{OO}}$) indicam que o local de recarga se encontra distante das fontes, pois são teores muito diferentes da média ponderada das águas de chuva da área de estudo. Ela pode se localizar na Serra dos Coutos, de elevadas altitudes, situada ao norte da área de estudo. A superfície piezométrica, coerente com a topografia do terreno, e o valor de oxigênio-18 das águas, supondo a ação do efeito de altitude nestes teores,

FIGURA 32 - REGRESSÃO LINEAR ENTRE O OXIGÊNIO 18 E O LOGARITMO DAS CONCENTRAÇÕES DE SÓDIO

LEGENDA

0 1 2 km
escala

COTA TOPOGRÁFICA

FONTE

POÇO TUBULAR

-8,00(8/88) valor de $\delta^{18}\text{O}$ - ‰ SMOW -
(mês/ano de coleta)

FIGURA 33 - DISTRIBUIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE OXIGÊNIO-18
NA ÁREA DE ESTUDO.

foram os critérios de consideração na determinação de tal área de recarga, bem como das demais fontes e poços tubulares.

A área de recarga das águas das fontes Brejal, Prefeitura e do poço Lindália, com maiores valores de oxigênio-18 (em torno de $-7,3^{\circ}/_{\text{OO}}$) pode estar mais próxima, talvez nas regiões mais altas, ao norte de suas localizações, o mesmo ocorrendo com o poço Santa Isabel.

Os valores mais positivos de oxigênio-18, na parte sul do local de estudo, indicam áreas de recargas mais próximas. As águas das fontes da Pracinha, Santa Bernadete e do poço Vida II (média de $-6,9^{\circ}/_{\text{OO}}$) parecem provir das áreas mais elevadas a oeste, enquanto que as águas das fontes da Estrada e São Luiz e dos poços tubulares do Balneário FUMEST - Lindóia e Vida I, com média de $-7,2^{\circ}/_{\text{OO}}$, parecem originar-se nas regiões mais elevadas situadas a leste. Estas últimas podem sofrer influência das águas subterrâneas que circulariam no falhamento de Monte Sião. A área de recarga das fontes São Jorge, São Francisco e São Bernardo, com valor médio de $-7,3^{\circ}/_{\text{OO}}$, parece situar-se na Serra dos Mosquitos, a sudoeste da área de estudo. A fonte BR-360 tem sua área de recarga situada ao sul: as águas dessa fonte circulariam na mesma estrutura que o Córrego do Vale.

6.2.3. Estudos sobre a variabilidade físico-química e isotópica dos pontos monitorados em função do tempo

O estudo de variabilidade composicional das águas da área de investigação teve como objetivo analisar as respostas do aquífero em relação à pluviometria e às estações climáticas, durante um período de 17 meses (FIGURA 34).

A fonte Filomena e o poço tubular do Balneário FUMEST-Paulistur-Lindóia foram selecionados para este estudo. Infelizmente, por problemas infraestruturais, não houve possibilidade de monitoração de um maior número de pontos (ANEXO 4b e c).

Os parâmetros físicos-químicos monitorados foram: temperatura da água, pH, Eh, condutividade elétrica e CO_2 livre. Os elementos químicos foram o cálcio, magnésio, sódio, potássio, bicarbonato, cloreto, nitrato e sulfato, bem como o isótopo oxigênio - 18.

a) POSTO D - 14 - ÁGUAS DE LINDÓIA

b) POSTO D - 23 - LINDÓIA

FIGURA 34 - DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA ÁREA DE ESTUDO

a) Temperatura da água

Na fonte Filomena, a temperatura apresenta menores valores de outubro de 87 a dezembro de 87, subindo e estabilizando até abril de 88, decaindo em junho e crescendo até o valor de 28°C em outubro de 1988 (FIGURA 35a).

No poço tubular de Balneário FUMEST-Paulistur-Lindóia a temperatura da água aumenta de setembro de 1987 até janeiro de 1988, decrescendo em seguida e possuindo o mesmo comportamento da fonte (FIGURA 35b).

A variação da temperatura da água do poço Balneário FUMEST-Paulistur-Lindóia parece seguir as estações climáticas, ou seja, nos períodos mais quentes a temperatura é maior que nas estações mais frias. A fonte Filomena possui baixas temperaturas na primavera, tornando-se constante nos meses mais chuvosos. Em junho, no inverno, a temperatura decai e logo torna a subir, até o início da primavera.

b) pH e Eh

O pH das águas da fonte apresentou valores mais ácidos nos períodos de maior pluviosidade (dezembro de 1987 a junho de 1988) e o Eh, valores mais positivos (FIGURA 36a e b).

No poço tubular, no entanto, as águas não apresentaram comportamento regular de pH e Eh durante o período de monitoração (FIGURA 37a e b).

O comportamento do pH e Eh da fonte demonstra nítida inter-relação com a densidade de precipitações. As águas tornam-se mais ácidas e oxidantes, nos períodos de chuva, e básicas e mais redutoras nas épocas de estiagem.

c) Condutividade elétrica

A condutividade da fonte Filomena apresenta comportamento regular, com valores crescentes até janeiro de 1988 e decrescentes em seguida (FIGURA 38a). As águas do poço tubular profundo demonstram, neste mesmo período, vários máximos e mínimos (FIGURA 38b).

O comportamento da condutividade das águas da fonte é similar à pluviosidade registrada, aumentando nos períodos de maior precipitação e diminuindo no

a) FONTE FILOMENA

b) POÇO TUBULAR DO BALNEÁRIO FUMEST - LINDÓIA

FIGURA 35 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DAS ÁGUAS
DOS PONTOS MONITORADOS EM RELAÇÃO
AO TEMPO

a) Eh (mV)

b) pH

FIGURA 36 - VARIAÇÃO DO pH E Eh DAS ÁGUAS DA FONTE FILOMENA EM FUNÇÃO DO TEMPO

a) Eh

b) pH

FIGURA 37 - VARIAÇÃO DO pH E Eh DAS ÁGUAS DO POÇO TUBULAR DO BALNEÁRIO FUMEST - LINDÓIA EM RELAÇÃO AO TEMPO

a) FONTE FILOMENA

b) POÇO TUBULAR DO BALNEÁRIO FUMEST-LINDÓIA

FIGURA 38 - VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DAS ÁGUAS DOS PONTOS MONITORADOS EM RELAÇÃO AO TEMPO

inverno. Já o comportamento deste parâmetro nas águas do poço tubular não apresenta esta tendência. No entanto, verifica-se uma certa ciclicidade dos valores: no inverno de 87, as águas apresentaram baixas condutividades, na primavera estes tenderam a subir; no verão, decresceram; no outono subiram novamente e no inverno, decresceram, tendendo a subir no início da primavera.

d) CO₂ livre

A variação do teor de CO₂ livre das águas da fonte tem comportamento inverso às águas do poço tubular. Na fonte, o teor máximo de CO₂ livre está um pouco deslocado dos maiores valores de pluviometria, enquanto que no poço tubular, neste mesmo intervalo, as concentrações atingem seus valores mínimos (FIGURA 39a e FIGURA 39b).

e) Sólidos Totais Dissolvidos

As tendências de STD das águas da fonte e do poço tubular são aproximadamente similares. Os maiores valores situam-se no período de outubro de 1987, decaindo até o final da monitoração. No entanto, o STD no poço parece seguir os índices de maior pluviosidade, ou seja, os maiores valores de STD coincidem com os maiores índices pluviométricos (FIGURAS 40a e b).

f) Cátions maiores

As concentrações de cálcio, magnésio, sódio e potássio nas águas da fonte comportam-se similarmente durante todo o período. No entanto, não demonstram relação direta com os valores de precipitações (FIGURA 41a).

O cálcio e magnésio possuem maior semelhança: apresentam 3 picos máximos de valores em agosto de 1987, março de 1988 e setembro de 1988. Os teores de potássio atinge seu máximo em outubro de 1987 e tendem a decair até outubro de 1988. O sódio também atinge seu maior valor em outubro de 1988 e decai em janeiro, permanecendo mais ou menos constante durante o período de monitoração.

No poço tubular profundo, o comportamento dos cátions não possui similaridade entre si. Os teores de cálcio apresentam variações muito grandes no decorrer

a) FONTE FILOMENA

b) POÇO TUBULAR DO BALNEÁRIO FUMEST-LINDÓIA

FIGURA 39 - VARIAÇÃO DO CO₂ LIVRE DAS ÁGUAS DOS
PONTOS MONITORADOS EM RELAÇÃO AO
TEMPO

a) FONTE FILOMENA

b) POÇO TUBULAR DO BALNEÁRIO FUMEST-LINDÓIA

FIGURA 40.- VARIAÇÃO DOS SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS
DAS ÁGUAS DOS PONTOS MONITORADOS EM RE-
LAÇÃO AO TEMPO

da monitoração; contudo, demonstram leve tendência para valores maiores no período de maior pluviosidade e menores concentrações nas épocas de inverno (menor pluviosidade). O magnésio tende a uma certa constância, excetuando-se os meses de julho e agosto de 1987, quando apresentou menores teores (FIGURA 41b).

O potássio apresenta valores instáveis no período de monitoração, não existindo nenhuma semelhança com os índices pluviométricos da área. Os teores de sódio permanecem aproximadamente constantes durante o período de monitoração; os menores valores encontram-se, porém, nos meses de junho, julho e agosto de 1987 e janeiro de 1988.

g) Ânions maiores

Os valores do bicarbonato das águas da fonte demonstra um decaimento contínuo desde o início da monitoração. Os demais íons também apresentam tal tendência; entretanto, o ânion sulfato possui uma elevação de concentração no período de maior pluviosidade, o mesmo ocorrendo com o nitrato, em menor intensidade. O cloreto apresenta valores constantes durante toda a monitoração (FIGURA 42a e b).

No poço tubular do Balneário FUMEST-Lindóia, o bicarbonato não apresenta tendências, devido a grande variação de suas concentrações. Os teores de cloreto são constantes, mas no período de maior pluviosidade, seus valores diminuem. O nitrato possui tendência geral de diminuir seus valores; contudo, nota-se que a concentração se eleva no período de maior pluviosidade. Os teores de sulfato permanecem constantes no período de monitoração (FIGURA 43a e b).

h) Oxigênio 18 ($\delta^{18}\text{O}$)

Os valores de oxigênio-18 apresentam o mesmo comportamento nas águas da fonte Filomena e do poço balneário FUMEST-Paulistur-Lindóia. Os valores são mais positivos no início da monitoração tornando-se mais negativos no final. O poço tubular, no entanto, apresenta valores mais negativos nos períodos de maior pluviosidade, e vice-versa (FIGURAS 44a e b).

a) FONTE FILOMENA

b) POÇO TUBULAR DO BALNEÁRIO FUMEST-LINDÓIA

FIGURA 41 - VARIAÇÃO DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS CATIONICOS DAS ÁGUAS DOS PONTOS MONITORADOS EM FUNÇÃO DO TEMPO

a) CLORETO, NITRATO, SULFATO

b) BICARBONATO

FIGURA 42 - VARIAÇÃO DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS ANIÔNICOS DAS ÁGUAS DA FONTE FILOMENA EM RELAÇÃO AO TEMPO

a) CLORETO, NITRATO E SULFATO

b) BICARBONATO

FIGURA 43 - VARIAÇÃO DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS ANIÔNICOS DAS ÁGUAS DO POÇO TUBULAR DO BALNEÁRIO LINDÓIA EM RELAÇÃO AO TEMPO

a) FONTE FILOMENA

b) POÇO TUBULAR DO BALNEÁRIO FUMEST-LINDÓIA

FIGURA 44 - VARIAÇÃO DO OXIGÊNIO 18 DAS ÁGUAS DOS PONTOS MONITORADOS EM RELAÇÃO AO TEMPO

A análise da variabilidade dos parâmetros físico-químicos e isotópicos dos dois pontos monitorados em função do tempo e da pluviometria, demonstra que alguns parâmetros são correlacionados com as condições climáticas e outros, provavelmente, com processos químicos de modificação da composição da água.

Deste modo, os parâmetros pH e Eh, CO₂ livre, nitrato e sulfato possuem relação direta com a precipitação na fonte Filomena, sugerindo um aporte de águas provenientes de níveis mais superficiais do aquífero. Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ apresentam comportamento senoidal, cujos teores mais positivos situam-se no início da monitoração e decaem no final.

No poço tubular do Balneário FUMEST-Lindóia, os parâmetros que apresentam correlação com os índices pluviométricos são temperatura da água, CO₂ livre, STD, cálcio, cloreto, nitrato e $\delta^{18}\text{O}$. Os parâmetros físico-químicos, como temperatura da água, cloreto, nitrato e $\delta^{18}\text{O}$, demonstram uma relação direta com os índices pluviométricos. Todavia, o CO₂ livre, STD, o cálcio, apresentam relação inversa, ou seja, nos meses de maiores índices pluviométricos há a diminuição do valor de CO₂ livre, aumento de STD e cálcio.

6.3. Potabilidade

A análise de potabilidade das águas das fontes e poços tubulares se baseou no Decreto 12.486 de 20/10/78 (NTA-60), Decreto 79.367 de 09/03/77 - Portaria 56 BSB de 13/03/77, Resolução 25 de 1976 das Águas Minerais e dos critérios recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) de 1984 (CETESB, 1988) (TABELAS 08a e b).

Em geral, as águas exploradas comercialmente apresentam-se dentro dos padrões exigidos, devido ao controle das condições sanitárias mantidas pelas empresas engarrafadoras.

No entanto, foram detectados alguns elementos acima dos limites nas águas de fontes públicas e no poço Balneário FUMEST - Lindóia. As águas do poço tubular

TABELA 08 - PADRÕES DE QUALIDADE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO

a) LEGISLAÇÃO DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Parâmetros (características)	Unidade (mg/l)	Decreto 12.486 de 20/10/87 NFA 60 (Estadual)			Dec. 79.367 de 09/03/77 Port. 86 BSB de 13/03/77		Águas Minerais Res. 23 de 1976
		Abastecimento Público	Fontes	Poços	VMD	VMP	
1) Físicos organolépticos							
Aspecto	---	limpido	limpido	limpido	---	---	limpido
Cor	Pt/l (Hazen)	10-20	5	10	5	20	5
Odor	---	isento ou leve cloro	nenhum	nenhum	Não objetável	Não objetável	nenhum/próprio
pH	---	5-9	4-10	5-10	---	---	4-9
Sabor	---	---	---	---	Não objetável	Não objetável	caract.
Turbidez	N.T.U	2-5	5	10	1	5	1
2) Químicos							
Alcal. hidrôxidos	CaCO ₃	---	0	0	---	---	0
Alcal. carbonatos	CaCO ₃	---	120	120	---	---	---
Alcal. bicarbonatos	CaCO ₃	---	---	250	---	---	---
Alumínio	Al	---	---	---	0,05	0,10	---
Arsênio	As	0,05	0,05	0,05	0,05	1,0	0,05
Bário	Ba	1,0	1,0	1,0	---	1,0	1,0
Cádmio	Cd	0,01	0,01	0,01	---	0,01	0,01
Chumbo	Pb	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05
Cianeto	CN	0,2	0,2	0,2	---	---	0,2
Cloratos	Cl	250	100	250	200	600	100
Cloro residual	Cl ₂	0,3	---	---	---	---	---
Cobre	Cu	1,0	1,0	1,0	0,2	1,0	1,0
Cromo hexavalente	Cr	0,05	0,05	0,05	---	---	0,05
Cromo total	Cr	---	---	---	---	0,05	---
Dureza	CaCO ₃	---	300	100-200	---	---	---
Fenóis	C ₆ H ₅ OH	---	---	---	---	0,001	---
Ferro	Fe	0,3	0,3	0,3	0,3	1,0	---
Fluoreto	F	1,0	1,0	1,0	---	0,6-1,7	1,00
Manganês	Mn	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,05
Mercurio	Hg	---	---	---	---	0,002	0,001
Nitrogênio amoniacal	N	---	0,05	0,08	---	---	0,03
Nitrogênio albuminóide	N	---	0,08	0,15	---	---	0,05
Nitrogênio nitrato	N	---	0,02*	0,02*	---	---	ausente
Nitrogênio nitrato	N	10	2-5*	2-6*	---	10	ausente
Oxigênio consumido	O ₂	2,5	2,0	3,5	---	---	4,5 (H) 3,5 (OH)
Prata	Ag	---	---	---	---	0,05	---
Selênio	Se	0,01	0,01	0,01	---	0,01	0,01
Sólidos dissolvidos	---	---	---	---	500	1000	---
Sólidos totais	---	500	500	500	500	1500	1500 (180°C)
Sulfato	SO ₄	250	---	---	---	---	---
Surfactantes	LAS	---	---	---	0,2	0,5	---
Zinco	Zn	5,0	5,0	5,0	1	5	5,0
3) Biocidas orgânicos sintéticos hidrocarbonetos clorados							
Só Portaria 56 BSB como VMP (Valor Máximo Permitido)							
Aldrin	---	0,001 mg/l	---	---	---	---	---
Clordano	---	0,003 mg/l	---	---	---	---	---
DDT	---	0,05 mg/l	---	---	---	---	---
Dieldrin	---	0,001 mg/l	---	---	---	---	---
Endrin	---	0,0002 mg/l	---	---	---	---	---
Heptacloro	---	0,0001 mg/l	---	---	---	---	---
Lindano	---	0,004 mg/l	---	---	---	---	---
Metosiclolo	---	0,1 mg/l	---	---	---	---	---
Toxaleno	---	0,005 mg/l	---	---	---	---	---
comp. organofosforados e carbamatos	---	0,1 mg/l	---	---	---	---	---
Herbicidas clorofenoxi:	---	---	---	---	---	---	---
2,4-D	---	0,02 mg/l	---	---	---	---	---
2,4,5 TP (silvex)	---	0,03 mg/l	---	---	---	---	---
2,4,5 T	---	0,002 mg/l	---	---	---	---	---

Notas:

- Os valores assinalados com asterisco, são os números tolerados face a exames bacteriológicos satisfatórios.
- Os teores de Fluoreto dependem da temperatura média diária do ar; consultar tabela específica na lei; quanto maior a temperatura, menor o teor de Fluoreto admissível.
- Há erros de impressão no original da Portaria 56, onde consta:
--- Bário 0,1 quando o correto é 1,0 mg/l Ba
--- Mercúrio 0,02 quando o correto é 0,002 mg/l Hg
- No Decreto 12.486 não são tolerados resíduos de pesticidas e outras substâncias estranhas.
- VMD = Valor Máximo Desejado
VMP = Valor Máximo Permitido

TABELA 08 – PADRÕES DE QUALIDADE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

b) Critérios Recomendados pela Organização Mundial da Saúde — 1984
Parâmetros físico-químicos para água de consumo humano

Parâmetros Potencialmente Tóxicos (mg/l)

Arsênio	0,05	Chumbo	0,05
Cádmio	0,005	Mercúrio	0,001
Cromo	0,05	Nitrato	10
Cianeto	0,1	Selênio	0,01
Fluoreto	1,5		

Parâmetros que Possuem Propriedades Relacionadas com Saúde, onde não foram Estabelecidos Limites Aceitáveis

Asbestos	Berílio	Prata	Níquel
Bário	Dureza	Sódio	Nitrato

Parâmetros que possuem Qualidade Estética (mg/l)

Alumínio	0,2	Sabor e Odor	Não objetável à maioria dos consumidores
Cloreto	250	Sulfetos	Não detectável pelos consumidores
Cobre	1,0	Detergentes	Não há critério, mas não deve provocar espuma, gosto ou odor
Cor	15	Sólidos totais	1000
Dureza	500	Zinco	5,0
Ferro	0,3	pH	6,5-8,5
Manganês	0,1	Turbidez	5 (< 1 para eficiência de desinfecção)
Sódio	200		
Sulfato	400		

Constituintes Orgânicos (µg/l)

Benzeno	10(*)	Clorofórmio	30(*)
Tetracloreto de carbono	3(*)	Aldrin/Dieldrin	0,03
1,2 Dicloroetano	10(*)	Clordano	0,3
1,1 Dicloroetileno	0,3(*)	2,4D	100(***)
Tetracloroetileno	10(*)	DDT	1
Tricloroetileno	30(*)	Heptacloro/Heptacloroepóxido	0,1
Pentaclorofenol	10	Hexaclorobenzeno	0,01(*)
2,4,6-triclorofenol	10(*) (**)	Lindano	3
	0,1 (organol.)	Metoxicloro	30
Benzo(a) pireno	0,01(*)		

(*) Tentativa (incertezas podem variar, com fatores de 0,1 a 10 vezes o número).

(**) Pode ser detectado em concentrações mais baixas por odor/sabor.

Balneário - Lindóia excede no teor de amônio, com 0,80 mg/l. A fonte Sertãozinho, no município de Águas de Lindóia, apresenta elevado teor de nitrato, 43 mg/l, e as águas da fonte da Pracinha, em Lindóia, excede no elemento amônio, com teor de 1,42 mg/l. As captações das duas fontes não se encontram em condições satisfatórias: a fonte Sertãozinho foi construída num terreno baldio, onde são observados lixo e aporte de águas pluviais; a fonte da Pracinha é uma captação bem antiga, onde não se notam reformas de preservação.

6.4. Classificação das águas segundo o Código de Águas Minerais

As águas das fontes e poços tubulares, comercializadas em Águas de Lindóia e Lindóia, são controladas pelo Código de Águas Minerais, através do Decreto - Lei nº 7841, de 08 de agosto de 1945 (CPM, 1979).

As águas minerais são definidas como: "aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuam composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhe confirmam uma ação medicamentosa".

Na área de estudo, as águas minerais são comercializadas pelas indústrias engarrafadoras sob a marca LINDOYA. Apesar das baixas concentrações de sais, estas águas são classificadas como MINERAL devido à presença da radioatividade do gás radônio dissolvido. A radioatividade varia de 1,09 a 7,08 pCi/l (3,0 a 19,5 Unidades Maches), e, deste modo, estas águas classificam-se como MINERAIS FRACAMENTE RADIOATIVAS ou RADIOATIVAS. Atualmente as unidades de radioatividade descritas no Código vigente (Unidades Mache) não são mais usadas, pois são termos antiquados. As águas das fontes São Roque, Filomena, Glória e Madame Curie classificam-se como MINERAIS HIPOTERMAIS, pois possuem temperatura maior que 25°C.

O Código de Águas Minerais necessita de reestruturação e atualização, face ao desenvolvimento tecnológico e científico adquirido nestes 45 anos, em que muitos conceitos já existentes, foram mudados e outros, descobertos.

Deste modo, o Grupo de Trabalho, criado para este fim, através da portaria interministerial nº 97 de 23/01/85, está estruturando um Anteprojeto de Lei que fará as modificações necessárias de atualização e reestruturação (DNPM, inédito).

Todavia, acredita-se que seja necessário discutir nesta reestruturação a viabilidade do uso da radioatividade das águas naturais como parâmetro de classificação de águas minerais.

Atualmente, estudos sobre a periculosidade do gás-radônio-222 em águas subterrâneas são desenvolvidas mundialmente, pois sua radiação é o segundo fator responsável pela maior ocorrência de câncer pulmonar, além de provocar câncer no estômago e intestinos. O limite sugerido pelo EPA (1976, in BRUTSAERT et al., 1981) é de 500,0 pCi/l (ou 0,5 nCi/l), valor este inferior aos teores encontrados na área em questão.

Assim, estudos sobre a radioatividade do radônio-222 nas águas subterrâneas da área de investigação e suas consequências sobre a população local, que as consome diretamente, devem ser executados pelos órgãos de saúde pública.

Fora isso, a radioatividade do gás radônio, longe de sua fonte de emanção, possui meia vida de 3,82 dias; isto significa que as águas engarrafadas e comercializadas perdem a única característica que as classifica como minerais antes de serem consumidas.

Portanto, o uso da radioatividade como parâmetro de classificação de águas minerais torna-se polêmico, devido a sua instabilidade fora de seu meio e a sua periculosidade para a saúde humana, contrariando a própria definição desta água no Código. A aplicação deste parâmetro classificatório nas leis deve, portanto, ser estudada e revista, justamente neste momento em que se discute e se modifica o Código de Águas Minerais.

7. CONCLUSÕES

O estudo do comportamento das águas das fontes e poços tubulares na área de investigação requer, primeiramente, o conhecimento da geologia e de sua história evolutiva local, nos aspectos litológicos, deformacionais e rúpteis.

A dinâmica da circulação destas águas está relacionada aos fraturamentos das rochas locais, que condicionam as feições de relevo, criando vales e vertentes. A abertura e extensão das fraturas são funções do tipo de esforços dúcteis e rúpteis que atuaram na área e da competência das litologias locais.

Deste modo, a maior frequência das fraturas e sua classificação como antitéticas, de tração e de alívio de carga, são indicativos de uma circulação mais representativa das águas subterrâneas na área, onde se encontram os maiores valores de vazão (fontes) e de capacidade específica (poços tubulares).

As águas das fontes e poços tubulares profundos são pouco mineralizadas e classificam-se como bicarbonatadas mistas ou cálcicas, características de rochas de terrenos ígneos. A composição química destas águas é oriunda da hidrólise dos minerais das rochas e, secundariamente, da troca de bases e oxi-redução. O fenômeno da hidrólise e da oxi-redução ocorreria no manto de alteração, enquanto que as reações de troca de base possuiriam maior relevância nos fraturamentos.

Os estudos dos isótopos de deutério ($\delta^2\text{H}$) e oxigênio-18 ($\delta^{18}\text{O}$) definem a origem meteórica das denominadas "águas minerais" e as diferentes áreas de recarga, situadas geralmente nos divisores de água das bacias formadas pelos rios, ribeirões e córregos locais. O fenômeno da evaporação durante o inverno (estiagem) é identificado na maioria das fontes e poços tubulares, onde os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ seguem a reta meteórica mundial.

Em geral, as águas oriundas das nascentes são misturas de águas mais superficiais do aquífero e de águas mais profundas que ali emergem; no entanto, foram identificadas algumas provenientes diretamente das águas de recarga direta. Os poços tubulares, por sua vez, apresentam águas de circulação mais profunda.

As águas da fonte e do poço tubular monitorados por um período de 17 meses indicam comportamentos de alguns parâmetros físico-químicos que possuem relação direta ou inversa com a pluviometria e outros, com processos de alteração das rochas. Estes parâmetros físico-químicos geralmente possuem relação direta com as precipitações nas águas das fontes e inversa nas águas do poço tubular.

Em termos de qualidade, as águas analisadas apresentam-se potáveis para consumo humano devido ao controle sanitário das empresas de engarrafamento; no entanto, notam-se, em algumas fontes públicas, a não-potabilidade de suas águas, causada por infiltração de agentes externos nas obras de captação, antigas e sem conservação.

Pelo Código de Águas Minerais, as águas são classificadas como MINERAIS FRACAMENTE RADIOATIVAS ou RADIOATIVAS, devido à presença do gás radônio-222. A revisão desta lei está sendo realizada, visando atualizá-la e reestruturá-la para as necessidades atuais. Todavia, dentre muitas modificações, ressalta-se aqui a dubiedade do uso de radioatividade como parâmetro classificatório das águas minerais. A instabilidade do radônio-222, devido ao seu rápido decaimento radioativo (3,82 dias), e sua periculosidade para a saúde humana são motivos que devem ser relevados para discussão e, assim, revistos.

Os estudos realizados atingiram os principais objetivos propostos, que visaram, principalmente, ao entendimento da origem e dinâmica das águas em áreas cristalinas e de seus processos de mineralização na área, através de avaliações hidrogeológicas, hidroquímicas e isotópicas das águas analisadas e monitoradas.

A metodologia de estudo baseou-se na integração de diversos campos, como a geologia e sua história evolutiva, geomorfologia, hidrogeologia, hidroquímica e isotopia das águas. Esta interação demonstra ser de importância essencial para a compreensão do comportamento das águas nas complexas áreas cristalinas.

8 - BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. - 1984 - *O Pré-cambriano do Brasil*. 1 ed. Brasil, Edgard Blücher. 378 p.
- ANDRADE, J.F. - 1937 - Águas minerais brasileiras. *Min. Metal*. 2(9): 163-168.
- BERTACHINI, A.C. - 1987 - *Estudo das características hidrogeológicas dos terrenos cristalinos sob clima úmido, na região de Jundiaí, em São Paulo*. São Paulo. USP. 120 p. (Dissertação de Mestrado).
- BRUTSAERT, W.F.; NORTON, S.A.; HESS, C.T.; WILLIAMS, J.S. - 1981 - Geologic and hidrologic factors controlling radon-222 in ground water in Maine *Ground Water*, 19 (4): 407-417.
- CAMPANHA, G.A.C.; FERNANDES, L.A.; GIMENEZ, A. - 1983a - Quadrículas Moji - Guaçu e Águas de Lindóia. In: JORNADA SOBRE A CARTA GEOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO EM 1:50.000. *Atas...*São Paulo. PRÓ-MINÉRIO.137 - 169.
- CAMPANHA, G.A.C.; GIMENEZ, A.; FERNANDES, L.A. - 1983b - Caracterização do estilo estrutural e discussão de aspectos estratigráficos do Complexo Amparo na região de Itapira e Águas de Lindóia (SP).In: SIMP. REGION. GEOL., 4º. São Paulo, 1983. *Anais...*São Paulo, SBG. p. 3 - 15.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB) - 1987 - *Levantamento hidrogeológico de Águas de Lindóia, SP*. Relatório interno CETESB. (inédito).
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB) - 1988 - *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. 1 ed. São Paulo. CETESB. 150 p.
- COORDENAÇÃO DA PRODUÇÃO MINERAL (CPM) - 1979 - *Imposto Único sobre minerais, Código de Mineração, Código de Águas Minerais*. 1 ed. Salvador. Governo do Estado da Bahia. 333 p.

- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. - 1983 - *Hidrologia subterrânea*. 2 ed. Barcelona. Omega. t.I e II, 2359p.
- DANSGAARD, D. - 1961 - *The isotopic composition of natural waters - with special reference to the Greenland Ice Cap*. reprinted from Meddelser; Gronland. 119 p.
- DEL REY, A.C. no prelo. *Estudo hidrogeotérmico da região de Águas de Lindóia, Amparo e Socorro - nordeste do estado de São Paulo*. São Paulo. USP. (Dissertação de Mestrado).
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) - 1981 - *Estudo das águas subterrâneas, região administrativa 5 - Campinas*. São Paulo. Secretaria de Obras e do Meio Ambiente. v. 1, 627 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM) -1973 - *Especificações técnicas para o aproveitamento de água mineral - manual de serviços*. DNPM. mim., 9p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM)- 1988 - *Anuário mineral brasileiro*. Brasília. DNPM. p. 118-120.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). inédito. *Anteprojeto do Código de Águas Minerais*. mim., 35 p.
- ESTON, S.M.; HAMZA, V.M. - 1984 -Energia geotérmica no Brasil: avaliação de recursos, avanços tecnológicos e perspectivas de utilização. In: SIMP. BRAS. TECN. EXPL. APL. GEOL. - 1984 - *Anais...*p.109-132.
- FALCÃO, H. - 1978- *Perfil analítico de águas minerais*. Rio de Janeiro. DNPM. 160 p. (Boletim 49, v. II).
- GONSALVES, A.D.; FREITAS, Y.D.; NOGUEIRA, R.; PRZEWODOSKY, T.; DELEITO, P.; MONTEIRO, Y. - 1936 - *Águas minerais do Brasil*. Rio de Janeiro. Minist. Agricult. 164 p.
- GROSSI SAD, J.H. & BARBOSA, A.L.M. - 1982 - Síntese geológica da folha de Socorro, São Paulo. In: JORNADA SOBRE A CARTA GEOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO EM 1:50.000. *Atas...*São Paulo. PRÓ-MINÉRIO. p. 109-135.
- GUIMARÃES, J.E.P.G. - 1946 - Fontes da cidade de Lindóia. *Rev. do IGG*, 4 (4): 383-405.

- HURTER, S.J.; ESTON, S.M.; HAMZA, V.M.- 1983 - *Coleção brasileira de dados geotérmicos*. São Paulo. IPT. IIIp. (Série 2 - fontes termais).
- HURTER, S.J. - 1984 - Termometria química aplicada à exploração de depósitos geotermiais. In: SIMP. BRAS. TECN. EXPL. APL. GEOL. 1984. Anais...p.78-95.
- HURTER, S.J. - 1987 - *Aplicação de geotermômetros químicos em águas de fontes brasileiras na determinação do fluxo geotérmico*. São Paulo. USP. 189 p. (Dissertação de Mestrado).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT) - 1981- *Mapa geomorfológico do estado de São Paulo*. São Paulo. IPT. v. 1 e 2.
- LOCZY, L. & LADEIRA, E.A. - 1976 - *Geologia estrutural e introdução à geotectônica*. 1 ed. São Paulo, Edgard Blücher. 528 p.
- LONGO, O.W. - 1967 - Águas radioativas no estado de São Paulo. *Rev. IGG*. 19: 27-48.
- LOPES, R.S. - 1956 - *Águas Minerais do Brasil (composição, valor e indicações terapêuticas)*. Rio de Janeiro. Min. Agricult. 148 p. (publ. nº 2).
- MATTHESS, G. - 1982 - *The properties of groundwater*. 1 ed. New York, John Wiley & Sons. 406 p.
- MATTOS, J.R.B. - 1928 - *Estações climatéricas de São Paulo*. São Paulo. Secret. Agricult., Ind. e Com. São Paulo. 150 p.
- MATTOS, J.R.B. - 1935- Lindoya, estação hydro-mineral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HIDRO-CLIMATOLOGIA, 1º São Paulo, 1935. *Anais...* São Paulo, 28 p.
- MIOTO, J.A. & DEL REY - 1984 - Distribuição geográfica de sismos e fontes termais da parte oriental do Brasil: uma ferramenta de exploração geotermal em escala regional. In: SIMP. BRAS. TECN. EXPL. APL. GEOL. *Anais...*p. 62-77.
- MOOK, W.G. - 1968 - *Geochemistry of stable carbon and oxygen isotopes of natural waters in the Netherlands*. Groningen. Rijksuniversiteit. 157 p.
- PARISOT, E.H. - 1983 - *As águas subterrâneas no centro-oeste do município de São Paulo - características hidrogeológicas e químicas*. São Paulo. USP. (Dissertação de Mestrado). 93 p.

- PRADO, L.C. - 1938 - *A radioatividade das fontes hydrominerais*. São Paulo. Escala Polytechnica. 54 p. (Anuario para o ano de 1937).
- SADOWSKI, G.R. - 1984 - Estado da arte do tema: geologia estrutural de grandes falhamentos. In: CONGR. BRAS. GEOL.; 33. Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG. p. 1767-1783.
- SAMPA, M.H.O. - 1978 - *Estudo e desenvolvimento de métodos analíticos para determinação da radioatividade natural em águas*. São Paulo. USP. 94 p. (Dissertação de Mestrado).
- SCHÖELLER, H.I. - 1962 - *Les eaux souterraines*. Paris, Masson et cie. 642 p.
- SILVA, R.B.G. - 1983 - *Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no estado de São Paulo*. São Paulo. USP. 133 p. (Tese de Doutorado).
- SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE) - 1987 - *Anuário estatístico do estado de São Paulo, 1986*. São Paulo. FUNDAÇÃO SEADE. 583 p.
- SZIKSZAY, M. - 1981 - *Hidrogeoquímica das fontes de Águas da Prata, estado de São Paulo*. São Paulo. USP. v. 1, 193 p. (Tese de Livre Docência).
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDRE, J.M. - 1977a - Análise hidrogeoquímica preliminar das fontes dos arredores da bacia de São Paulo. *Rev. Bras. Geoc.*, 7(1): 32-44.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDRE, J.M. - 1977b - Fontes da estância de Águas da Prata, São Paulo. *Bol. Inst. Geoc.*, 8: 83-96.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDRE, J.M. - 1978 - Análise hidrogeoquímica preliminar das águas das fontes da região de Águas de Lindóia. *Rev. Bras. Geoc.*, 8(4): 235 - 248.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDRE, J.M. - 1979 - Fontes de Campos do Jordão. *Bol. Inst. Geoc.*, 10: 1-10.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDRE, J.M. - 1981a - Fontes da Bacia Sedimentar do Paraná, estado de São Paulo. *Rev. ABAS*, 3.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDRE, J.M. - 1981b - Águas Minerais no estado de São Paulo - características físico-químicas e classificação. *Bol. Inst. Geoc.*, 12.
- TEIXEIRA, A.S. - 1938 - Distribuição geographica das fontes hydromineraes do estado de São Paulo. *Rev. Bras. Química*, V (25): 23 - 24.

- TEIXEIRA, A.S. - 1946 - Fontes hidromedicinais do estado de São Paulo. São Paulo. *Separata dos Arquivos de Higiene e Saúde Pública*, 28: 197 - 354.
- TOZZI, M. - 1987 - *A cidade das águas azuis*. 90 p.
- TRESCASES, J.J. - 1984 - Análise química por espectrometria de absorção atômica. In: GOMES, C.B. ed. *Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia*. São Paulo, Edgard Blücher. p. 44-83.
- WANDERLEY, L.A. - 1924 - *A radioatividade das águas minerais do estado de São Paulo*. São Paulo. Publ. Inst. Eng. Escol. Polytech. 24 p.
- YURTESEVER, Y. & GAT, J.R. - 1981 - Atmospheric waters. In: GAT, J.R. & GONFIANTINI, R. ed. *Stable isotope hydrology - deuterium and oxygen - 18 in the water cycle. Technical reports series n° 210*. Viena, IAEA.
- ZANARDO, A. - 1987 - *Análise petrográfica e microestrutural das rochas da folha de Águas de Lindóia*. São Paulo. USP. 270 p. (Dissertação de Mestrado).

**ANEXO 01. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS FONTES E POÇOS TUBULARES NA
ÁREA DE ESTUDO**

22°26'49"

22°32'07"

46°40'08"

46°36'12"

S. João

150m

100m

50m

SP-360

100 360

**ANEXO 02. CADASTRO E CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DAS FONTES E
POÇOS TUBULARES**

NASCENTES - DADOS HIDRÁULICOS

Código	Município	Fonte	Folha Topog.	Coordenadas		Cota (m)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	Litologia Aflorante	Morfo- logia	Linea- mento	Direção Fratura
				kmE	kmS						
001	A.Lindóia	São Lourenço - Levíssima I	A.Lindóia	334,40	7516,00	990	9,17	quartzito	vert.	dentro	N20-30W
	A.Lindóia	- Santa Clara	A.Lindóia	334,40	7516,00	990	10,00	quartzito	vert.	dentro	N20-30W
	A.Lindóia	- Levíssima II	A.Lindóia	334,40	7516,00	990	5,00	quartzito	vert.	dentro	N20-30W
002	A.Lindóia	Fonte do Brejal	A.Lindóia	331,50	7514,10	1200	0,30	migmatito	topo	dentro	N40-50W
003	A.Lindóia	Prefeitura	A.Lindóia	331,95	7514,15	930	0,86	migmatito	vert.	dentro	N60-70W
004	A.Lindóia	Fonte do Sertãozinho	A.Lindóia	334,05	7514,05	940	2,50	mig.milo.	vert.	dentro	N20-30W
005	A.Lindóia	Balneário FUMEST-São Roque	A.Lindóia	332,90	7513,65	915	77,80	quartzito	vert.	dentro	N50-60W
	A.Lindóia	-Filomena	A.Lindóia	332,90	7513,65	915	38,90	quartzito	vert.	dentro	N50-60W
	A.Lindóia	-Beleza	A.Lindóia	332,90	7513,65	915	6,60	quartzito	vert.	dentro	N50-60W
	A.Lindóia	-Mme Curie	A.Lindóia	332,90	7513,65	915	16,70	quartzito	vert.	dentro	N50-60W
	A.Lindóia	-Glória	A.Lindóia	332,90	7513,65	915	50,00	quartzito	vert.	dentro	N50-60W
006	Lindóia	Fonte Vida nº N4	Socorro	331,70	7510,30	715	6,50	migmatito	vert.	dentro	N80-90W
007	Lindóia	Fonte Vida nº N2	Socorro	331,45	7509,95	720	4,00	migmatito	vert.	dentro	N80-90W
008	Lindóia	Fonte da Pracinha	Socorro	330,20	7509,55	780	0,69	migmatito	vert.	dentro	N10-20E
009	Lindóia	Nossa Senhora das Brotas 1	Socorro	330,60	7509,60	740	5,81	migmatito	vert.	dentro	N80-90W
010	Lindóia	Nossa Senhora das Brotas 2	Socorro	331,05	7509,70	700	5,89	migmatito	vale	dentro	N80-90W
011	Lindóia	Fonte Santa Bernadete	Socorro	331,35	7509,75	730	3,69	mig.milo.	vert.	dentro	N60-70W
012	Lindóia	Fonte da Estrada	Socorro	331,70	7509,50	780	0,11	mig.milo.	topo	dentro	N60-70W
013	Lindóia	Fonte São Bernardo	Socorro	328,75	7508,75	740	1,11	quartzito	vert.	dentro	N20-30E
014	Lindóia	Fonte São Luís	Socorro	331,25	7508,90	730	0,39	mig.milo.	vert.	fora	-
015	Lindóia	São Francisco	Socorro	328,25	7508,45	830	3,00	migmatito	topo	dentro	N20-30E
016	Lindóia	São Jorge	Socorro	328,50	7508,00	940	10,00	quartzito	topo	dentro	N60-70W
017	Lindóia	Nossa Senhora das Brotas	Socorro	329,60	7507,35	930	0,11	migmatito	vert.	dentro	N50-60E
018	Lindóia	Fonte da Estrada BR-360	Socorro	329,95	7506,10	800	0,80	migmatito	topo	fora	-

POÇOS TUBULARES - DADOS HIDRÁULICOS

Código	Município	Local	Folha Topogr.	Coordenadas kmE kmS		Cota (m)	Prof. (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	Q_{-33} (10 ⁻³ m ³ /s)	Q/s (10 ⁻⁴ m ³ /s/m)	Transm. (10 ⁻⁴ m ³ /s)	Manto Alter. (m)	Litologia	Morfo- logia	Linea- mento	Direção Fratura
001	A.Lindoia	Pátio do S.A.E.E.	A.Lindoia	332,45	7514,50	795	142	5,00	45,83	6,94	1,69	-	16	gnigmatito	vale	fora	N20-30E
002	A.Lindoia	FACCHINI S.A. Tamoyo Hotel	A.Lindoia	332,40	7514,15	800	100	12,00	70,00	0,67	0,11	3,64	26	gnigmatito	vale.	dentro	N20-30E
003	A.Lindoia	Hosp.Geral Francisco Tozzi	A.Lindoia	331,95	7513,85	910	180	-	-	0,28	-	-	-	gnigmatito	vert.	dentro	N30-40W
004	A.Lindoia	Fonte Lindalia	A.Lindoia	331,80	7513,80	900	20	0,00	5,00	2,00	20,00	-	5	gnigmatito	vale	dentro	N40-50W
005	Lindoia	Nova Lindoia Hotéis Turismo	A.Lindoia	331,50	7512,90	850	204	38,00	102,00	1,39	0,22	-	20	gnigmatito	vert.	dentro	N50-60W
006	Lindoia	SKOL CARACU- F. Santa Isabel	A.Lindoia	331,95	7512,45	915	72	10,00	13,00	4,00	11,40	12,80	30	gnigmatito	vert.	dentro	N50-60W
007	Lindoia	Min. Vale das Brotas - p1	Socorro	330,85	7509,95	720	150	10,00	79,00	1,42	0,19	1,24	32	gnigmatito	vert.	dentro	N80-90E
008	Lindoia	Min. Mantovanni - Vida II	Socorro	331,35	7509,85	735	83	10,40	18,88	2,11	2,39	-	37	gnigmatito	vale	dentro	N80-90W
009	Lindoia	Min. Mantovanni - Vida I	Socorro	331,30	7509,25	710	82	2,00	55,00	3,06	0,58	3,11	26	gnigmatito	vale	dentro	N60-70E
010	Lindoia	Lindoiano Hotel F.Radioativas	Socorro	331,45	7509,45	715	103	1,00	65,00	0,61	0,08	-	22	gnigmatito	vert.	dentro	N60-70E
011	Lindoia	Lindoiano Hotel F.Radioativas	Socorro	331,25	7509,20	700	80	15,00	47,00	0,97	0,31	-	39	gnigmatito	vale	dentro	N60-70E
012	Lindoia	Lindoiano Hotel F.Radioativas	Socorro	331,30	7509,35	690	50	6,00	25,00	2,08	1,08	-	50	gnigmatito	vale	dentro	N60-70E
013	Lindoia	Frigorífico Aves de Lindoia	Socorro	330,15	7508,75	680	49	8,53	-	2,08	-	-	-	gnigmatito	vale	dentro	N30-40E
014	Lindoia	Mineração Cremasco	Socorro	329,25	7508,35	740	132	9,40	107,30	2,22	0,22	-	9	gnigmatito	vert.	dentro	N60-70E
015	Lindoia	Balneário da FUMEST	Socorro	331,15	7508,10	680	150	7,00	30,00	0,83	0,36	-	10	gnigmatito	vale	dentro	N30-40E
016	Lindoia	Indio de Ouru Ag. e Mineração	Socorro	331,65	7508,25	770	100	7,00	62,00	3,19	0,58	-	10	gnigmatito	topo	fora	-
017	Lindoia	Chacara Tamoi	Socorro	331,55	7507,90	720	100	3,00	70,00	0,56	0,08	-	6	gnigmatito	vert.	dentro	N0-10W
018	Lindoia	Sítio Lindagua	Socorro	329,95	7507,00	730	261	0,82	-	5,56	-	-	15	gnigmatito	topo	dentro	N80-90W
019	Lindoia	Min. Vale das Brotas - p2	Socorro	330,75	7509,65	700	70	12,87	27,00	3,41	2,42	-	56	gnigmatito	vert.	dentro	N80-90E

**ANEXO 03. ANÁLISES QUÍMICAS E RELAÇÕES IÔNICAS DAS FONTES E POÇOS
TUBULARES NA ÁREA DE ESTUDO**

FONTE/POÇO	DATA COLETA	Tar (°C)	Água (°C)	pH	Eh (mV)	Cond. (uS/cm)	CO ₂	HCO ₃ ²⁻	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	Rad. (pCi/l)	S.T.D. (mg/l)	Oxig.18. (°/ooSMOW)	Deutério (°/ooSMOW)	Litologia
							(mg/l)	CaCO ₃			(mg/l)											
São Roque - A. Lindóia	11/12/86	26,0	27,0	7,21	-13	99	4,40	54,0	0,50	0,84	nd	14,50	4,30	0,10	0,30	nd	17,10	-	74,54	-8,00	-	quartzito
Beleza - A. Lindóia	10/04/86	30,0	18,0	7,70	-44	130	4,40	67,10	0,30	nd	2,00	10,93	5,80	0,81	2,05	0,02	-	-	88,99	-8,30	-	quartzito
Madame Curie - A. Lindóia	11/04/86	24,5	25,0	6,83	10	98	0,00	54,90	0,30	0,43	1,07	7,35	3,39	1,67	1,90	0,01	-	-	71,01	-7,80	-	quartzito
Glória - A. Lindóia	11/04/86	27,5	26,0	6,71	17	100	11,00	51,85	0,38	nd	1,19	6,87	3,27	1,69	1,88	0,01	-	1,06	67,13	-7,80	-	quartzito
Filomena - A. Lindóia	19/07/88	22,5	27,0	7,08	-4	107	4,40	67,10	0,12	0,02	0,90	11,20	3,09	2,51	3,17	-	-	-	38,11	-7,95	-51,00	quartzito
Santa Isabel - A. Lindóia (p)	10/12/86	24,5	21,0	6,31	38	81	3,85	48,80	0,50	3,28	nd	8,80	3,90	1,90	2,50	nd	17,50	1,89	59,00	-7,80	-	migmatito
Lindália - A. Lindóia (p)	09/08/88	28,0	21,0	5,28	95	92	42,90	48,80	2,65	7,39	0,33	12,72	1,81	5,04	7,07	-	-	3,67	85,81	-7,70	-47,70	migmatito
Prefeitura - A. Lindóia	09/08/88	27,0	19,0	5,13	101	69	45,10	42,70	0,27	2,07	0,14	5,09	1,69	4,14	4,93	-	-	5,81	61,03	-6,95	-45,70	migmatito
Santa Clara - A. Lindóia	10/08/88	18,0	18,0	5,96	51	10	29,70	6,10	0,15	0,80	0,08	0,37	0,35	0,16	3,30	-	-	-	11,31	-8,25	-51,40	quartzito
Levíssima I - A. Lindóia	10/08/88	18,0	19,0	6,22	38	9	28,60	6,10	0,12	0,60	0,14	0,37	0,36	0,10	3,17	-	-	-	10,96	-8,20	-52,60	quartzito
Levíssima II - A. Lindóia	10/08/88	18,0	18,0	6,56	24	12	28,60	6,10	0,09	0,72	0,15	0,23	0,31	0,10	3,30	-	-	-	11,00	-8,09	-50,80	quartzito
Brejão - A. Lindóia	04/10/88	29,0	19,0	5,38	95	54	55,00	36,60	0,20	nd	0,07	9,01	0,89	2,01	2,38	nd	-	-	51,16	-7,37	-49,57	migmatito
Sertãozinho - A. Lindóia	04/10/88	32,0	22,0	4,92	125	123	51,70	6,10	8,61	43,00	nd	2,14	2,40	11,35	2,86	-	15,82	-	76,46	-7,11	-49,02	mig.milo.
S.A.E.E. - A. Lindóia (p)	06/12/84	-	21,0	7,20	-12	123	0,00	51,00	2,00	1,54	nd	11,00	1,20	12,50	2,00	-	35,00	-	81,24	-7,50	-	migmatito
São Jorge - Lindóia	15/12/87	28,0	22,0	5,54	65	48	36,85	58,30	0,45	5,73	0,19	14,25	1,72	2,55	8,04	-	-	-	91,23	-7,18	-50,20	quartzito
Santa Bernadete - Lindóia	09/12/86	23,5	21,0	6,19	47	91	24,20	61,00	0,50	4,52	nd	8,30	4,30	8,00	2,90	nd	42,00	2,02	89,52	-6,80	-	mig.milo.
Vida I - Lindóia (p)	16/12/87	24,0	22,0	6,68	13	148	49,50	108,50	3,06	4,75	1,70	20,36	3,51	4,93	8,04	-	-	7,09	154,85	-7,15	-49,50	migmatito
Vida II - Lindóia (p)	16/12/87	24,5	22,0	6,87	5	132	55,00	93,80	3,06	3,53	0,74	18,83	4,71	3,98	7,07	-	-	3,20	135,72	-6,83	-48,90	migmatito
São Bernardo - Lindóia	10/12/86	25,0	24,0	6,27	43	136	25,30	85,40	0,50	3,15	nd	15,80	2,20	12,40	1,70	nd	61,00	2,04	121,15	-7,40	-	quartzito
São Francisco - Lindóia	10/12/86	25,0	25,0	6,15	48	103	19,80	36,60	0,61	1,27	1,20	6,19	0,00	6,17	1,55	nd	-	-	53,59	-7,40	-	migmatito
Estrada - Lindóia	10/08/88	18,0	18,0	6,60	19	57	59,40	48,70	0,02	0,08	nd	6,62	1,77	3,39	3,65	-	-	-	63,63	-7,04	-45,70	mig.milo.
Balneario FUMEST - Lindóia	04/10/88	31,0	23,0	5,60	66	142	68,20	73,20	4,14	7,36	0,62	13,78	3,78	7,54	1,82	-	-	-	111,74	-7,22	-45,50	migmatito
BR-360 - Lindóia	19/07/88	19,0	19,0	6,05	54	165	68,20	67,10	0,14	nd	0,53	6,62	6,84	3,78	5,12	-	-	-	90,13	-7,62	-51,80	migmatito
N. Sra. das Brotas - Lindóia	03/10/88	31,0	25,0	5,45	82	82	35,20	30,50	nd	0,17	3,48	1,74	0,63	9,43	0,57	nd	33,43	-	46,52	-7,29	-49,32	migmatito
São Luis - Lindóia	31/10/88	31,0	28,0	5,64	74	63	44,00	30,50	nd	nd	5,57	4,63	1,02	4,79	1,28	nd	34,46	-	47,79	-7,27	-50,49	mig.milo.
Pracinha - Lindóia	31/10/88	30,0	20,0	5,44	102	78	50,60	30,50	23,36	2,84	13,18	7,28	1,30	19,92	1,74	1,42	1,56	-	100,12	-6,89	-46,02	migmatito
OBS. : (p) - poço tubular profundo																						

FONTE/POÇO	Data Coleta	HCO ₃ ²⁻ (meq/l)	Cl ⁻ (meq/l)	NO ₃ ⁻ (meq/l)	SO ₄ ²⁻ (meq/l)	Ca ²⁺ (meq/l)	Mg ²⁺ (meq/l)	Na ⁺ (meq/l)	K ⁺ (meq/l)	Somatória Ânions	Somatória Cátions	Diferença Ân.-Cát.	Somatória Ân.+Cát.	Erro (%)
São Roque - A. Lindoia	11/12/86	0,8856	0,0141	0,0135	0,0000	0,7250	0,3552	0,0044	0,0077	0,9132	1,0922	-0,1790	2,0054	- 8,93
Beleza - A. Lindoia	10/04/86	1,1004	0,0085	0,0000	0,0416	0,5465	0,4791	0,0352	0,0525	1,1505	1,1133	0,0372	2,2638	1,64
Madame Curie - A. Lindoia	11/04/86	0,9004	0,0085	0,0069	0,0223	0,3675	0,2800	0,0726	0,0486	0,9380	0,7688	0,1692	1,7068	9,91
Glória - A. Lindoia	11/04/86	0,8503	0,0107	0,0000	0,0248	0,3435	0,2701	0,0735	0,0481	0,8858	0,7352	0,1506	1,6211	9,29
Filomena - A. Lindoia	19/07/88	1,1004	0,0034	0,0000	0,0187	0,5600	0,2552	0,1092	0,0812	1,1225	1,0056	0,1170	2,1281	5,50
Santa Isabel - A. Lindoia (p)	10/12/86	0,8003	0,0141	0,0528	0,0000	0,4400	0,3221	0,0826	0,0640	0,8672	0,9088	-0,0416	1,7760	- 2,34
Lindalia - A. Lindoia (p)	09/08/88	0,8003	0,0747	0,1190	0,0069	0,6360	0,1495	0,2192	0,1810	1,0009	1,1857	-0,1848	2,1866	- 8,45
Prefeitura - A. Lindoia	09/08/88	0,7003	0,0076	0,0333	0,0029	0,2545	0,1396	0,1801	0,1262	0,7441	0,7004	0,0437	1,4445	3,03
Santa Clara - A. Lindoia	10/08/88	0,1000	0,0042	0,0129	0,0017	0,0185	0,0289	0,0070	0,0845	0,1188	0,1389	-0,0200	0,2577	- 7,78
Levíssima I - A. Lindoia	10/08/88	0,1000	0,0034	0,0097	0,0029	0,0185	0,0297	0,0044	0,0812	0,1160	0,1337	-0,0177	0,2497	- 7,10
Levíssima II - A. Lindoia	10/08/88	0,1000	0,0025	0,0116	0,0031	0,0115	0,0256	0,0044	0,0845	0,1173	0,1259	-0,0086	0,2432	- 3,55
Brejal - A. Lindoia	04/10/88	0,6002	0,0056	0,0000	0,0015	0,4505	0,0735	0,0874	0,0609	0,6073	0,6724	-0,0650	1,2797	- 5,08
Sertãozinho - A. Lindoia	04/10/88	0,1000	0,2428	0,6923	0,0000	0,1070	0,1982	0,4937	0,0732	1,0351	0,8722	0,1630	1,9073	8,54
S.A.E.E. - A. Lindoia (p)	06/12/84	0,8364	0,0564	0,0248	0,0000	0,5500	0,0991	0,5438	0,0512	0,9176	1,2441	-0,3265	2,1617	-15,10
São Jorge - Lindoia	15/12/87	0,9561	0,0127	0,0923	0,0040	0,7125	0,1421	0,1109	0,2058	1,0650	1,1713	-0,1063	2,2363	- 4,75
Santa Bernadete - Lindoia	09/12/86	1,0004	0,0141	0,0728	0,0000	0,4150	0,3552	0,3480	0,0742	1,0873	1,1924	-0,1051	2,2797	- 4,61
Vida I - Lindoia (p)	16/12/87	1,7794	0,0863	0,0765	0,0354	1,0180	0,2899	0,2145	0,2058	1,9775	1,7282	0,2493	3,7057	6,73
Vida II - Lindoia (p)	16/12/87	1,5383	0,0863	0,0568	0,0154	0,9415	0,3890	0,1731	0,1810	1,6968	1,6847	0,0122	3,3815	0,36
São Bernardo - Lindoia	10/12/86	1,4006	0,0141	0,0507	0,0000	0,7900	0,1817	0,5394	0,0435	1,4654	1,5546	-0,0893	3,0200	- 2,96
São Francisco - Lindoia	10/12/86	0,6002	0,0172	0,0204	0,0250	0,3095	0,0000	0,2684	0,0397	0,6628	0,6176	0,0453	1,2804	3,54
Estrada - Lindoia	10/08/88	0,7987	0,0006	0,0013	0,0000	0,3310	0,1462	0,1475	0,0934	0,8005	0,7181	0,0824	1,5186	5,43
Balneário FUMEST - Lindoia	04/10/88	1,2005	0,1167	0,1185	0,0000	0,6890	0,2709	0,3280	0,0466	1,4357	1,3345	0,1012	2,7702	3,65
BR - 360 - Lindoia	19/07/88	1,1004	0,0039	0,0000	0,0110	0,3310	0,5650	0,1644	0,1311	1,1154	1,1915	-0,0761	2,3069	- 3,30
N. Sra. Brotas - Lindoia	03/10/88	0,5002	-	0,0027	0,0724	0,0870	0,0520	0,4102	0,0146	-	0,5638	-	-	-
São Luis - Lindoia	31/10/88	0,5002	0,0000	0,0000	0,1159	0,2315	0,0843	0,2084	0,0328	0,6161	0,5569	0,0592	1,1729	5,04
Pracinha - Lindoia	31/10/88	0,5002	0,6588	0,0457	0,2741	0,3640	0,1074	0,8665	0,0445	1,4788	1,3824	0,0964	2,8613	3,37

OBS.: (p) - poço tubular profundo

FONTE/POÇO	Data Coleta	rNa/rCa	rK/rNa	rMg/rCa	rCl/rHCO ₃	rSO ₄ /rCl	rCa/rCl	rMg/rCl	I.T.B.
São Roque - A. Lindoia	11/12/86	0,0060	1,7655	0,4899	0,0159	0,0000	51,4194	25,1901	0,0023
Beleza - A. Lindoia	10/04/86	0,0645	1,4894	0,8766	0,0077	4,9173	64,5981	56,6288	-0,0694
Madame Curie - A. Lindoia	11/04/86	0,1977	0,6696	0,7619	0,0094	2,6307	43,4397	33,0986	-0,1214
Gloria - A. Lindoia	11/04/86	0,2140	0,6547	0,7863	0,0126	2,3098	32,0549	25,2055	-0,1268
Filomena - A. Lindoia	19/07/88	0,1950	0,7433	0,4558	0,0031	5,5319	165,4846	75,4238	-0,1670
Santa Isabel - A. Lindoia (p)	10/12/86	0,1878	0,7743	0,7321	0,0176	0,0000	31,2057	22,8468	-0,1554
Lindalia - A. Lindoia (p)	09/08/88	0,3447	0,8255	0,2351	0,0934	0,0919	8,5106	2,0006	-0,3515
Prefeitura - A. Lindoia	09/08/88	0,7076	0,7008	0,5485	0,0109	0,3815	33,4253	18,3339	-0,4055
Santa Clara - A. Lindoia	10/08/88	0,3762	12,1379	1,5627	0,0423	0,3934	4,3735	6,8345	-0,7611
Levissima I - A. Lindoia	10/08/88	0,2351	18,6556	1,6074	0,0338	0,8605	5,4669	8,7872	-0,7292
Levissima II - A. Lindoia	10/08/88	0,3783	19,4207	2,2266	0,0254	1,2993	4,5311	10,0890	-0,7520
Brejal - A. Lindoia	04/10/88	0,1941	0,6968	0,1632	0,0094	0,2582	79,8759	13,0344	-0,2372
Sertãozinho - A. Lindoia	04/10/88	4,6143	0,1483	1,8527	2,4270	0,0000	0,4407	0,8165	-0,4091
S.A.E.E. - A. Lindoia (p)	06/12/84	0,9886	0,0942	0,1802	0,0674	0,0000	9,7518	1,7574	-0,6254
São Jorge - Lindoia	15/12/87	0,1557	1,8555	0,1994	0,0133	0,3114	56,1466	11,1956	-0,2889
Santa Bernadete - Lindoia	09/12/86	0,8386	0,2133	0,8559	0,0141	0,0000	29,4326	25,1901	-0,3803
Vida I - Lindoia (p)	16/12/87	0,2107	0,9598	0,2848	0,0485	0,4098	11,7972	3,3598	-0,1766
Vida II - Lindoia (p)	16/12/87	0,1839	1,0454	0,4132	0,0561	0,1784	10,9106	4,5085	-0,1663
São Bernardo - Lindoia	10/12/86	0,6828	0,0807	0,2300	0,0101	0,0000	56,0284	12,8879	-0,3919
São Francisco - Lindoia	10/12/86	0,8672	0,1478	0,0000	0,0287	1,4510	17,9921	0,0000	-0,4505
Estrada - Lindoia	10/08/88	0,4455	0,6336	0,4417	0,0007	0,0000	586,8794	259,2234	-0,3004
Balneário FUMEST - Lindoia (p)	04/10/88	0,4760	0,1421	0,3932	0,0973	0,0000	5,9016	2,3206	-0,1955
BR-360 - Lindoia	19/07/88	0,4968	0,7971	1,7069	0,0036	2,7923	83,8399	143,1064	-0,2623
N.Sra.Brotas - Lindoia	03/10/88	4,7150	0,0356	0,5981	-	-	-	-	-
São Luis - Lindoia	31/10/88	0,9001	0,1573	0,3639	0,0000	-	-	-	-0,3914
Pracinha - Lindoia	31/10/88	2,3805	0,0514	0,2950	1,3170	0,4162	0,5526	0,1630	-0,3077

OBS. : (p) - poço tubular profundo

**ANEXO 04. ANÁLISES QUÍMICAS E ISOTÓPICAS DOS PONTOS MONITORADOS
NA ÁREA DE ESTUDO**

CHUVA - DADOS DE MONITORAÇÃO

Data Coleta	Cond. (uS/cm)	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)
05/02/87	-	nd	0,49	nd	0,17	0,05	0,04	0,07
01/04/87	-	nd	0,20	0,47	0,45	0,13	0,11	0,21
10/07/87	7	0,18	0,56	0,73	0,80	0,10	0,02	0,06
07/08/87	27	0,60	3,00	2,76	1,84	0,33	0,23	0,31
14/08/87	26	0,56	3,31	2,95	1,78	0,31	0,23	0,33
08/09/87	20	0,29	3,15	1,42	1,09	0,25	0,05	0,34
18/09/87	18	0,18	0,90	0,43	0,34	0,08	0,05	0,31
22/09/87	14	nd	2,08	1,27	0,25	0,05	0,01	0,23
22/10/87	16	0,63	2,61	1,55	1,17	0,18	0,01	0,38
04/12/87	21	0,53	0,38	0,24	1,64	0,29	0,11	0,39
11/12/87	19	0,55	2,70	4,14	1,75	0,30	0,06	0,43
15/12/87	4	nd	0,25	0,63	0,25	0,04	0,01	0,15
04/03/88	4	nd	0,12	0,45	0,20	0,05	0,04	0,06
27/04/88	3	0,15	0,49	0,58	0,25	0,03	0,05	0,06
06/05/88	3	nd	0,55	nd	0,04	nd	0,01	0,04
13/05/88	6	nd	0,13	0,35	0,20	0,02	0,01	0,09
20/05/88	6	nd	0,19	0,35	0,17	0,02	0,07	0,10
27/05/88	11	nd	nd	1,05	0,91	0,13	0,01	0,24
03/06/88	10	nd	nd	1,15	0,89	0,13	0,01	0,21
07/06/88	8	nd	nd	0,90	0,71	0,10	0,01	0,13
11/06/88	13	0,20	0,13	1,13	1,41	0,18	0,18	0,40
18/06/88	51	2,84	1,28	7,05	2,86	0,53	0,45	0,44
25/06/88	31	1,18	0,43	0,29	3,53	0,56	0,60	0,44

* até 19/07/88 não choveu o suficiente para a amostragem

CHUVA - DADOS ISOTÓPICOS

Data Coleta	Oxigênio-18 ($^{\circ}/\text{oo}$ SMOW)	Deutério ($^{\circ}/\text{oo}$ SMOW)
05/02/87	-4,35	-37,70
01/04/87	-3,82	-35,30
04/04/87	-9,50	-
12/04/87	-2,10	-
18/04/87	-4,90	-
25/04/87	-10,00	-
03/05/87	-11,00	-
09/05/87	-3,50	-
17/05/87	-4,00	-
31/05/87	-4,10	-
07/06/87	-5,26	-28,00
17/06/87	-5,90	-
10/07/87	-5,23	-23,00
07/08/87	-1,93	-1,10
14/08/87	-1,70	0,10
08/09/87	-0,79	9,20
18/09/87	-0,36	9,40
22/09/87	-1,89	1,00
22/10/87	-1,45	1,70
04/12/87	-2,68	-9,70
11/12/87	-2,51	-12,50
15/12/87	-9,48	-58,70
04/03/88	-10,62	-69,50
27/04/88	-8,08	-52,70
06/05/88	-4,79	-18,50
13/05/88	-5,81	-35,10
20/05/88	-5,66	-27,10
27/05/88	-5,06	-23,50
03/06/88	-5,03	-31,62
07/06/88	-5,26	-28,00
11/06/88	-2,15	1,70
25/06/88	-0,65	4,10

FILOMENA - RESULTADOS DA MONITORAÇÃO

DATA COLETA	Tar °C	Água °C	pH	Eh mV	Cond. uS/cm	CO ₂ livre	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	STD mg/l	D ¹⁸ O ‰/‰SMOW	D ² H ‰/‰SMOW
11/04/86	24.50	26.00	7.79	-20	134	8.8	67.10	0.43	nd	2.00	9.98	4.91	0.93	2.14	87.49	-8.10	-
11/12/86	28.00	26.00	7.47	-24	157	3.3	85.40	0.50	0.75	nd	18.20	2.70	1.50	3.40	112.45	-8.00	-
26/06/87	-	-	-	-	89	-	-	0.15	0.90	1.19	14.25	3.51	4.75	13.91	-	-8.07	-
03/07/87	-	-	-	-	109	-	-	0.30	0.94	1.31	18.83	5.39	6.71	12.93	-	-7.94	-
10/07/87	-	-	-	-	108	-	-	0.14	0.87	1.23	17.31	4.54	5.78	15.86	-	-7.93	-
17/07/87	-	-	-	-	106	-	-	0.16	0.91	1.31	14.25	3.68	2.69	8.05	-	-7.44	-
07/08/87	-	-	-	-	118	-	-	0.13	0.85	1.38	20.36	5.90	7.31	22.20	-	-7.94	-
14/08/87	-	-	-	-	110	-	-	0.16	0.89	1.20	17.31	5.39	4.65	14.39	-	-7.96	-
07/09/87	-	-	-	-	109	-	-	0.15	0.82	1.17	11.20	3.68	3.98	9.02	-	-8.07	-
17/09/87	28.00	27.00	7.11	-12	108	6.6	91.50	0.62	1.66	1.56	17.31	4.27	8.53	15.86	141.31	-7.59	-
18/09/87	-	-	-	-	112	-	-	0.14	0.82	1.25	21.89	5.48	8.45	30.50	-	-8.10	-
20/09/87	-	-	-	-	111	-	-	0.13	0.82	1.21	20.36	7.44	8.45	20.74	-	-8.17	-
22/10/87	26.50	26.00	7.38	-31	118	15.4	97.60	0.11	0.85	1.21	15.78	4.96	8.83	21.23	150.57	-8.04	-
04/12/87	-	-	-	-	116	-	-	0.27	1.00	1.85	14.25	3.09	7.29	16.83	-	-8.20	-
11/12/87	-	-	-	-	113	-	-	0.26	1.01	1.84	10.20	3.17	3.51	12.44	-	-8.00	-
15/12/87	25.00	26.00	7.77	-38	125	15.4	89.22	0.34	0.90	1.90	15.78	6.33	4.25	8.04	126.76	-7.42	-51.30
27/01/88	33.00	27.00	6.63	17	124	8.3	91.05	0.27	0.91	1.80	17.31	4.96	2.62	11.46	130.38	-8.06	-
04/03/88	26.00	27.00	6.26	58	115	5.5	92.87	0.21	1.18	2.06	18.83	5.99	4.03	15.86	141.03	-8.17	-
27/04/88	31.00	27.00	6.77	18	112	6.6	79.30	0.17	0.88	1.49	10.20	3.84	3.51	10.00	109.39	-8.20	-
07/06/88	27.00	26.50	7.08	-8	116	6.6	79.30	0.14	0.55	1.05	15.78	4.45	4.01	10.98	116.26	-8.15	-
11/06/88	-	-	-	-	107	-	-	0.12	0.01	0.92	10.20	3.68	4.31	8.04	-	-8.09	-
18/06/88	-	-	-	-	105	-	-	0.14	nd	0.93	15.78	4.54	4.82	16.35	-	-8.05	-
25/06/88	-	-	-	-	109	-	-	0.12	nd	1.04	9.67	3.43	3.48	4.63	-	-8.17	-
19/07/88	22.50	27.00	7.08	-4	107	4.4	67.10	0.12	0.02	0.90	11.20	3.09	2.51	3.17	88.11	-7.95	-51.00
22/07/88	-	-	-	-	114	-	-	0.14	0.05	0.96	6.62	2.66	4.93	5.12	-	-8.00	-50.70
29/07/88	-	-	-	-	116	-	-	0.18	nd	1.05	14.25	4.54	3.78	13.42	-	-8.26	-
05/08/88	-	-	-	-	114	-	-	0.17	nd	1.04	18.83	6.50	2.62	14.88	-	-	-
09/08/88	28.00	27.00	8.21	-77	116	16.5	79.30	0.21	0.29	0.94	12.72	3.68	3.39	6.58	107.11	-8.25	-
26/08/88	-	-	-	-	112	-	-	0.12	nd	0.91	17.31	5.40	3.98	12.44	-	-8.08	-
02/09/88	-	-	-	-	114	-	-	0.12	nd	0.97	14.25	4.45	2.62	11.95	-	-	-
09/09/88	-	-	-	-	111	-	-	0.12	nd	1.05	24.94	8.89	3.51	16.83	-	-	-
16/09/88	-	-	-	-	110	-	-	0.12	0.04	0.88	15.78	3.86	3.39	6.10	-	-8.07	-
04/10/88	31.00	28.00	7.25	-16	111	3.3	73.20	nd	0.14	nd	11.65	4.92	1.19	2.65	93.75	-8.25	-

BALNEÁRIO LINDÓIA = RESULTADOS DA MONITORAÇÃO

DATA COLETA	Tar °C	Água °C	pH	Eh mV	Cond. US/cm	CO ₂ livre	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	D ¹⁸ O ‰/SMOW	D ² H ‰/SMOW
10/12/86	25.00	23.00	6.00	55	164	31.9	91.50	4.57	10.29	1.34	13.60	5.40	8.40	3.80	-7.20	-
01/04/87	-	-	5.85	59	145	62.7	85.40	5.18	12.29	1.30	14.25	4.79	4.53	9.51	-7.40	-
27/06/87	-	-	-	-	163	-	-	5.66	12.96	0.94	16.31	6.24	3.75	9.51	-7.00	-
04/07/87	-	-	-	-	151	-	-	5.38	12.64	1.07	8.14	2.24	3.65	8.05	-6.62	-
12/07/87	-	-	-	-	145	-	-	5.48	13.00	0.98	5.09	1.04	3.51	5.12	-7.25	-
21/07/87	-	-	-	-	143	-	-	5.78	13.73	1.08	3.56	1.13	3.75	5.61	-7.31	-
25/07/87	-	-	-	-	154	-	-	6.12	14.18	1.07	5.09	2.15	3.51	5.12	-6.95	-
01/08/87	-	-	-	-	146	-	-	6.03	14.41	0.84	8.14	3.51	3.89	5.12	-7.15	-
08/08/87	-	-	-	-	146	-	-	5.04	11.17	1.26	9.67	4.03	4.49	7.07	-7.25	-
18/08/87	-	-	-	-	69	-	-	6.31	15.80	2.24	9.67	nd	2.62	6.10	-7.18	-
22/08/87	-	-	-	-	128	-	-	4.73	10.62	1.14	9.67	nd	4.03	11.46	-7.24	-
30/08/87	-	-	-	-	150	-	-	5.66	11.03	1.15	3.56	1.30	3.51	6.10	-6.94	-
09/09/87	-	-	-	-	143	-	-	5.30	9.52	1.01	9.67	3.60	3.90	7.07	-6.36	-
13/09/87	-	-	-	-	142	-	-	5.45	10.00	1.04	12.72	5.56	4.31	9.51	-6.29	-
17/09/87	23.00	22.00	5.49	86	137	70.4	65.70	5.47	9.31	1.02	9.67	4.03	4.31	9.02	-6.65	-
19/09/87	-	-	-	-	153	-	-	5.40	10.62	1.15	11.20	4.62	4.25	10.49	-6.58	-
27/09/87	-	-	-	-	151	-	-	5.21	10.07	1.10	8.14	3.77	3.94	10.98	-6.98	-
04/10/87	-	-	-	-	156	-	-	6.46	12.41	1.10	9.67	3.94	4.18	6.10	-7.13	-
10/10/87	-	-	-	-	155	-	-	5.03	10.62	1.25	32.07	7.16	3.88	11.64	-7.21	-
22/10/87	33.00	22.50	5.91	56	159	68.2	91.50	5.73	12.48	1.04	18.32	8.38	5.53	12.52	-7.31	-
27/10/87	-	-	-	-	140	-	-	6.70	12.25	0.98	11.20	1.30	3.48	7.07	-7.24	-
03/11/87	-	-	-	-	143	-	-	4.99	9.18	0.73	9.67	2.92	3.89	6.10	-6.91	-
10/11/87	-	-	-	-	162	-	-	5.01	8.73	0.84	19.70	5.54	3.54	10.31	-7.15	-
17/11/87	-	-	-	-	137	-	-	4.90	9.36	0.80	22.45	5.39	3.92	9.00	-7.24	-
24/11/87	-	-	-	-	134	-	-	4.92	8.95	0.89	9.67	3.60	4.12	7.07	-7.21	-
01/12/87	-	-	-	-	134	-	-	4.93	9.18	0.80	9.67	3.51	3.65	6.10	-	-
08/12/87	-	-	-	-	134	-	-	4.95	9.91	0.81	6.62	3.68	3.80	4.14	-7.26	-
15/12/87	28.00	23.00	5.49	71	148	70.4	69.19	2.98	7.93	0.85	12.72	5.99	4.45	8.04	-7.17	-
27/01/88	33.00	23.00	5.35	85	124	73.7	84.67	5.91	12.81	1.02	18.32	8.53	3.51	6.36	-7.26	-
09/02/88	-	-	-	-	134	-	-	3.83	11.32	0.95	3.65	3.38	4.12	5.61	-7.10	-
16/02/88	-	-	-	-	140	-	-	4.39	12.68	0.97	6.62	3.60	4.03	6.10	-7.23	-
23/02/88	-	-	-	-	117	-	-	2.92	8.88	0.91	6.62	2.24	3.75	6.10	-7.42	-
04/03/88	27.00	22.00	5.96	64	145	72.6	95.37	4.26	12.10	0.99	14.25	5.48	4.45	10.49	-7.29	-
08/03/88	-	-	-	-	163	-	-	3.07	10.25	1.12	11.20	3.26	4.12	8.05	-7.29	-
15/03/88	-	-	-	-	155	-	-	3.42	10.95	1.23	8.14	3.77	4.59	6.58	-7.24	-
22/03/88	-	-	-	-	150	-	-	3.40	10.49	1.21	14.25	5.56	4.25	10.00	-7.29	-
29/03/88	-	-	-	-	163	-	-	3.21	10.53	1.17	11.20	3.34	4.01	5.61	-7.03	-
06/04/88	-	-	-	-	158	-	-	3.27	10.74	1.06	12.72	4.62	4.10	9.02	-7.31	-
18/04/88	-	-	-	-	160	-	-	3.12	10.91	1.10	6.62	3.26	4.10	9.02	-7.33	-
27/04/88	31.00	22.00	5.71	87	143	73.7	82.25	3.02	11.02	1.03	14.25	5.56	4.52	7.07	-7.21	-
01/05/88	-	-	-	-	161	-	-	5.00	7.46	0.84	18.83	9.30	4.78	11.46	-7.16	-
08/05/88	-	-	-	-	156	-	-	4.72	7.11	0.63	9.67	3.77	3.81	6.10	-7.11	-
15/05/88	-	-	-	-	145	-	-	4.62	6.32	0.75	15.78	5.99	4.31	8.05	-7.23	-
22/05/88	-	-	-	-	156	-	-	4.81	7.57	0.68	9.67	3.51	4.25	3.65	-7.38	-
29/05/88	-	-	-	-	145	-	-	5.19	8.73	0.69	8.11	3.68	3.93	3.65	-7.28	-
05/06/88	-	-	-	-	156	-	-	4.67	6.34	0.76	6.62	3.60	3.98	3.65	-7.25	-
12/06/88	28.00	21.50	5.78	64	138	80.3	73.20	4.90	7.55	0.75	12.72	3.77	4.25	5.12	-7.36	-
19/06/88	-	-	-	-	144	-	-	5.15	9.80	0.76	8.14	3.94	4.03	3.65	-7.22	-
28/06/88	-	-	-	-	137	-	-	5.00	7.82	0.75	8.14	3.77	4.31	7.07	-7.30	-
03/07/88	-	-	-	-	125	-	-	5.10	8.36	0.65	6.62	3.60	4.03	4.63	-	-
10/07/88	-	-	-	-	130	-	-	4.94	7.55	0.63	5.10	3.51	4.10	4.63	-	-
17/07/88	-	-	-	-	134	-	-	4.92	8.00	0.65	9.67	5.73	4.19	6.10	-	-
19/07/88	23.00	22.00	5.52	76	137	68.2	85.40	4.97	7.86	0.58	21.07	5.62	3.95	8.12	-7.17	-
26/07/88	-	-	-	-	162	-	-	5.13	9.39	0.77	5.10	3.86	4.25	5.61	-7.28	-
31/07/88	-	-	-	-	159	-	-	5.10	8.36	0.65	3.56	3.60	4.03	5.61	-7.15	-
09/08/88	27.00	22.00	5.86	59	148	71.5	73.20	4.89	8.52	0.72	11.20	5.99	3.75	6.10	-7.20	-
14/08/88	-	-	-	-	72	-	-	5.33	9.36	0.55	3.56	2.15	3.51	5.12	-	-
21/08/88	-	-	-	-	140	-	-	5.07	9.24	0.67	3.56	5.13	3.90	7.07	-	-
28/08/88	-	-	-	-	146	-	-	4.94	8.67	0.60	9.67	5.90	4.78	8.54	-	-
04/09/88	-	-	-	-	158	-	-	4.89	8.40	0.67	6.62	3.60	4.39	5.12	-7.15	-
11/09/88	-	-	-	-	148	-	-	4.96	8.36	0.74	8.14	7.10	4.75	10.00	-	-
04/10/88	31.00	23.00	5.60	66	142	68.2	73.20	4.14	7.36	0.62	13.78	3.28	7.54	1.82	-7.22	- 47.50

RC	FC	SFB	BF	PA
BR	AT	SI	PR	RB
RG	G	V	I	J
SP	TO	PP	FV	RT
VS	DS	NS	A	L

ANEXO IV
MAPA DE PONTOS (1:25000)

- LEGENDA
- Afloramento decorado
 - Pico de prospeção de basalto
 - Afloramentos com as descrições compiladas
 - Afloramento com descrição de lâmina compilada
 - Localização dos filões T
 - Sinalagem rotativa

0 1250m
1:25.000