UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO DA ANOMALIA DE CROMO NAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO NOROESTE DO
ESTADO DE SÃO PAULO**

Marta Lúcia Nunes Almodovar

Orientador: Prof. Dr. Alberto Pacheco

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	nome	ass.
Presidente:	<u>Alberto Pacheco</u>	<u>Alberto Pacheco</u>
Examinadores:	<u>CARLOS CELSO DO A. E SILVA</u>	<u>C. A. L. Silva</u>
	<u>ANN KAREN AURELIA</u>	<u>Alimma efmauer</u>
	<u>WIMMERMAN E SILVA</u>	

São Paulo
1995

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005946

**ESTUDO DA ANOMALIA DE CROMO NAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO NOROESTE DO
ESTADO DE SÃO PAULO**

Marta Lúcia Nunes Almodovar

Orientador: Prof. Dr. Alberto Pacheco

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

**São Paulo
1995**

SUMÁRIO

ANEXOS

FIGURAS

GRÁFICOS

TABELAS

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO

1.1.Generalidades	1
1.2.Objetivos	2

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1.Localização e vias de acesso	3
2.2.Aspectos fisioclimatológicos	3
2.3.Geologia	4
2.3.1.Grupo Bauru	4
2.3.2.Formação Serra Geral	8
2.4.Hidrogeologia	10
2.4.1.Sistema Aquífero Bauru	10
2.4.2.Sistema Aquífero Serra Geral	12

3.GEOQUÍMICA DO CROMO:UMA SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA

3.1.Histórico	13
3.2.Propriedades físicas e químicas	14
3.3.Produção industrial e uso	15

3.4.Ocorrência na natureza	16
3.4.1.Nos sistemas vivos	17
3.4.2.Nas rochas e solos	19
3.4.3.Nas águas	21
3.5.Fontes de poluição	25
3.6.Aspectos de legislação	27

4. METODOLOGIA

4.1.Caracterização da ocorrência de cromo nas águas subterrâneas do noroeste do Estado de São Paulo	28
4.1.1.Cromo total	28
4.1.2.Cromo hexavalente	29
4.1.3.Cromo total, hexavalente e nitrogênio nitrato nas águas subterrâneas de Urânia	30
4.1.4.Cromo total e hexavalente em poços selecionados de Urânia e Santa Salete	30
4.1.5.Cromo total em poços perfurados apenas no Grupo Bauru ou em poços com entradas de água apenas na Formação Serra Geral	33
4.2.Cadastramento de poços tubulares	33
4.3.Avaliação geoquímica das águas, sedimentos e rochas basálticas de Urânia-S.P	34
4.3.1.Análises de águas	34
4.3.2.Análise dos sedimentos de Urânia e do poço 9	35
4.3.3.Análise dos basaltos do poço 9	36
4.4.Levantamento sobre eventuais problemas de saúde da população abastecida por águas subterrâneas com teores de cromo acima do limite de potabilidade	37

5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

5.1.Caracterização da ocorrência de cromo nas águas subterrâneas do noroeste do Estado de São Paulo	38
5.1.1.Cromo total	38
5.1.2.Cromo hexavalente	41
5.1.3.Cromo total, hexavalente e nitrogênio nitrato nas águas subterrâneas de Urânia	44
5.1.4. Cromo total e hexavalente em poços selecionados de Urânia e Santa Salete	53
5.1.5. Cromo total em poços perfurados apenas no Grupo Bauru ou em poços com entradas de água apenas na Formação Serra Geral	56
5.2.Avaliação geoquímica das águas, sedimentos e rochas basálticas de Urânia-S.P	58
5.2.1.Análises de águas	58
5.2.2.Análise dos sedimentos de Urânia e do poço 9	62
5.2.3.Análise dos basaltos do poço 9	64
5.3.Levantamento sobre eventuais problemas de saúde da população abastecida por águas subterrâneas com teores de cromo acima do limite de potabilidade	67
6.SÍNTESE DOS RESULTADOS	68
7.CONCLUSÕES	71
8.RECOMENDAÇÕES	73
9.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

ANEXOS

Anexo 01: Cadastro de poços tubulares da região noroeste do Estado de São Paulo	82
Anexo 02: Análises das águas subterrâneas feitas pela SABESP em 54 localidades da região noroeste do Estado de São Paulo	94
Anexo 03: Descrição sucinta das 11 amostras de basaltos do poço 9 em Urânia, a diferentes profundidades	100

FIGURAS

Figura 01: Área de localização da pesquisa	5
Figura 02: Mapa de distribuição de Grupo Bauru no Estado de São Paulo	9
Figura 03: Diagrama da especiação do cromo em relação ao pH e Eh	23
Figura 04: Região Noroeste do Estado de São Paulo com as concentrações de cromo total e hexavalente nas águas subterrâneas	39
Figura 05: Esboço do perfil geológico do poço 9 em Urânia	59
Figura 06: Localização de poços tubulares e de pontos de amostragem de sedimentos na sede do município de Urânia	60

GRÁFICOS

Gráfico 1A: Variação dos teores de cromo hexavalente (mg/l) com o pH	43
Gráfico 1B: Variação dos teores de cromo hexavalente (mg/l)	

com a condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	43
Gráfico 1C: Variação dos teores de cromo hexavalente (mg/l) com os sólidos totais dissolvidos	44
Gráfico 2A: Concentrações de cromo total (mg/l) com a data de coleta do poço 1 em Urânia	47
Gráfico 2B: Concentrações de cromo total, hexavalente e nitrato com a data de coleta do poço 1 em Urânia	47
Gráfico 3A: Concentrações de cromo total (mg/l) com a data de coleta do poço 2 em Urânia	48
Gráfico 3B: Concentrações de cromo total, hexavalente e nitrato com a data de coleta do poço 2 em Urânia	48
Gráfico 4A: Concentrações de cromo total (mg/l) com a data de coleta do poço 3 em Urânia	49
Gráfico 4B: Concentrações de cromo total, hexavalente e nitrato com a data de coleta do poço 3 em Urânia	49
Gráfico 5A: Concentrações de cromo total (mg/l) com a data de coleta do poço 4 em Urânia	50
Gráfico 5B: Concentrações de cromo total, hexavalente e nitrato com a data de coleta do poço 4 em Urânia	50
Gráfico 6A: Concentrações de cromo total (mg/l) com a data de coleta do poço 5 em Urânia	51
Gráfico 6B: Concentrações de cromo total, hexavalente e nitrato com a data de coleta do poço 5 em Urânia	51
Gráfico 7A: Concentrações de cromo total (mg/l) com a data de coleta do poço 6 em Urânia	52
Gráfico 7B: Concentrações de cromo total, hexavalente e nitrato com a data de coleta do poço 6 em Urânia	52
Gráfico 8A: Variação dos teores de cromo total (mg/l) nos poços de	

Urânia e Santa Salete com o tempo	55
Gráfico 8B: Variação dos teores de cromo hexavalente (mg/l) nos poços de Urânia e Santa Salete com o tempo	55

TABELAS

Tabela 01: Características numéricas do cromo	14
Tabela 02: Concentrações de cromo (ppm) encontradas em rochas ígneas e sedimentares	20
Tabela 03: Resultados das análises físico-químicas das águas subterrâneas das 12 localidades do noroeste paulista	42
Tabela 04: Parâmetros analisados nas coletas de água dos poços de Urânia e Santa Salete	54
Tabela 05: Concentrações de cromo total (mg/l) em poços perfurados apenas no Grupo Bauru e poços com entradas de água apenas na Formação Serra Geral	57
Tabela 06: Resultados das análises físico-químicas de águas subterrâneas do poço 9, em três profundidades	61
Tabela 07: Resultados das análises de parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas dos poços da Fazenda Jatobá e Posto Garção	62
Tabela 08: Concentrações (ppm) de alguns elementos analisados nos sedimentos do poço 9 em Urânia	63
Tabela 9: Abundância média dos elementos em folhelhos (ppm)	63
Tabela 10: Concentrações (ppm) de alguns elementos analisados nos basaltos do poço 9 em Urânia	66
Tabela 11: Abundância média dos elementos em basaltos (ppm)	66

AGRADECIMENTOS

A realização desta pesquisa foi possível graças ao apoio de várias pessoas e instituições, as quais deixo registrado os meus agradecimentos.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc/USP), em particular ao Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada (DGE) e ao Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS), por permitir a utilização de sua infra-estrutura.

Ao meu orientador Professor Doutor Alberto Pacheco.

Aos Professores Doutores do DGE, Uriel Duarte, Annkarin Aurélia Kimmelman, José Milton Benetti Mendes e Raphael Hypólito, pelas sugestões e correções.

Ao Professor Doutor Valdecir de A. Janasi, do Departamento de Mineralogia e Petrologia (DMP-IGc/USP), pelo acompanhamento, discussões e correções nos estudos geoquímicos.

Ao Professor Doutor Wilson Teixeira do Departamento de Geologia Geral (DGG-IGc/USP), por facilitar a utilização do Laboratório do CPGEO.

À Professora Doutora Mária Szikszay, do IGc/USP, por sua valiosa contribuição.

À bibliotecária do IGc/USP, Maristela Prestes Severino, pelas correções bibliográficas.

À Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), por todo apoio durante a realização da pesquisa, em especial a:

- Maurício Souto Mayor Júnior, Roberto Ferreira, João Carlos Simanke de Souza, Antonio Jorge Sápio (SABESP-São Paulo);
- Edmilson A. Granello e Paulinho (SABESP-Fernandópolis);
- Sérgio Donizete Giovanini (SABESP-Urânia);
- Antônio Dirceu Pigato Azevedo (SABESP-Lins).

À Secretaria de Estado da Saúde por sua colaboração, em especial a Denise M. E. Formaggia, Maria Adelaide Perrone e Arnaldo M. Elmec.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado que recebi durante o programa de pós-graduação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo auxílio financeiro para esta pesquisa, através do processo número 94/1995-3.

Aos amigos:

- Ricardo C. A. Hirata, que muito batalhou para que esta pesquisa se concretizasse. Pelo apoio, incentivo, sugestões, discussões e até por fazer aquelas “perguntas chatas”;
- Itabaraci N. Cavalcante, por todas as informações que me passou desde que ingressei na pós-graduação, pelas correções do texto, sugestões e pela dedicação com que realizou a leitura;
- Oscar Bordon, que perdeu suas horas de sono e Sandra M. D. Moraes, que descobriu o detalhe final e muito me ajudaram na confecção dos gráficos da dissertação. Pela convivência e por me incentivar naqueles dias difíceis.
- Alous Spaanderman pela importante ajuda.

E ao Zé Galinha, que transformou aqueles “dias de cão” em horas amenas.

RESUMO

A ocorrência de cromo nas águas subterrâneas da região noroeste do Estado de São Paulo tem se configurado como uma grande preocupação, uma vez que as cidades possuem no recurso hídrico subterrâneo a única fonte de água para suprir suas necessidades. O sistema aquífero Bauru atende a uma ampla demanda de água, desde núcleos urbanos de pequeno porte e indústrias, até propriedades rurais que necessitam de água para irrigação.

Esta pesquisa objetiva caracterizar a extensão espacial da anomalia de cromo nas águas subterrâneas da região noroeste paulista; desenvolver um estudo geoquímico das águas, sedimentos e rochas da cidade de Urânia; definir a relação saúde pública e a presença de cromo nas águas subterrâneas utilizadas para abastecimento público.

Inicialmente, a anomalia de cromo foi detectada em poços tubulares e cacimbas do município de Urânia, região de Jales, sendo que em alguns locais, a presença deste elemento supera o valor máximo permissível em águas para consumo humano, que é de 0,05mg/l (Decreto Estadual 12.486, de 20-10-78 e Portaria 36, do Ministério da Saúde, de 19-01-90).

Com as análises químicas de águas subterrâneas de 54 localidades no período de 1977 a 1993, executadas pela Companhia Estadual de Saneamento Básico (SABESP), sabe-se hoje em dia, que esta anomalia estende-se a outros municípios da região noroeste do Estado.

Estudos geoquímicos dos sedimentos da Formação Adamantina e rochas basálticas da Formação Serra Geral da cidade de Urânia, mostraram que enquanto as concentrações de cromo nos primeiros estão acima da média encontrada em sedimentos similares da crosta terrestre, nas rochas basálticas, as concentrações estão abaixo da média dos basaltos da crosta.

Um levantamento sobre a saúde da população de Urânia mostrou que não foi realizado nenhum estudo na região que comprovasse doenças causadas pela

ingestão de água contendo cromo acima do limite de potabilidade.

Através da integração dos dados e do estudo sistemático dos teores de cromo nas águas, sedimentos e rochas, chegou-se as seguintes conclusões:

- a anomalia de cromo estende-se além da cidade de Urânia, a outros municípios e distritos do noroeste paulista;
- a distribuição das concentrações de cromo é irregular, tanto temporal quanto espacialmente;
- a origem do cromo é discutível, apesar de fortes evidências de ser natural (a anomalia estar distribuída por uma ampla região, de serem encontradas altas concentrações de cromo nos sedimentos), são necessários estudos mais aprofundados;
- não se tem conclusões relevantes se a anomalia de cromo causa problemas à saúde da população abastecida por estas águas.

ABSTRACT

The existence of chromium in groundwater is subject to great concern in the northwestern region of São Paulo State, where cities depend on the underground water resources for their only source of water to supply its needs. The aquifer system of Bauru attends with an ample demand of water the small urban centers and industries, and rural properties which need water for irrigation.

This research aims to characterize the spatial extension of the chromium anomaly in groundwater in the northwestern region of São Paulo State; to develop a geochemical study of water, sediments and rocks in the city of Urânia; and to define the relation between public health and the presence of chromium in groundwater for public consumption.

Initially, the chromium anomaly was discovered in shaft wells and waterholes in the Urânia municipality, Jales Region, that is to say, in some places the presence of this element exceeded the allowed maximum value in water for human consumption, which is 0.05 mg/l (State Decree 12.486, of 20-10-78 and Edict 36, of the Ministry of Health).

With the chemical analysis of groundwater taken at 54 locations during 1977-1993, executed by the State Company of Basic Sanitation (SABESP), we know today that this anomaly extends to other municipalities in the northwestern region of São Paulo State.

Geochemical studies in Urânia city of sediments of the Adamantina Formation and of the basaltic rocks of the Serra Geral Formation, show that the concentrations of chromium in the first formation are above the average found in similar sediments of the earth's crust, and the concentrations in the basaltic rocks are lower than the average in basaltic crust.

A survey to the health of the population in Urânia showed that no research was carried out in the region that would prove illness caused by the intake of water containing chromium rates above the limit for drinkability.

Through the combination of data and the systematic study of chromium levels in water, sediments and rocks, the following conclusions were drawn:

- the chromium anomaly is not only present in the city of Urânia, but also in other municipalities and districts in the northwest of São Paulo State;
- the distribution of chromium concentrations is irregular, both in time and space;
- the origin of the chromium is subject to discussion, despite strong evidence that it is natural (the anomaly is distributed in a wide region, high chromium concentrations are found in the sediments), however, more in-depth studies are necessary;
- no relevant conclusions can be drawn about the problems caused by the chromium anomaly to the health of the population served by this water.

1.INTRODUÇÃO

1.1.GENERALIDADES

A presença da anomalia de cromo nas águas subterrâneas da região noroeste do Estado de São Paulo tem sido verificada desde 1977. Inicialmente, foi constatada em águas provenientes de poços profundos e cacimbas no município de Urânia, região de Jales. Posteriormente, foi detectado que esta anomalia extendia-se a outros municípios do noroeste paulista.

As concentrações de cromo são variáveis em cada município e em alguns locais ultrapassam os limites máximos permitidos em águas para o consumo humano, cujo valor é 0,05 mg/l (Decreto Estadual 12.486 de 20-10-78 e Portaria 36, do Ministério da Saúde, de 19-01-90).

As cidades paulistas da região onde ocorre a anomalia de cromo têm no recurso hídrico subterrâneo a única fonte capaz de suprir suas necessidades. Como as águas são usadas para consumo humano, há uma grande preocupação, uma vez que a alta concentração de cromo é um potencial de risco à saúde pública. A toxicidade do cromo depende de seu estado de oxidação, que pode ser Cr^{3+} (trivalente) ou Cr^{6+} (hexavalente), sendo o primeiro menos tóxico do que o segundo, que pode causar tumores malignos, como câncer no pulmão.

Esta pesquisa foi desenvolvida na região noroeste paulista, onde foi constatada a anomalia do cromo. Ela é parte de um projeto onde estiveram envolvidos, como órgãos de apoio, a Secretaria do Meio Ambiente através do Instituto Geológico, a Companhia Estadual de Saneamento Básico (SABESP) através da Diretoria de Projetos do Interior, a Secretaria de Estado da Saúde, através do Centro de Vigilância Sanitária (CVS) do CEATOX e Centro de Vigilância Epidemiológica (CVE) e o Instituto Adolfo Lutz.

Desta forma, justifica-se o estudo desenvolvido, pois além da preocupação com a qualidade das águas subterrâneas e a saúde pública, esta pesquisa é de interesse acadêmico, uma vez que em um trabalho preliminar feito pelo Instituto Geológico, aventuou-se a hipótese de que a origem do cromo é natural, fato raro de ocorrência, inclusive no mundo. Como a presença deste elemento afeta a qualidade das águas subterrâneas, recurso de grande importância social, econômica e estratégica, foi necessário um estudo mais abrangente da região, a fim de averiguar a ocorrência da anomalia de cromo nestas águas, para que fosse possível buscar formas de amenização do problema.

1.2.OBJETIVOS

Os objetivos são:

- caracterizar a extensão espacial da anomalia de cromo nas águas subterrâneas da região noroeste do Estado de São Paulo;
- desenvolver um estudo geoquímico das águas, sedimentos e rochas da cidade de Urânia- S.P.;
- definir a relação saúde pública e a presença de cromo nas águas subterrâneas utilizadas para abastecimento público.

2.ÁREA DE ESTUDO

2.1.LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área onde foi desenvolvido o trabalho está localizada na região noroeste do Estado de São Paulo. Foi selecionado o município de Urânia para estudo de detalhe (Figura 01).

A sede municipal de Urânia dista 594 km da capital, com acesso pelas rodovias SP 330, SP 310 e SP 320. A cidade possui aproximadamente 8.100 habitantes. O abastecimento de água é feito por poços tubulares e cacimbas, operados pela SABESP.

2.2.ASPECTOS FISIOTERMOLÓGICOS

A área de estudo situa-se no Planalto Ocidental, onde predominam os sedimentos do Grupo Bauru. Este planalto abrange cerca de 50% do território paulista, ocupado por relevos monótonos de colinas e morrotes.

Segundo Setzer & Porto (1979) os solos do Grupo Bauru podem ser divididos em dois grupos: solos arenosos quase sem cimento calcífero e solos arenosos com cimento calcífero.

Na região de estudo domina a massa equatorial continental e a continental tropical e, em segundo plano, as massas polares. O período de chuva ocorre de dezembro a março e o período de seca de abril a setembro. A temperatura segue um ritmo normal de clima tropical, com duas estações bem definidas: uma quente, com médias mensais acima de 20 °C (dezembro/março) e outra com temperaturas abaixo de 19 °C (abril/setembro), sendo que em alguns anos se estende até novembro

devido à presença de massas frias. Os índices pluviométricos anuais médios chegam a 1050 mm (DAEE, 1976).

2.3.GEOLOGIA

Na área de estudo onde foi investigada a presença de cromo nas águas subterrâneas, afloram os sedimentos da Formação Adamantina, do Grupo Bauru. Estes sedimentos encontram-se sobre os basaltos da Formação Serra Geral conforme atestam os poços tubulares da região.

2.3.1.GRUPO BAURU

Este Grupo é do Cretácio Superior e aflora em grande parte do Estado de São Paulo, recobrindo as lavas basálticas do Planalto Ocidental.

No Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1: 500.000, (IPT, 1981) adotou-se a sequência estratigráfica que vem sendo proposta atualmente para o Grupo Bauru, subdividindo-o nas formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília.

Formação Caiuá

A Formação Caiuá, constituída essencialmente de arenitos, representa o início da deposição do Grupo Bauru, em um embaciamento ainda restrito, sobrepondo-se às eruptivas da Formação Serra Geral. Sua área de afloramento no Estado

Figura 01: Área de localização da pesquisa

Fonte: Modificado de Campos, 1987.

NOTA EXPLICATIVA

Mapa elaborado a partir do mapa geológico do IPT (1981), escala 1 500 000, adaptado e simplificado.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO

ESCALA

compreende a região do Pontal do Paranapanema, estendendo-se para norte por uma estreita faixa na margem esquerda do rio Paraná, mapeável até a confluência com o rio Peixe. Tem continuidade pelos estados do Paraná e Mato Grosso do Sul (IPT,1981).

Formação Santo Anastácio

Os arenitos desta formação afloram em áreas que acompanham as cotas mais baixas dos vales dos rios afluentes do Paraná, no oeste do Estado. Em subsuperfície, litologias atribuídas à Formação Santo Anastácio estendem-se para leste, até a região de Paraguaçu Paulista, e para norte, até o divisor entre os rios São José dos Dourados e Grande. Esta distribuição indica que o embaciamento em que se acumulou esta formação transgrediu sobre o embaciamento Caiuá, embora em continuidade tectônica e sedimentar. Encontra-se o Arenito Santo Anastácio depositado ora sobre o Caiuá, ora recobrando diretamente o embasamento basáltico (IPT,1981).

Formação Adamantina

Aflora na região de estudo e ocorre por vasta extensão do oeste do Estado de São Paulo, constituindo os terrenos da maior parte do Planalto Ocidental, só deixando de aparecer nas porções mais rebaixadas dos vales dos principais rios, onde já foi removida pela erosão. Soares *et al.* (1980) propõem formalmente a denominação Formação Adamantina para designar os bancos de arenitos alternados com lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, situados estratigraficamente entre a Formação Santo Anastácio, desmembrada como uma unidade sotoposta

litologicamente diferenciada, de ocorrência mais restrita, e a Formação Marília, individualizada como uma unidade sobreposta, de ocorrência localizada.

Almeida *et al.* (1980) destacam que as características distintivas mais marcantes entre a Formação Santo Anastácio e a Formação Adamantina são que esta última tende, no geral, a apresentar sedimentos mais finos e bem selecionados, frequentemente com mica e mais raramente feldspato, sílica amorfa e opacos e com maior variedade de estruturas sedimentares. Estas características indicam maior maturidade textural e mineralógica, deposição em sistema flúvio-lacustre mais organizado que aquele da Formação Santo Anastácio, bem como maior diferenciação das áreas-fonte de sedimentos para a Formação Adamantina que, segundo Coimbra (1976), compreenderiam principalmente áreas de sedimentos fanerozóicos pré-existentes a noroeste e sudeste, áreas de rochas básicas do Grupo São Bento, metamórficas dos Grupos Araxá e Canastra e alcalinas do Triângulo Mineiro a nordeste. As conclusões deste autor basearam-se principalmente na análise da distribuição de parâmetros granulométricos e da frequência relativa de minerais pesados, entre eles cianita, turmalina, granada, epídoto, estauroлита e rutilo.

Brandt Neto (1977) estudando a Formação Adamantina na região de Araçatuba e Penápolis, no Baixo Tietê, observou em trinta e oito amostras que a ocorrência de minerais pesados se concentrou em turmalina e estauroлита, predominantemente, e granada, zircão, rutilo e perowskita, secundariamente. Os argilo-minerais reconhecidos por Brandt Neto (1984) e Brandt Neto *et al.* (1985) são a caulinita, montmorillonita e paligorskita.

Silva & Monte (1987) descrevem a presença de trona no Grupo Bauru, mineral de origem evaporítica, não marinha, constituído essencialmente por carbonatos e bicarbonatos de sódio.

As maiores espessuras da Formação Adamantina ocorrem geralmente nas porções ocidentais dos espigões entre os grandes rios. Atinge 160 metros entre os Rios São José dos Dourados e Peixe, 190 metros entre os Rios Santo Anastácio e

Paranapanema, e 100 a 150 metros entre os Rios Peixe e Turvo, adelgando-se destas regiões em direção a leste e nordeste (Soares *et al.*, 1980).

Formação Marília

Ocorre na porção centro-sul do Estado, entre os médios vales dos rios Tietê e Paranapanema. Tem ocorrência restrita relativamente às demais formações do Grupo Bauru, sendo que a linha de contato desenha um intrincado recorte, resultando da erosão ao longo da drenagem principal. Nas regiões de Marília e Echaporã sustenta escarpas características, com até pouco mais de uma centena de metros de desnível, encimadas por uma superfície aplainada denominada Planalto de Marília-Garça-Echaporã ou Planalto de Marília. A Formação Marília depositou-se em um embaciamento localizado desenvolvido ao término da deposição Bauru, em situação parcialmente marginal, repousando geralmente sobre a Formação Adamantina, e, mais para leste, diretamente sobre os basaltos Serra Geral (IPT, 1981).

Na figura 02 encontra-se o mapa de distribuição do Grupo Bauru no Estado de São Paulo.

2.3.2.FORMAÇÃO SERRA GERAL

A Formação Serra Geral pertence ao Grupo São Bento e segundo White, (1908 *apud* IPT, 1981) compreende um conjunto de derrames de basaltos toleíticos entre os quais se intercalam arenitos com as mesmas características dos pertencentes à Formação Botucatu.

Os derrames são formados por rochas de cor cinza escura a negra, afaníticas. Petrograficamente os basaltos apresentam composição mineralógica simples, constituídos essencialmente de labradorita zonada associada a clinopiroxênios (augita e às vezes pigeonita). Acessoriamente mostram-se titano-magnetita, apatita, quartzo e raramente olivina ou seus produtos de transformação (IPT, 1981).

Ruegg (1975) reconhece a presença de cromo nas rochas basálticas como elemento traço, em concentrações que atingem até 240 ppm, com 25% das amostras com concentrações variando de 140 a 160 ppm.

2.4.HIDROGEOLOGIA

2.4.1.SISTEMA AQUÍFERO BAURU

Os sedimentos da Formação Adamantina formam o Sistema Aquífero Bauru, que representa uma das principais fontes de exploração de água subterrânea no Estado de São Paulo. Este aquífero cobre uma área de 104.000 km² (cerca de 40% do território estadual) de um total de 315.000 km² de sua ocorrência na Bacia do Paraná. Devido à relativa facilidade de captação de água através de poços cacimbas e tubulares, o Sistema Aquífero Bauru atende a uma ampla demanda de água, desde núcleos urbanos de pequeno porte e indústrias, até propriedades rurais que necessitam de água para irrigação (Campos, 1987).

Segundo DAEE (1976 e 1988), o Sistema Aquífero Bauru caracteriza-se como unidade hidrogeológica de extensão regional, contínua, livre a semiconfinada, com espessura média de 100 metros, mas que pode chegar aos 250 metros. É explorado por cerca de 4.500 poços tubulares, utilizados basicamente para o abastecimento público. Há um zoneamento do potencial explorável por poços: a faixa de vazão explorável entre 5 e 20 m³/h é predominante em área; faixas de 20 -

30 m³/h e de 30 - 50 m³/h ocorrem em áreas menores, nas porções onde a parte inferior do pacote sedimentar tem espessura da ordem de 100 metros. Este aquífero apresenta valores de transmissividade que variam de 10 a 100 m²/dia, com média de 35 m²/dia, e a capacidade específica de 90% dos poços é inferior a 1 m³/h.m.

Segundo CETESB (1977), a porosidade efetiva varia de acordo com a composição das camadas, de 15% nas camadas arenosas a 5% nos arenitos calcíferos e siltosos. Alguns testes de bombeamento realizados em poços que exploram o Grupo Bauru, acusaram valores do coeficiente de armazenamento característicos de condições de confinamento, fato explicado pela existência de camadas arenosas limitadas por camadas silto-argilosas compactas formando bancos de grande extensão.

Como aquífero freático, a recarga é feita diretamente pela precipitação pluvial, sendo sua base de drenagem os rios Paranapanema, Tietê, Grande e Paraná, e suas malhas de afluentes em toda a área do afloramento. O aquífero funciona, em geral, como reservatório regulador do escoamento desta rede fluvial.

Segundo Rocha *et al.* (1979), o Bauru apresenta velocidades de circulação das águas subterrâneas da ordem de 4 cm/dia para as Formações Adamantina e Marília.

Na Formação Adamantina predominam águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e águas bicarbonatadas sódicas; secundariamente ocorrem águas cloro-sulfatadas cálcicas ou magnesianas e cloro-sulfatadas sódicas (Campos 1987). As águas são pouco mineralizadas, com sólidos totais dissolvidos (STD) inferiores a 240 mg/l.

O Sistema Aquífero Bauru apresenta pH de ácido a básico (4,59 a 9,64) e teores salinos inferiores a 200 mg/l para 62% das amostras. Neste sistema aquífero, a grosso modo, o enriquecimento do teor salino das águas subterrâneas não é acompanhado pelo aumento dos teores de cloreto e de sódio, a não ser localmente (Campos, 1993).

2.4.2.SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL

Os derrames basálticos e intrusões diabásicas que originam a Formação Serra Geral não constituem, por si, camadas aquíferas; somente ao longo de linhas estruturais (falhas e fraturas), horizontes vesiculares, interderrames e arenitos intertrapeanos, é que se tem a produção de águas subterrâneas. Por se constituírem em aquíferos de fissuras, suas potencialidades relacionam-se à densidade de fraturamento, grau de alteração dos horizontes vesiculares, sistemas de alimentação e inter-relação com outros aquíferos, não podendo ser aferidas pelos parâmetros característicos dos aquíferos de interstícios, como porosidade e permeabilidade (CETESB, 1977).

O Sistema Aquífero Serra Geral aflora numa área de 32 mil quilômetros quadrados na porção centro-leste de São Paulo, sendo recoberto, a oeste, pelos sedimentos Bauru-Caiuá. Apresenta-se em derrames sucessivos de lavas, superpostos, onde os sistemas de fraturamento (zonas aquíferas) estão relacionados tanto a esforços tectônicos, gerando fraturas subverticais, como a processos de resfriamento que originam descontinuidades sub-horizontais. A maioria de seus poços tubulares possuem profundidades de 100 a 150 metros. Suas vazões, porém, são variáveis e os poços situados junto a lineamentos estruturais ou fraturas apresentam vazões de 10 a 100 m³/h (DAEE, 1988).

3.GEOQUÍMICA DO CROMO: UMA SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA

3.1.HISTÓRICO

O cromo não era conhecido na antiguidade, tendo sido descoberto em 1798 no cromato de chumbo (PbCrO_4), que ocorre na natureza sob a forma do mineral crocoíta (Pauling, 1966).

O metal foi isolado pela primeira vez através de um processo de redução de óxido de cromo (CrO_3) com carvão vegetal, a alta temperatura. Foi então sugerido o nome cromo ao metal, originário do grego, devido as diversas colorações dos seus compostos (Rollinson, 1973 *apud* Soares, 1992).

Segundo Soares (1992), inicialmente eram manufaturados alguns compostos químicos do cromo, produzidos bicromatos e pigmentos, como cromato de chumbo, sendo que no ano de 1845 iniciou-se a primeira produção comercial.

O elemento tornou-se economicamente viável por volta de 1827, com a descoberta de grandes depósitos nos Estados Unidos da América. Em 1848 foram descobertas novas jazidas na Ásia Menor, que fez com que o monopólio americano fosse se desfazendo.

A utilização do metal e de seus compostos nos diversos setores industriais, comerciais e científicos foi melhor evidenciada a partir da Revolução Industrial. No entanto, o conhecimento de acidentes causados ao meio ambiente pelos compostos de cromo é um fato recente.

3.2. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

O cromo é um metal branco, brilhante, duro e quebradiço, com ponto de fusão bastante alto (1840 °C) e ponto de ebulição não tanto proporcionalmente (2300 °C). Sua densidade é 7,188 g/cm³ (Ohlweiler, 1973). A tabela 01 relaciona algumas características numéricas importantes do elemento.

Tabela 01: Características numéricas do cromo.

PROPRIEDADES DO CROMO	
Número Atômico	24
Configuração eletrônica externa	3d ⁵ 4s ¹
Peso atômico	51,996
Densidade do sólido a 20° C, g/cm ³	7,188
Volume atômico, cm ³	7,24
Ponto de fusão, ° C	1840
Ponto de ebulição, ° C	ca. 2300
Potencial de ionização, ev	6,76

Fonte: Ohlweiler, 1973, modificado

Este elemento pertence ao grupo VI-B da tabela periódica, com número atômico 24, peso atômico 51,996. Possui estados de oxidação que variam de Cr²⁺ à Cr⁶⁺, comumente ocorre nos estados 0 (elementar), +2,+3,+4,+6. Possui quatro isótopos estáveis com a seguinte porcentagem de abundância: ⁵⁰Cr (4,31%); ⁵²Cr (83,76%); ⁵³Cr (9,55%) e ⁵⁴Cr (2,38%). Ele tem cinco isótopos radioativos, mas somente ⁵¹Cr, com meia-vida de 27,8 dias, é mais comumente usado para estudos de traçador. Possui dois estados de oxidação no ambiente natural: hexavalente (Cr (VI)) e trivalente (Cr (III)).

3.3. PRODUÇÃO INDUSTRIAL E USO

Segundo “National Academy of Sciences”(1974 *apud* Soares, 1992), apesar de óxidos de cromo serem encontrados com abundância na crosta terrestre, não apresentam concentrações de cromo viável economicamente, sendo seu único minério a cromita, cuja fórmula é $[(\text{Fe},\text{Mg})\text{O}(\text{Cr},\text{Al},\text{Fe})_2\text{O}_3]$. O último membro, FeCr_2O_4 (também chamado cromita), contém 68% de óxido de cromo (Cr_2O_3) e 32% de óxido de ferro (FeO). O grau mais alto do minério contém aproximadamente 52% a 56% de Cr_2O_3 e 10% a 26% de FeO .

Os principais produtores de cromita tem sido a extinta U.R.S.S., África do Sul, Filipinas e Turquia. Outros depósitos de extração são encontrados nos E.U.A., Albânia, Cuba, Brasil, Japão, Índia, Nova Caledônia, Paquistão, Irã e outros.

A cromita sofre vários processos industriais até chegar aos produtos finais, utilizados nas indústrias metalúrgicas, de refratários e químicas.

Indústrias metalúrgicas

O cromo é extremamente resistente à corrosão, por isso é empregado como cobertura de proteção e decoração de outros metais (Mahan, 1972).

Suas ligas são muito importantes, principalmente as de Fe (II) (ligas de aço). Os aços que contêm cromo são muito duros, resistentes e fortes. São usados em projéteis, cofres etc. Aço inoxidável comum contém 14-18% de Cr (e, em geral, 8% de Ni) (Pauling, 1966).

Indústrias de refratários

Utiliza-se a cromita com aproximadamente 34% de óxido de cromo e alta porcentagem de alumínio, devido ao alto ponto de fusão (2040 °C) e baixa reatividade (Soares, 1992).

Indústrias químicas

Sais de cromo hexavalente são usados em decapagem química de metal e operações de capeamento, anodização do alumínio, curtimento do couro e em manufatura de tintas, corantes e outras substâncias. Sais de cromo trivalente são menos usados em indústrias e aplicações manufatureiras. Compostos de cromo têm sido usados como inibidor de corrosão em tubos condensadores de usinas elétricas (Stamer *et al.*, 1985).

3.4.OCORRÊNCIA NATUREZA

O cromo é onipresente no meio ambiente, encontrado em concentrações variadas nas águas (1µg até 112µg/l), no ar (< 0,1µg/m³), nas rochas (5 até 1800mg/kg), solos (53mg/kg) e toda matéria biológica. Este elemento é encontrado em concentrações maiores do que os elementos cobalto, cobre, zinco, molibdênio, chumbo, níquel e cádmio.

3.4.1. NOS SISTEMAS VIVOS

O organismo humano necessita de um série de substâncias químicas que são indispensáveis para a manutenção da vida. Estas substâncias podem ser divididas em dois grupos, os constituintes básicos (carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, cálcio, fósforo, potássio, enxofre, sódio, cloreto, magnésio) e os elementos essenciais (cromo, cobalto, cobre, estanho, ferro, iodo, manganês, molibdênio, selênio e zinco). Os constituintes básicos são aqueles que existem em grandes quantidades, enquanto os elementos essenciais aparecem em pequenas quantidades e são denominados “traços”.

Muitos metais traços são essenciais para a nutrição de animais e plantas em quantidades traço, mas podem tornar-se venenosos ou tóxicos quando as concentrações benéficas forem excedidas (Stamer *et al.*, 1985).

As ações tóxicas se manifestam em função da dosagem, forma química e estado nutricional do organismo exposto. Desta forma, para garantir efeitos benéficos ao organismo, é preciso manter as concentrações dos elementos essenciais dentro dos limites. O excesso ou a falta dos elementos traços podem induzir alterações bioquímicas que afetam as funções fisiológicas, provocando efeitos que variam em intensidade de acordo com a idade, sexo e espécie do organismo em estudo (Amaral, 1985).

A toxicidade do cromo e seus compostos depende de seu estado de oxidação, que pode ser +3 ou +6. O cromo é um dos elementos traços menos tóxicos. Compostos de Cr (VI) são aproximadamente cem vezes mais tóxicos do que sais de Cr (III).

As formas trivalentes de cromo, que são nutricionalmente ativas, têm baixa toxicidade, apesar de não terem sido estabelecidas doses limites. Sabe-se que oralmente são pouco absorvidas; sobre a pele há combinações com as proteínas das camadas superiores mas sem causar ulcerações, com excessão de pessoas alérgicas

ao cromo. O cromo hexavalente é muito mais tóxico e não apresenta valor nutricional. Este pode ser absorvido por ingestão, inalação e através da pele, podendo causar ulcerações e eczemas (Amaral, 1985).

O cromo em cromatos e ácido crômico é da forma hexavalente e em trióxido crômico é da forma trivalente. O ácido crômico é corrosivo para a pele e membranas da mucosa, na área respiratória superior. O cromo na forma trivalente é menos tóxico do que na forma hexavalente. Câncer no pulmão foi constatado em trabalhadores que se expunham ao cromo hexavalente em indústrias de cromo, remoção de cobre e anodização de alumínio (Hagarty, 1991).

A maioria das referências bibliográficas descreve estudos relacionados à assimilação de cromo por vias respiratórias, não tratando da ingestão de água contendo cromo.

O cromo presente no material biológico está na forma Cr (III), que é essencial à nutrição humana e desempenha um papel importante no metabolismo do glicogênio. O tecido animal possui o elemento em concentrações variáveis dependendo da espécie, idade e área do corpo. Concentrações excepcionalmente elevadas têm sido encontradas no cérebro e, particularmente, na medula vertebral, bem como em tumores e tecidos carcinogênicos (Mertz, 1969).

No cabelo de crianças diabéticas foram encontradas concentrações inferiores às encontradas em crianças normais. Masironi, (1978 *apud* Amaral, 1985), coloca que o cromo age como cofator interveniente com a insulina no metabolismo da glicose e que a carência deste metal pode provocar os distúrbios verificados na diabetes.

O cromo pode prevenir a ocorrência de problemas das coronárias. Estudos comparando as paredes arteriais de pacientes mortos por distúrbios do coração e vítimas fatais de acidentes de trânsito, revelaram que a taxa de cromo era menor naqueles que sofreram crises cardíacas. Os riscos cardíacos parecem praticamente nulos quando a taxa de cromo é superior a 6 bilionésimos de grama.

3.4.2. NAS ROCHAS E SOLOS

O cromo é um metal que ocorre frequentemente na natureza. Estudos geoquímicos mostram que está entre os quinze elementos mais abundantes na Terra e que, ao lado do Na, K, Co, P, Mn, Ti, pode ocorrer entre 0,1 e 1% do peso total da crosta terrestre. Sua composição média na crosta é de 100 g/ton (ppm), com valores diferenciados para o diabásio de 120 ppm e para o granito de 20 ppm (Mason, 1971).

A cromita (FeCr_2O_4) é um constituinte comum dos peridotitos e dos serpentinitos deles derivados, sendo um dos primeiros minerais a se separar do magma que se resfria. Pensa-se que os grandes depósitos de cromita se teriam formado por esta diferenciação magmática. Comumente associa-se com a olivina, a serpentina e o coríndon (Dana, 1986). Pode estar concentrada em resíduos lateríticos sobre rochas ultramáficas, que contêm maior concentração de cromo do que outras espécies de rochas (Hem, 1985).

Nas rochas sedimentares a presença de cromo pode estar associada a minerais de argila. A montmorillonita, um tipo específico de argila expansiva, comporta a substituição atômica de um considerável número de elementos em sua estrutura, incluindo o cromo trivalente. Nestes minerais o cromo não tem origem primária.

Nas rochas ígneas, o cromo está presente em piroxênios, um mineral silicático. Estes minerais têm uma composição altamente variável devido à substituição atômica. O elemento em questão pode ocorrer em até 1,2% em alguns diopsídios [$\text{Ca Mg (Si}_2\text{O}_6\text{)}$] e em algumas augitas [$(\text{Ca,Na}) (\text{Mg, Fe}_2, \text{Fe}_3, \text{Al}) (\text{Si, Al})_2\text{O}_6$] (Mason, 1971).

A tabela 02 mostra as concentrações de cromo (ppm) encontrada em algumas rochas ígneas e sedimentares segundo vários autores.

A concentração de cromo no solo pode ser determinada pelo material de origem. Solos derivados de rochas ígneas podem conter teores elevados, assim como solos derivados de folhelhos. Solos derivados de serpentinitos usualmente contêm alto teor de cromo. Serpentinitos contêm uma proporção de 1.800 ppm de cromo e 2.000 ppm de Ni. Em adição, argilas xistosas e fosforitos usualmente contêm altas concentrações.

Em solos com elevado teor de óxidos de manganês, foi constatada a possibilidade do Cr (III), forma relativamente estável, ser oxidado à forma de Cr (VI), de grande mobilidade no solo (Bartlett & James, 1979). Porém, a redução de Cr (VI) no solo, pode ser aumentada com a presença de matéria orgânica (Carry *et al.*, 1977; Bartlett & Kimble, 1976).

Tabela 02: Concentrações de cromo (ppm) encontradas em rochas ígneas e sedimentares.

MATERIAL	CONCENTRAÇÃO MÉDIA (ppm)
Rocha ígnea ^a	198
Granito ^b	20
Diabásio ^b	120
Arenito ^a	120
Carbonato ^a	7,1

Fontes:

^a Horn & Adams, 1966 *apud* Hem, 1985

^b Mason, 1971

3.4.3. NAS ÁGUAS

O cromo (III) é pouco móvel nas águas subterrâneas e apresenta baixa toxicidade para o ser humano, se ingerido por via oral. Já o cromo (VI) é altamente móvel e possui alta toxicidade. Devido a possibilidade de oxidação do cromo (III) para o cromo (VI), nas normas de potabilidade da água é recomendado o valor máximo de 0,05 mg/l na forma de cromo total (Calder, 1988).

Hem (1985) cita que concentrações de cromo em águas de rios não-contaminados são normalmente menores do que 0,01 mg/l. Durfor & Becker (1964) reportam concentrações menores do que 0,00043 mg/l nas águas de abastecimento público e de 0,0058 mg/l nos rios dos E.U.A.

A mobilidade do cromo nas águas subterrâneas depende das características hidrogeológicas do local: especiação química e solubilidade do cromo e de sua tendência de ser adsorvido pelo material do aquífero.

Especiação Química

O cromo ocorre nas águas subterrâneas com diferentes graus de oxidação. Nos sistemas naturais, o cromo pode ser encontrado nas formas trivalente e/ou hexavalente. As espécies de Cr (III) que podem existir nas águas subterrâneas são: Cr^{3+} , Cr OH^{2+} , Cr (OH)_2^+ , Cr (OH)_3^0 , Cr (OH)_4^- . As espécies de Cr (VI) são: HCrO_4^- e CrO_4^{2-} .

A especiação do cromo nas águas subterrâneas depende do Eh (potencial de oxirredução ou redox) e das condições de pH. O cromo (VI) predomina em condições de oxidação (Eh alto), enquanto o cromo (III) predomina em condições de redução (Eh baixo).

Na figura 03 tem-se um diagrama de equilíbrio do cromo, do pH em função do Eh. Para as concentrações de cromo total abaixo de 500 mg/l, as espécies dominantes de Cr (VI) são HCrO_4^- e CrO_4^{2-} . O equilíbrio entre estas duas espécies depende do pH:

Para baixo pH, a concentração dos íons H^+ é alta, a reação tende para a esquerda e HCrO_4^- é a espécie dominante. Para alto pH, onde a concentração de H^+ é baixa, a reação tende para a direita e predomina CrO_4^{2-} . Em águas subterrâneas naturais o pH está normalmente entre 6 e 8 e o íon CrO_4^{2-} é a espécie dominante. Para concentração de Cr (VI) acima de 500 mg/l, o íon $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ é predominante em ambientes ácidos (Baes & Mesmer *apud* Calder, 1988). Porém, as concentrações de Cr (VI) em águas subterrâneas poluídas são geralmente menores do que 50 mg/l.

A espécie de cromo (III) que ocorre na água subterrânea também depende do pH. As reações que governam são:

$\text{Cr}(\text{OH})_2^+$ é a espécie dominante nas águas subterrâneas naturais, com pH entre 6 e 8, CrOH^{2+} e Cr^{3+} predominam em águas mais ácidas e $\text{Cr}(\text{OH})_3^0$ e $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ predominam em águas mais alcalinas.

Figura 03: Diagrama da especiação do Cromo em relação ao pH e Eh (Calder, 1988)

Solubilidade

Segundo Hem (1977 *apud* Calder, 1988), o cromo (III) geralmente forma uma pequena porcentagem da concentração do cromo total nas águas subterrâneas naturais ou poluídas e raramente ocorre para concentrações acima do padrão de água potável (0,05 mg/l). Devido à sua baixa solubilidade, tende a ser essencialmente imóvel em muitas águas subterrâneas. Já o cromo (VI) é móvel nas águas subterrâneas devido à sua alta solubilidade.

Quando o cromo (VI) é transportado pela água subterrânea ele pode ser transformado e precipitado como cromo (III), se a água entrar numa zona de baixo potencial redox. Estudos de laboratório têm mostrado que cromo (VI) pode ser reduzido para cromo (III) na presença de matéria orgânica, especialmente em baixo pH (Bartlett & Kimble, 1976; Bloomfield & Pruden, 1980 *apud* Calder, 1988). Schroeder & Lee (1975 *apud* Calder, 1988), encontraram que cromo (VI) poderia também ser reduzido para ferro (II) e dissolver sulfetos.

O cromo (III) geralmente não é transportado à grandes distâncias pela água subterrânea devido à sua baixa solubilidade. Porém, ele poderia ser convertido para cromo (VI), se o estado de redox para um lugar particular for mudando com o tempo, de redutor para oxidante.

Adsorção

A adsorção ocorre porque as espécies iônicas dissolvidas na água subterrânea são atraídas pelas superfícies dos minerais que constituem o aquífero, por possuírem uma rede de carga elétrica, própria para substituições (Freeze and Cherry, 1979).

A adsorção de um contaminante pelos solos ou materiais do aquífero pode retardar o avanço do contaminante em relação à velocidade da água subterrânea.

Segundo Stumm and Morgan (1981), íons positivamente carregados tais como Cr^{3+} , que é o grau de oxidação de cromo (III) abaixo de um pH 4, são geralmente adsorvidos por minerais de argila. A adsorção de Cr^{3+} por solos e argilas é geralmente muito alta, aumentando com o pH.

O cromo (III) é relativamente imóvel para um pH próximo de 4, devido à adsorção. Acima deste pH ele é também relativamente imóvel devido a sua baixa solubilidade.

Na forma aniônica HCrO_4^- e CrO_4^{2-} , o cromo (VI) é atraído pelas superfícies carregadas positivamente tais como ferro, manganês, óxidos e hidróxidos de alumínio. Estas substâncias comumente cobrem os materiais do aquífero.

A adsorção de cromo (VI) por argilas, solos e materiais naturais do aquífero é baixa a moderada nas faixas de pH que comumente são encontradas nas águas subterrâneas. A adsorção do cromo (VI) decresce com o aumento do pH. Pouca ou nenhuma adsorção ocorre acima de um pH 8,5.

3.5. FONTES DE POLUIÇÃO

A presença de cromo nas águas subterrâneas está normalmente associada à contaminação de origem antrópica. No norte dos Estados Unidos e em alguns locais do Japão, a contaminação das águas subterrâneas por este metal é um grande problema. É melhor evidenciada em áreas onde estão instaladas indústrias de metal e de tratamento de madeira, curtumes, mineração de cromo e processos de beneficiamento do metal. Outras fontes de poluição podem ser citadas, como indústrias de manufaturas de pigmentos, de filmes fotográficos, de inibidores de corrosão, entre outras.

Migliorini (1994), no estudo das águas subterrâneas do Cemitério de Vila Formosa, na cidade de São Paulo, encontrou cromo, entre outros metais, em

concentrações variando de $< 0,05$ a $0,17$ mg/l. Segundo o autor, o cromo é provavelmente originário das tintas, vernizes e guarnições dos caixões.

A ocorrência natural do elemento em concentrações acima das normas de potabilidade da água é bastante rara. As referências bibliográficas especializadas sobre o assunto são escassas.

Robertson (1975), descreve o caso do Paradise Valley (Arizona, E.U.A.) onde as concentrações de cromo variavam de $0,1$ a $2,0$ mg/l. Embora o autor não tenha estabelecido a origem primária do cromo, entende-se que este elemento está associado aos minerais de argila, cuja área-fonte não é reconhecida.

Szikszay (1981), no estudo das Fontes de Águas da Prata (S.P.), encontrou teores de cromo total variando de $0,014$ a $0,3$ mg/l em águas provenientes de rochas vulcânicas, e valores variando de $0,019$ a $0,3$ mg/l, nas águas provenientes de arenitos.

Segundo Love (1967), poucas de algumas águas contêm cromo de fontes naturais. Águas naturais podem provavelmente contê-lo somente como elemento traço. Porém, na região de Urânia foi feita uma avaliação preliminar sobre a presença de cromo nas águas subterrâneas e constatou-se que a ocorrência deste elemento é natural (Hirata & Rodolfi 1993). Este resultado é baseado nas seguintes observações: i) o cromo (VI) ocorre distribuído de forma ampla na região, o que discorda da contaminação antrópica, onde o cromo aparece em áreas restritas, não ultrapassando algumas centenas de metros da fonte de origem; ii) sua maior concentração foi encontrada em poços tubulares de grande profundidade, o que reforça a origem natural, pois se houvesse uma aplicação de cromo em superfície, os poços cacimbas seriam os mais atingidos, iii) não havia nas proximidades dos poços atingidos nenhum indício de atividade contaminante, mesmo no passado.

3.6. ASPECTOS DE LEGISLAÇÃO

O cromo é um elemento que apresenta toxicologia bastante complexa. O limite permitido em águas para consumo humano é 0,05 mg/l para cromo total. Segundo CETESB (1994), este valor está de acordo com os padrões de potabilidade brasileiros (Portaria 36, do Ministério da Saúde, de 19-01-90), da Organização Mundial de Saúde (OMS), da Comunidade Econômica Européia, Canadá, E.U.A. e Alemanha. No Decreto Estadual 12.486, de 20-10-78 o valor máximo permitido de cromo hexavalente em águas para consumo humano é 0,05 mg/l.

4. METODOLOGIA

Com a finalidade de atingir os objetivos propostos nesta pesquisa, foram efetuadas as seguintes etapas de trabalho:

- Caracterização da ocorrência de cromo nas águas subterrâneas do noroeste do Estado de São Paulo;
- Cadastramento de poços tubulares;
- Avaliação geoquímica das águas, sedimentos e rochas basálticas de Urânia-S.P;
- Levantamento sobre eventuais problemas de saúde da população abastecida por águas subterrâneas com teores de cromo acima do limite de potabilidade.

4.1.CARACTERIZAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE CROMO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO NOROESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

4.1.1.CROMO TOTAL

A partir dos resultados das análises físico-químicas das águas subterrâneas da SABESP, foi realizado um estudo sobre a ocorrência e distribuição espacial do cromo na região noroeste do Estado de São Paulo. Os dados são de águas de poços de 54 localidades operadas pela empresa, entre municípios e distritos, no período de 1977 a 1993.

Os laudos continham resultados de análises físico-químicas completas, mas para este estudo interessa somente os seguintes parâmetros: cromo total (trivalente + hexavalente) e hexavalente, por serem os principais elementos da pesquisa,

nitrogênio nitrato e condutividade elétrica, por apresentarem variações em suas concentrações nos diversos poços.

Os teores de cromo total foram plotados na figura 04 para melhor visualização da extensão espacial da anomalia e na tentativa de estabelecer um padrão para a distribuição do cromo na região.

4.1.2.CROMO HEXAVALENTE

Nesta fase de identificação de áreas onde ocorre cromo hexavalente nas águas subterrâneas, além dos dados da SABESP, também foi feita a amostragem de água subterrânea em outras 12 localidades, operadas ou não pela SABESP. Estas localidades foram escolhidas para completar os vazios geográficos da área contendo análise de cromo na região.

Durante a amostragem foram medidos em “in situ” os seguintes parâmetros, com os respectivos equipamentos: a temperatura do ar e da água (termômetro), o pH (pHmetro “OAKTON”, modelo 35624-00), a condutividade elétrica corrigida para 25°C pelo próprio equipamento e os sólidos totais dissolvidos-STD (medidor de condutividade e sólidos totais dissolvidos “HACH”, modelo 44600).

O laboratório da SABESP de Fernandópolis analisou as concentrações de cromo hexavalente pelo método difenilcarbazida com o Espectrofotômetro “MICRONAL”, modelo B 380, cujo limite de detecção é de 0,0025 mg/l

Os dados com as concentrações de cromo hexavalente também foram plotados na figura 04. Para uma melhor visualização das variações dos teores de cromo hexavalente com o pH, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos foram confeccionados os gráficos 1A, 1B e 1C.

A partir destas análises escolheu-se três poços em Urânia e um em Santa Salete para coleta de água em poços selecionados, por apresentarem as maiores concentrações de cromo hexavalente.

4.1.3.CROMO TOTAL, HEXAVALENTE E NITROGÊNIO NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE URÂNIA

As águas subterrâneas da cidade de Urânia foram selecionadas para um estudo dos teores de cromo total, hexavalente e nitrogênio nitrato.

Este estudo foi desenvolvido a partir dos resultados das análises físico-químicas das águas subterrâneas realizadas pela SABESP, no período de 1977 a 1993.

Foi efetuado um levantamento das concentrações de cromo total, hexavalente e nitrogênio nitrato em seis poços da cidade de Urânia (P 1, P 2, P 3, P 4, P 5, P 6). Para uma melhor visualização do comportamento destes parâmetros, os dados foram plotados em gráficos que apresentam os valores de suas concentrações com a data de coleta (gráficos 2A, 2B, 3A, 3B, 4A, 4B, 5A, 5B, 6A, 6B, 7A, 7B).

4.1.4.CROMO TOTAL E HEXAVALENTE EM POÇOS SELECIONADOS DE URÂNIA E SANTA SALETE

Foram escolhidos quatro poços para coleta e análise das águas subterrâneas das áreas de estudo de detalhe. Três dos poços localizam-se em Urânia (P 2, P 4, P 5) e um em Santa Salete (P 1). Estes poços foram selecionados por apresentarem as maiores concentrações de cromo hexavalente (0,08-0,10 mg/l).

As amostras das águas subterrâneas foram coletadas diretamente das bocas dos poços que já estavam sendo bombeados a mais de uma hora, sem interrupção. No instante da coleta foram medidos os seguintes parâmetros, com os mesmos equipamentos citados no item 4.1.2.: temperatura do ar e da água, pH, Eh (Ehmetro "OAKTON", modelo 35650-00), condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos (STD).

A análise da água inclui cromo total, hexavalente e ainda alguns outros parâmetros, como sulfato, bicarbonato, nitrogênio nitrato, fluoreto, sódio, potássio, ferro total, manganês, alumínio, sílica, Resíduo Seco a 180° C.

As recomendações seguidas para coleta e preservação das amostras encontram-se reunidas no "Guia Técnico de Coleta de Amostras da CETESB", segundo Souza & Derisio (1977).

As análises da água dos quatro poços foram efetuadas pelos laboratórios da SABESP de Fernandópolis e Lins, sendo que os parâmetros sódio, potássio, sílica e Resíduo Seco a 180° C da primeira coleta e sódio da terceira coleta, foram analisados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) em São Paulo.

As amostras de água encaminhadas aos laboratórios da SABESP para análises físico-químicas, foram coletadas em frascos de vidro (cromo total e hexavalente, sulfato, nitrogênio nitrato, ferro total, manganês e alumínio) e de polietileno (fluoreto, potássio e sílica). A preservação das amostras foi realizada da seguinte forma: cromo total, potássio, ferro total e manganês com HNO_3 e $\text{pH} < 2$; sulfato com 2 ml de acetato de zinco (pH 6-9); nitrogênio nitrato com H_2SO_4 , $\text{pH} < 2$ e refrigeradas a 4°C; fluoreto e sílica refrigeradas a 4°C.

Os métodos de análises químicas utilizados nos laboratórios da SABESP para os respectivos parâmetros físico-químicos são os seguintes: cromo total, potássio (colorimétrico), cromo hexavalente (difenilcarbazida), sulfato (turbidimétrico),

fluoreto (eletrodo de íons seletivo), ferro total (ortofenantrolina), manganês (persulfato), alumínio (eriocromoclanina).

Os equipamentos utilizados pela SABESP para análise dos parâmetros físico-químicos foram: cromo total, nitrogênio nitrato, potássio, sílica (Espectrofotômetro "HACH", modelo DR-2000), cromo hexavalente, ferro total, manganês, alumínio (Espectrofotômetro "MICRONAL", modelo B 380), sulfato (Turbidímetro "MICRONAL", modelo 250), bicarbonato (pHmetro "PROCYON", modelo pH 210), fluoreto (Fluorímetro "PROCYON", modelo 710 A).

As amostras destinadas aos laboratórios da CETESB para análises físico-químicas, foram coletadas em frascos de polietileno, novos e descartáveis, refrigerados a 4°C, com gelo, em caixa de isopor, sem preservativo para análise de sílica e Resíduo Seco a 180°C; as amostras para análise de sódio e potássio foram preservadas com HNO₃ (pH < 2).

Os métodos de análises químicas aplicados nos laboratórios da CETESB são baseados na 17ª edição do "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-American Public Health Association-USA". Para determinação dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas a 25°C, foram: Resíduo Seco a 180°C (gravimétrico), sílica (colorimétrico com molibdato de amônia), sódio e potássio (absorção atômica).

Os limites de detecção (LD) para cada um dos parâmetros analisados, em mg/l são: Resíduo Seco a 180°C (não existe um limite estabelecido; sílica (LD = 0,6 mg/l); sódio (LD = 0,01 mg/l); potássio (LD = 0,02 mg/l).

Foram realizadas duas coletas num intervalo de 22 dias e ainda uma terceira para verificar se existiam variações temporais nos parâmetros analisados. Estes parâmetros encontram-se na tabela 04. Foram confeccionados gráficos com as variações de cromo total e cromo hexavalente com o tempo (gráficos 8A, 8B).

4.1.5.CROMO TOTAL EM POÇOS PERFURADOS APENAS NO GRUPO BAURU OU EM POÇOS COM ENTRADAS DE ÁGUA APENAS NA FORMAÇÃO SERRA GERAL

Através do cadastramento de poços (anexo 01), foram selecionados aqueles perfurados apenas nos sedimentos da Formação Adamantina do Grupo Bauru e aqueles que possuem entradas de água apenas nos basaltos da Formação Serra Geral. Foi confeccionada uma tabela com as cidades onde se localizam estes poços, os números dos poços e as concentrações de cromo total com a data de coleta (tabela 05).

A partir desta tabela foram definidas se as maiores concentrações de cromo total estavam em águas do Sistema Aquífero Bauru (sedimentos) ou do Sistema Aquífero Serra Geral (basaltos).

4.2. CADASTRAMENTO DE POÇOS TUBULARES

Para o estudo hidrogeológico foi efetuado um cadastro de poços tubulares. Os poços são das localidades onde a SABESP já havia realizado análises físico-químicas da água. Os dados foram obtidos na SABESP de São Paulo.

Do cadastro consta a localidade onde foi executada a amostragem (município ou distrito), o número do poço local, o número do poço dado pela SABESP e pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), suas coordenadas, cota topográfica, profundidade, níveis estático e dinâmico, vazão, geologia, posição dos filtros, cimentação, ano de perfuração, uso da água, firma perfuradora e a referência do local de perfuração (anexo 01). A falta de um ou outro dado no cadastro é devido a não existência deste na sua ficha da SABESP.

Nas doze localidades onde foi realizada a amostragem citada no item 4.1.2 não se tem o cadastro de todos os poços. Apenas os poços de Aspásia, Urânia e Santa Salete foram cadastrados por serem operadas pela SABESP. Tentou-se cadastrar as outras localidades através do DAEE, porém os dados que lá se encontram estão em fichas antigas, não sendo suficientes e nem confiáveis.

4.3. AVALIAÇÃO GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS, SEDIMENTOS E ROCHAS BASÁLTICAS DE URÂNIA-S.P.

Os pontos onde foram coletadas amostras de águas, sedimentos e rochas, encontram-se na figura 06.

4.3.1. ANÁLISES DE ÁGUAS

Durante a perfuração de um poço em Urânia (P 9), próximo ao Córrego Comprido, coletou-se amostras de água em três profundidades diferentes (114, 180-182, 270 m), para análise de cromo total. Durante a coleta foram medidos em campo, com os mesmos equipamentos citados no item 4.1.2, a temperatura do ar, da água, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD). A 270 metros de profundidade, foram analisados os teores de cloreto, sulfato, cálcio, magnésio, ferro total e alumínio. Estas análises foram feitas pelo laboratório da SABESP de Fernandópolis.

As amostras de água para análise de cromo total, sulfato, ferro total e alumínio foram coletadas, preservadas e analisadas pelos mesmos métodos e equipamentos citados no item 4.1.4.

As amostras de água para análise de cloreto, cálcio e magnésio foram coletadas em frascos de vidro. A preservação das amostras de cálcio e magnésio foi realizada com HNO_3 e $\text{pH} < 2$.

Foram feitas coletas de água em dois poços, um na Fazenda Jatobá e o outro no Posto de Gasolina Garção, ambos no município de Urânia. Estes poços atingem somente os sedimentos da Formação Adamantina. Foram analisados os mesmos parâmetros anteriormente citados e comparadas as concentrações de cromo total.

Foram também analisados os teores de cromo total e hexavalente em duas amostras do Córrego Comprido, para uma comparação das concentrações de cromo nas águas subterrâneas e superficiais.

4.3.2. ANÁLISE DOS SEDIMENTOS DE URÂNIA E DO POÇO P 9

Para estudar a ocorrência de cromo nos sedimentos foram analisadas duas amostras que afloram em Urânia. Coletou-se também três amostras de sedimentos do poço P 9 durante a sua perfuração.

Estas amostras foram secadas e moídas em um moinho de bolas de carbeto de tungstênio, no laboratório do CPGEO (Centro de Pesquisas Geocronológicas) do Instituto de Geociências da USP (IGc/USP).

A abertura das amostras foi feita nos laboratórios do Departamento de Mineralogia e Petrologia do IGc/USP (DMP/USP), onde foi utilizado o seguinte procedimento:

- quantidade de amostra: 0,2500 g;
- quantidade e tipo de fundente: 0,7500 g (meta e tetraborato de lítio);
- tempo e temperatura de fusão: 20 minutos, 1000°C ;
- volume final da solução: 250 ml;
- concentração da amostra: 1000 mg/l;

- meio: HNO_3 0,2 N.

Foram analisados os elementos zinco, cromo, cobre, zircônio e ítrio pelo ICP-AES (Plasma) do DMP. As concentrações destes elementos nos sedimentos de Urânia foram comparadas com as médias encontradas em sedimentos equivalentes da crosta terrestre.

4.3.3. ANÁLISE DOS BASALTOS DO POÇO P 9

Foram escolhidas para análise onze amostras de calha de rochas basálticas do poço P 9, de profundidades diferentes (70, 90, 110, 130, 150, 170, 190, 210, 230, 250, 270 m), de tal forma que fossem representativas no perfil geológico do poço (Figura 05).

Inicialmente os fragmentos das amostras foram lavados para remoção de material argiloso. A lavagem e secagem foram feitas no laboratório do CPGEO (Centro de Pesquisas Geocronológicas).

Estas amostras foram descritas no laboratório do DMP utilizando-se uma lupa binocular, sendo removidos os fragmentos de vesículas (contendo calcita ou alguma outra heterogeneidade) com uma pinça.

Após a descrição, foram moídas 50 gramas de cada amostra no moinho de carbeto de tungstênio do laboratório do CPGEO.

Terminando esta etapa, iniciaram-se as aberturas das amostras nos laboratórios do DMP, seguindo o mesmo procedimento adotado para as amostras de sedimentos.

Nas amostras de basaltos foram analisadas as concentrações de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , Cr , Ni , V , Ba , Sr , pelo ICP-AES (Plasma) do DMP. As concentrações de alguns elementos traços também foram comparadas com as médias encontradas nos basaltos da crosta terrestre.

4.4.LEVANTAMENTO SOBRE EVENTUAIS PROBLEMAS DE SAÚDE DA POPULAÇÃO ABASTECIDA POR ÁGUAS SUBTERRÂNEAS COM TEORES DE CROMO ACIMA DO LIMITE DE POTABILIDADE

O levantamento sobre a saúde da população de Urânia foi realizado através de contatos com o Escritório Regional de Saúde de Jales (ERSA) e com o Centro de Saúde de Urânia.

Foram consultadas pessoas diretamente ligadas a estes órgãos, para se obter informações sobre a existência de estudos realizados na região, que pudessem comprovar doenças causadas pela ingestão de água contendo teores de cromo acima do limite permissível.

5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

5.1. CARACTERIZAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE CROMO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO NOROESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

5.1.1. CROMO TOTAL

Os parâmetros cromo total, cromo hexavalente, nitrogênio nitrato e condutividade elétrica foram colocados no anexo 02. Neste anexo encontram-se as localidades onde foram feitas as coletas de água, o número do poço local, o número do poço dado pela SABESP, a data de coleta, as concentrações de cromo total, cromo hexavalente, nitrogênio nitrato e condutividade elétrica. Através deste anexo é possível observar que as concentrações dos parâmetros citados variam com a data de coleta num mesmo poço e, também, de poço para poço, numa mesma localidade.

Os pontos onde ocorrem concentrações de cromo total, abaixo ou acima do limite de potabilidade foram plotados em um mapa (Figura 04). É importante ressaltar que estes pontos, por questão de escala, não correspondem às localizações dos poços, e sim, às análises feitas das águas de um ou mais poços da mesma localidade.

Pela figura 04 nota-se que o cromo total encontra-se distribuído por vários municípios e distritos do noroeste paulista. Em alguns locais suas concentrações são menores ou iguais ao limite de potabilidade ($\leq 0,05$ mg/l). Em outros, estão acima deste limite ($> 0,05$ mg/l). Há ainda localidades em que as concentrações de cromo total nas águas subterrâneas variam abaixo e acima deste limite (0,005-0,155 mg/l).

A seguir serão descritas as localidades com concentrações de cromo total menores ou iguais a 0,05 mg/l, acima de 0,05 mg/l e variando de 0,005-0,155 mg/l e os respectivos anos de coleta. Estas coletas foram feitas em um ou mais poços de

cada localidade.

Localidades com concentrações de cromo total $\leq 0,05$ mg/l

Álvares Florence (82/88), Aparecida D' Oeste (87/88/89), Arabá (80), Auriflama (81/82/84/88/89), Boa Vista dos Andradas (82/87/89), Cardoso (89), Dalas (80), Dulcelina (86/87/88/89), Esmeralda (81/87/88/89), Estrela D' Oeste (81), Fátima Paulista (93), Gastão Vidigal (80/84), Ida Iolanda (79), Indiaporã (80/87/88/93), Macedônia (81/84/87/88), Mesópolis (80), Monções (87/88), Nova Lusitânia (83/88/91), Palmeira D' Oeste (79/90), Paranapuã (79), Riolândia (85/86), Rubinéia (80/87/88/89), Santa Albertina (87/88/89), Santa Isabel do Marinho (80), São João do Marinho (79), Sebastianópolis do Sul (85), Socimbra (85), Tupinambá (87/88), Turiuba (84), Turmalina (81/87/88/89), Vila Alves (79), Vitória Brasil (79).

Localidades com concentrações de cromo total $> 0,05$ mg/l

Dirce Reis (93), Mangaratú (82/83), Santa Salete (90/93).

Localidades onde as concentrações de cromo total variam de 0,005 a 0,155 mg/l

Aspásia (80/81/83/87/88/89/90), Bandeirante D' Oeste (85/93), Dolcinópolis (87/88/89/92/93), Gurolândia (85/88/93), Jales (80/87/88/92/93), Marínópolis (89/91/92/93), Mira Estrela (80/81/84/87/88), Pedranópolis (81/84/86/87/89), Pontalinda (79/80/87), Santa Clara D' Oeste (82/87/88/89), Santana da Ponte Pensa (79/87/88/89/90), São Francisco (87/88/90/93), São João das Duas Pontes (84/87/93), Sud Mennucci (81/88/91/93), União Paulista (89), Urânia (77/78/79/80/81/82/83/84/87/88/89/90/92/93).

A partir destes resultados é possível observar que a anomalia de cromo encontra-se distribuída por uma ampla região, apresenta-se de forma irregular, tanto temporal quanto espacialmente.

5.1.2.CROMO HEXAVALENTE

Os resultados das análises físico-químicas das águas subterrâneas das doze localidades do noroeste paulista encontram-se na tabela 03. Esta tabela apresenta as localidades onde foram coletadas as amostras de água, os poços, as datas de coleta, as concentrações de cromo hexavalente, temperaturas do ar e da água, pH, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos (STD).

Nestas doze localidades, os parâmetros acima citados apresentam as seguintes variações: cromo hexavalente: $<0,0025-0,10$ mg/l; temperatura do ar: $25-36$ °C; temperatura da água: $23-29$ °C, pH: $6,3-9,8$ (nos poços tubulares); condutividade elétrica: $128-440$ μ S/cm à 25 °C; sólidos totais dissolvidos: $64-220$ mg/l. As variações dos teores de cromo hexavalente com o pH, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos podem ser vistas nos gráficos 1A, 1B e 1C. Estes gráficos mostram um comportamento irregular entre os parâmetros anteriormente citados, não permitindo estabelecer uma relação entre eles. O gráfico 1A, no entanto, mostra que os teores de cromo apresentam uma tendência a aumentar com o pH.

Pela tabela 03, nota-se que as concentrações de cromo hexavalente na maioria das localidades estão abaixo ou no limite de potabilidade ($\leq 0,05$ mg/l): Américo de Campos, Aparecida do Bonito, Aspásia, Cosmorama, Meridiano, Parisi, Simonsen, Suzanápolis Votuporanga. Santa Salete porém, apresenta uma concentração de cromo hexavalente acima do limite de potabilidade ($> 0,05$ mg/l). Em Santa Rita D'Oeste e Urânia as concentrações de cromo hexavalente variam

acima e abaixo de 0,05 mg/l, dependendo do poço. Os pontos onde ocorrem concentrações de cromo hexavalente também foram plotados no mapa da figura 04.

Pela tabela 03 e figura 04, é possível observar que as concentrações de cromo hexavalente variam de localidade para localidade e também nos poços de uma mesma localidade, mostrando uma distribuição espacial irregular.

Não foi possível obter um padrão que pudesse explicar esta distribuição irregular (tempo e espaço) das concentrações de cromo total e hexavalente.

Tabela 03: Resultados das análises físico-químicas das águas subterrâneas das 12 localidades do noroeste paulista.

Localidade	Poço	Data de coleta	Cromo hex. (mg/l)	T ar (° C)	T água (° C)	pH	Condut. elétrica (μS/cm) à 25 °C	STD (mg/l)
1-Américo de Campos	P 1	08/12/94	0,01	30	28	9,6	260	130
	P 2	08/12/94	0,03	32	27	7,6	188	94
2-Aparecida do Bonito (dist. Sta. Rita D'Oeste)	Poço cacimba	07/12/94	<0,0025	28	26	5,3	132	66
3-Aspásia	P 3	09/12/94	0,05	32	27	7,8	290	140
4-Cosmorama	P 1	08/12/94	0,02	31	26	7,1	260	140
	P 2	08/12/94	0,04	32	27	6,8	220	110
	P 4	08/12/94	0,05	30	26	7,9	180	90
5-Meridiano	P 1	08/12/94	0,04	28	25	7,9	180	91
	P 2	08/12/94	0,04	28	25	6,9	250	130
6-Parisi	P 1	08/12/94	0,02	36	28	6,7	160	80
	P 2	08/12/94	0,01	36	29	6,3	160	80
	P 3	08/12/94	0,02	36	28	6,6	260	130
7-Santa Rita D' Oeste	P 1	07/12/94	0,03	29	27	9,5	260	130
	P 2	07/12/94	0,08	29	28	9,8	300	155
8-Santa Salete (dist. de Urânia)	P 1	09/12/94	0,10	32	27	9,1	175	88
9-Simonsen (dist. de Votuporanga)	P 1	08/12/94	0,05	34	28	7,6	230	120
10-Suzanápolis	P 1	07/12/94	0,02	30	26	6,6	137	79
	P 4	07/12/94	0,02	27	23	7,7	210	110
11-Urânia	P 1	09/12/94	0,03	29	27	7,3	147	70
	P 2	09/12/94	0,08	29	28	8,5	157	79
	P 4	09/12/94	0,08	32	28	8,7	158	79
	P 5	07/12/94	0,08	30	23	8,8	152	76
	P 6	07/12/94	0,04	25	26	7,4	153	76
	P 8	07/12/94	0,08	26	26	7,9	128	64
12-Votuporanga	P 1	08/12/94	<0,0025	34	35*	9,2	440	220

* = temperatura da água resfriada

Gráfico 1A: Variação dos teores de cromo hexavalente (mg/l) com o pH.

Gráfico 1B: Variação dos teores de cromo hexavalente (mg/l) com a condutividade elétrica (μS/cm).

Gráfico 1C: Variação dos teores de cromo hexavalente (mg/l) com os sólidos totais dissolvidos (mg/l).

5.1.3.CROMO TOTAL, HEXAVALENTE E NITROGÊNIO NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE URÂNIA

As concentrações de cromo total, cromo hexavalente e nitrogênio nitrato dos seis poços da cidade de Urânia (P 1, P 2, P 3, P 4, P 5, P 6), serão descritas a seguir, juntamente com as datas das coletas. Os dados foram plotados em gráficos que apresentam os valores das concentrações destes parâmetros com o tempo.

Poço 1

O gráfico 2A apresenta os valores das concentrações de cromo total variando de 0,023 a 0,122 mg/l, num período de coleta de água que vai de 24/08/77 a 20/08/90.

No gráfico 2B estão as concentrações de cromo total (0,023-0,068 mg/l), hexavalente (0,023-0,068 mg/l) e nitrogênio nitrato (0,6-1,1 mg/l), variando com a data de coleta (18/03/81-26/06/87).

Poço 2

No gráfico 3A estão as concentrações de cromo total (mg/l) variando de 0,04 a 0,155 mg/l, num período de 24/08/77 a 01/12/93.

O gráfico 3B apresenta as concentrações de cromo total (0,155-0,073 mg/l), hexavalente (0,073-0,06 mg/l) e nitrogênio nitrato (0,71-1 mg/l), variando com a data de coleta (16/10/84-26/06/87).

Poço 3

No gráfico 4A encontram-se as concentrações de cromo total (mg/l) variando de 0,011 a 0,043 mg/l num período de 24/08/77 a 20/08/90.

O gráfico 4B apresenta as concentrações de cromo total (0,035-0,024 mg/l), hexavalente (0,012-0,024 mg/l) e nitrogênio nitrato (3,7-3,9 mg/l), variando com a data de coleta (16/10/84-26/06/87).

Poço 4

No gráfico 5A estão as concentrações de cromo total (mg/l) variando de 0,05 a 0,11 mg/l num período de 24/08/77 a 01/12/93.

No gráfico 5B encontram-se as concentrações de cromo total (0,09-0,11 mg/l), hexavalente (0,036-0,11 mg/l) e nitrogênio nitrato (0,12-0,09 mg/l), variando com a data de coleta (16/10/84-26/06/87).

Poço 5

No gráfico 6A encontram-se as concentrações de cromo total (mg/l) variando de 0,052 a 0,11 mg/l num período de 26/05/81 a 01/12/93.

O gráfico 6B apresenta as concentrações de cromo total (0,11-0,108 mg/l), hexavalente (0,08-0,108 mg/l) e nitrogênio nitrato (0,08-0,07 mg/l), variando com a data de coleta (16/10/84-26/06/87).

Poço 6

O gráfico 7A apresenta os valores das concentrações de cromo total variando de 0,012 a 0,107 mg/l, num período de 13/04/83 a 01/12/93.

No gráfico 7B estão as concentrações de cromo total (0,054-0,012 mg/l), hexavalente (0,036-0,012 mg/l) e nitrogênio nitrato (1,7-5,1 mg/l), variando com a data de coleta (16/10/84-26/06/87).

Pelos gráficos a seguir, nota-se que as concentrações de cromo total, hexavalente e nitrogênio nitrato apresentam uma distribuição irregular em relação à data de coleta das amostras de água. Não foi possível definir uma relação entre estes parâmetros.

Urânia P 1

Gráfico 2A: Concentrações de cromo total (mg/l) com a data de coleta do poço 1 em Urânia.

Urânia P 1

Gráfico 2B: Concentrações de cromo total, hexavalente e nitrogênio nitrato com a data de coleta do poço 1 em Urânia

Urânia P 2

Gráfico 3A: Concentrações de cromo total (mg/l) com a data de coleta no poço 2 em Urânia.

Urânia P 2

Gráfico 3B: Concentrações de cromo total, hexavalente e nitrogênio nitrato com a data de coleta do poço 2 em Urânia

Gráfico 4A: Concentrações de cromo total (mg/l) com a data de coleta no poço 3 em Urânia.

Gráfico 4B: Concentrações de cromo total, hexavalente e nitrogênio nitrato com a data de coleta do poço 3 em Urânia

Urânia P 4

Gráfico 5A: Concentrações de cromo total (mg/l) com a data de coleta no poço 4 em Urânia.

Urânia P 4

Gráfico 5B: Concentrações de cromo total, hexavalente e nitrogênio nitrato com a data de coleta do poço 4 em Urânia

Urânia P 5

Gráfico 6A: Concentrações de cromo total (mg/l) com a data de coleta no poço 5 em Urânia.

Urânia P 5

Gráfico 6B: Concentrações de cromo total, hexavalente e nitrogênio nitrato com a data de coleta do poço 5 em Urânia

Urânia P 6

Gráfico 7A: Concentrações de cromo total (mg/l) com a data de coleta no poço 6 em Urânia.

Urânia P 6

Gráfico 7B: Concentrações de cromo total, hexavalente e nitrogênio nitrato com a data de coleta do poço 6 em Urânia

5.1.4. CROMO TOTAL E HEXAVALENTE EM POÇOS SELECIONADOS DE URÂNIA E SANTA SALETE

Os resultados das análises físico-químicas das águas subterrâneas dos poços de Urânia (P 2, P 4, P 5) e Santa Salete (P 1) encontram-se na tabela 04. Alguns parâmetros, de uma ou outra coleta, deixaram de ser analisados por problemas técnicos.

Por esta tabela nota-se que há uma variação dos teores de cromo total e cromo hexavalente em relação ao tempo. Os teores de cromo total variam de 0,08-0,13 mg/l e os de cromo hexavalente de 0,07-0,10 mg/l, sendo que estes teores estão acima do valor máximo permissível (0,05 mg/l).

Como não foi possível monitorar os poços durante um ano hidrológico, é difícil uma explicação para estas variações dos teores de cromo. Através dos gráficos 8A e 8B observa-se que os teores de cromo total aumentam na segunda coleta e diminuem na terceira, sendo que, para o cromo hexavalente, o mesmo só ocorre para o poço de Santa Salete.

Os teores anômalos de cromo, apesar de não serem alarmantes, podem comprometer a qualidade das águas subterrâneas, sendo necessário um tratamento de redução deste cromo, que pode encarecer o custo da água potável.

Nestas coletas também foram medidos e analisados outros parâmetros, que apresentam as seguintes variações: temperatura do ar (27-35°C), temperatura da água (21-26 °C), pH (8,6-9,1), Eh (140-195 mV), condutividade elétrica à 25°C (150-260 µS/cm), sólidos totais dissolvidos (81,9-128,0 mg/l), sulfato (0,01-0,10 mg/l), bicarbonato (60-76 mg/l), fluoreto (0,1-0,3 mg/l), sódio (24-41 mg/l), potássio (0,50-2,50 mg/l), ferro total (0,03-0,21 mg/l), alumínio (0,01-0,02 mg/l), sílica (9-30 mg/l). As concentrações dos parâmetros STD, sulfato, nitrato, fluoreto, ferro total e manganês estão dentro dos limites de potabilidade.

Tabela 04: Parâmetros analisados nas coletas de água dos poços de Urânia e Santa Salete.

Data de coleta	Local	Pç	Hora da coleta	Cr total (mg/l)	Cr hex. (mg/l)	Temp ar (°C)	Temp água (°C)	pH	Eh (mV)	Cond.el. (µS/cm à 25°C)	STD (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Bicarbon. (mg/l)	Nitrog. nitrato (mg/l N)	Fluoreto (mg/l)	Sódio (mg/l)	Potás. (mg/l)	Ferro total (mg/l)	Mang. (mg/l)	Alum. (mg/l)	Silica (mg/l)	Res. Seco 180° C
8/3/95	Sta. Sal.	P 1	11:50	0,12	0,09	33	26	8,8	140	260	128,0	0,10	76	0,01	0,1	29	2,50	0,07	—	0,01	20,0	159
	Urânia	P 2	13:15	0,10	0,08	35	25	8,9	195	150	81,9	0,10	71	0,01	0,1	26	1,80	0,07	—	0,01	15,0	114
	Urânia	P 4	13:40	0,11	0,09	34	24	9,1	195	150	83,0	0,10	73	0,01	0,2	33	0,50	0,05	—	0,01	15,0	117
	Urânia	P 5	14:05	0,10	0,08	33	25	9,1	195	160	78,6	0,10	66	0,01	0,3	37	0,50	0,03	—	0,01	9,0	107
30/3/95	Sta. Sal.	P 1	10:00	0,13	0,10	29	26	9,0	—	—	—	0,10	—	—	0,2	—	—	0,05	0,01	0,02	—	—
	Urânia	P 2	11:00	0,11	0,08	30	25	8,6	—	—	—	0,10	—	—	0,2	—	—	0,03	0,01	0,13	—	—
	Urânia	P 4	11:10	0,12	0,08	30	26	9,0	—	—	—	0,10	—	—	0,1	—	—	0,07	0,01	0,04	—	—
	Urânia	P 5	11:20	0,10	0,07	30	26	8,0	—	—	—	0,10	—	—	0,2	—	—	0,07	0,01	0,14	—	—
30/5/95	Sta. Sal.	P 1	13:30	0,10	0,09	27	21	8,0	180	200	98,0	0,06	70	—	0,1	—	2,12	0,11	0,01	0,01	30,0	—
	Urânia	P 2	14:40	0,08	0,06	27	21	8,9	185	160	89,0	0,09	74	—	0,1	—	1,62	0,10	0,01	0,02	28,7	—
	Urânia	P 4	14:20	0,10	0,08	27	22	9,1	170	160	95,0	0,01	70	—	0,1	—	0,80	0,12	0,01	0,01	25,4	—
	Urânia	P 5	14:05	0,08	0,06	27	21	9,1	170	160	97,0	0,01	60	—	0,1	—	0,65	0,21	0,01	0,02	18,5	—

--- não foram medidos/analizados

Valor máximo permissível (de acordo com a Portaria 36 do Ministério da Saúde):

Cromo total: 0,05 mg/l
STD: 1000 mg/l
Sulfato: 400 mg/l
Nitrogênio nitrato: 10 mg/l
Fluoreto: 0,6-1,7 mg/l
Ferro total: 0,3 mg/l
Manganês: 0,1 mg/l
Alumínio: 0,2 mg/l

Gráfico 8A: Variação dos teores de cromo total (mg/l) nos poços de Urânia e Santa Salete com o tempo

Gráfico 8B: Variação dos teores de cromo hexavalente (mg/l) dos poços de Urânia e Santa Salete com o tempo.

Como a preocupação maior desta pesquisa é analisar o cromo e por problemas técnicos com a SABESP, não foram feitos alguns parâmetros necessários para um estudo hidroquímico mais completo, que permite fazer um balanço iônico, classificar a composição química destas águas, sua potabilidade para consumo humano, agricultura e pecuária, calcular o potencial para incrustação/corrosão.

5.1.5.CROMO TOTAL EM POÇOS PERFURADOS APENAS NO GRUPO BAURU OU EM POÇOS COM ENTRADAS DE ÁGUA APENAS NA FORMAÇÃO SERRA GERAL

Os poços perfurados apenas nos sedimentos do Grupo Bauru e nos basaltos da Formação Serra Geral, juntamente com as concentrações de cromo total das águas subterrâneas e a data de coleta, encontram-se na tabela 05.

Por esta tabela nota-se que na maioria dos poços perfurados apenas nos sedimentos, as concentrações de cromo total são menores do que 0,05 mg/l, variando de 0,005 a 0,040 mg/l. Nos poços de São João das Duas Ponte e Urânia a concentração de cromo total encontra-se abaixo e acima de 0,05 mg/l, num intervalo de 0,011 a 0,155 mg/l. Nos poços com entradas de água apenas nos basaltos, as concentrações de cromo total encontram-se abaixo de 0,05 mg/l, variando de 0,007 a 0,018 mg/l.

Estes resultados mostram que as maiores concentrações de cromo total são encontradas em águas provenientes dos sedimentos do Sistema Aquífero Bauru.

Tabela 05: Concentrações de cromo total (mg/l) em poços perfurados apenas no Grupo Bauru e poços com entradas de água apenas na Formação Serra Geral

Poços perfurados apenas no G.Bauru	Variação de cromo total (mg/l) com a data de coleta	Poços com entradas de água apenas na F. S.Geral	Concentração de cromo total (mg/l) com a data de coleta
Auriflama (P 2)	0,005 (26/04/84)-0,011 (28/02/89)	Cardoso (P 1)	0,007 (15/02/89)
Auriflama (P 3)	0,005 (20/10/81)-0,005 (26/04/84)	Paranapuã (P 3)	0,018 (29/12/79)
Auriflama (P 7)	0,018 (26/04/84)	Riolândia (P 5)	0,008 (08/02/85)
Macedônia (P 1)	0,014 (13/05/81)-0,021 (09/08/88)	Riolândia (P 6)	0,006 (18/01/86)
Palm.Oeste (P 1)	0,005 (12/03/90)	S.I.Marinheiro (P 1)	0,008 (11/10/80)
Palm.Oeste (P 2)	0,005 (12/03/90)		
Pedranópolis (P 5)	0,005 (20/07/85) cromo hexaval.		
S.J.D.Pontes (P 2)	0,040 (18/05/84)-0,070 (06/05/93)		
Urânia (P 1)	0,023 (26/06/87)-0,122 (20/08/90)		
Urânia (P 2)	0,040 (24/08/77)-0,155 (16/10/84)		
Urânia (P 3)	0,011 (13/04/83)-0,043 (20/01/83)		

5.2.AVALIAÇÃO GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS, SEDIMENTOS E ROCHAS BASÁLTICAS DE URÂNIA-S.P.

As amostras de sedimentos de Urânia são de ocorrência superficial, estando bem alteradas pelos fenômenos intempéricos. As de sedimentos do poço P 9 também devem ser vistas com cuidado, uma vez que não são conhecidos os teores de cromo da lama de perfuração (bentonita), e não é possível extraí-la das amostras de material argiloso.

5.2.1.ANÁLISES DE ÁGUAS

Na figura 05 encontra-se um esboço do perfil geológico do poço P 9. A figura 06 mostra a localização do poço. Este poço foi perfurado em janeiro/95 no município de Urânia pela GEOPLAN. Localiza-se próximo ao Córrego Comprido, sendo suas coordenadas geográficas 7763,40/539,25 e a cota topográfica da boca do poço, 420 metros. Possui 67,60 metros de sedimentos da Formação Adamantina, e a partir daí, até a profundidade de 270 metros, encontram-se os basaltos da Formação Serra Geral. Toda a extensão de sedimento foi cimentada. Após a perfuração, o poço foi abandonado devido a sua baixa vazão (2,2 m³/h). Tomou-se o cuidado de lacrar o poço.

Durante a coleta de água do poço 9 em três profundidades diferentes (114, 180-182, 270 metros) para análise de cromo total, mediu-se em campo a temperatura do ar, da água, o pH, a condutividade elétrica, os sólidos totais dissolvidos (STD) (tabela 06). A 270 metros foram analisados os teores dos seguintes íons: cloreto (9 mg/l), sulfato (1,98 mg/l), cálcio (6 mg/l), magnésio (7 mg/l), ferro total (2,3 mg/l), alumínio (0,02 mg/l).

Figura 05: Esboço do perfil geológico do poço 9 em Urânia.

Escala vertical 1: 2.000, o diâmetro do poço não está em escala.

Figura 06: Localização de poços tubulares e de pontos de amostragem de sedimentos na sede do município de Urânia.

Fonte: Folha topográfica SF 22-D-1-2-Santa Albertina, Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo, 1965 (simplificado).

Tabela 06: Resultados das análises físico-químicas de águas subterrâneas do poço 9, em três profundidades.

Profund (m)	Data de coleta	Cr total (mg/l)	Temp. ar (° C)	Temp. água (° C)	pH	Cond. el. (µS/cm) à 25°C	STD (mg/l)
114	13/01/95	0,03	35	28	9,9	337	169
180-182	14/01/95	0,01	---	---	9,9	216	206
270	15/01/95	0,03	38	28	9,7	281	143

--- não foram medidos

Como mostra a tabela 06, a concentração de cromo total a 114 metros é de 0,03 mg/l; a 180-182 metros é de 0,01 mg/l; a 270 metros é 0,03 mg/l. É importante ressaltar que nestas profundidade encontram-se os basaltos e que nos sedimentos superiores houve cimentação.

Foram feitas coletas de água em dois poços que só atingem os sedimentos, e as concentrações de cromo total são mais altas do que as anteriores. No poço da Fazenda Jatobá (PF), com coordenadas geográficas aproximadas de 7763,57/537,55, no município de Urânia, a concentração de cromo total é de 0,09 mg/l. No poço do Posto de Gasolina Garção (PG), onde as coordenadas geográficas aproximadas são 7762,75/535,30, também em Urânia, a concentração é de 0,05 mg/l (tabela 07). A localização destes poços encontra-se na figura 06.

Amostras coletadas no Córrego Comprido apresentaram concentrações de cromo total e hexavalente abaixo do limite de detecção do equipamento (<0,0025 mg/l). Foram coletadas em locais diferentes, uma ao longo da extensão do Córrego e a outra numa mina que deságua no Córrego e possui despejo do lixo municipal, do matadouro municipal e de um depósito de ferro velho.

Estes resultados mostram que as concentrações de cromo em poços que só atingem os sedimentos são mais elevadas do que as do poço P 9, que possui entradas de água apenas nos basaltos. As concentrações de cromo nas águas

subterrâneas também são superiores às encontradas nas águas do Córrego Comprido.

Tabela 07: Resultados das análises de parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas dos poços da Fazenda Jatobá e Posto Garção.

Local	Data de coleta	Cr total (mg/l)	Temp. ar (° C)	Temp.água (° C)	pH	Cond. el. (µS/cm) à 25°C	STD (mg/l)
Faz.Jatobá	13/01/95	0,09	31	---	9,1	128	64,6
Posto Garção	14/01/95	0,05	30	26	7,3	235	108

--- não foi medida

5.2.2.ANÁLISE DOS SEDIMENTOS DE URÂNIA E DO POÇO 9

Foram analisadas cinco amostras de sedimentos, sendo que duas afloram em Urânia e três são do poço 9.

As amostras que afloram em Urânia são as de código A 4 e A 6. A primeira é um solo argiloso amarronzado e foi coletada à margem do Córrego Comprido, próxima ao poço 9. A segunda, apresentava-se menos alterada, com maior coesão e foi descrita como um argilito avermelhado, coletado próximo à Lagoa de Aeração, onde se localiza o poço 5, que possui coordenadas geográficas 7761,50/538,20. A localização destes pontos de amostragem e do poço 5 encontra-se na figura 06.

As amostras do poço 9 são as de código 18, 30, 54, sendo que estes códigos referem-se às profundidades em metros que foram coletadas. Estes sedimentos são argilo-siltosos, na maioria das vezes avermelhados.

Foram analisados os seguintes elementos: zinco (Zn), cromo (Cr), cobre (Cu), zircônio (Zr) e ítrio (Y). Suas concentrações são apresentadas na tabela 08 e comparadas com as concentrações médias destes elementos encontrados em folhelhos (Krauskopf, 1979; tabela 09).

Comparando as tabelas 08 e 09 nota-se que as concentrações de Zn dos sedimentos de Urânia, estão próximas às da média da crosta terrestre. As concentrações de Cu estão abaixo da média. No entanto, as concentrações de Cr e Zr dos sedimentos de Urânia nem sempre coincidem com as médias da crosta terrestre, sendo que o cromo nos sedimentos de Urânia está acima da média em todas as amostras. As concentrações de Cr e Zr na amostra A 4 estão muito acima da média encontrada na crosta terrestre.

O ICP-AES possui um limite de detecção dos elementos, de 20 ppm, para o tipo de abertura de amostra que foi seguido. Por isso, as concentrações com o sinal < 20 ppm não possuem um valor absoluto.

Com a amostra A 6 foi feito um teste de reproducibilidade. Os resultados de A 6 e A 6 (rep.) são semelhantes, mostrando que existe uma boa reprodução dos resultados.

Tabela 08: Concentrações (ppm) de alguns elementos analisados nos sedimentos do poço 9 em Urânia.

Elementos analisados (ppm)	Amostras					
	A 4	A 6	A 6 (rep.)	18	30	54
Zn	87	123	123	51	219	45
Cr	561	231	233	131	310	174
Cu	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Zr	599	329	332	151	230	169
Y	< 20	83	84	< 20	< 20	< 20

A 6 (rep.): Reproducibilidade.

Tabela 09: Abundância média dos elementos em folhelhos (ppm).

Folhelho	Zn	Cr	Cu	Zr	Sc	Y
(ppm)	90	100	50	180	15	35

Fonte: Krauskopf, 1979.

5.2.3. ANÁLISE DOS BASALTOS DO POÇO 9

As onze amostras de basaltos do poço 9 foram descritas utilizando-se uma lupa binocular do DMP. A maioria delas é melanocrática de textura fanerítica fina e não apresenta vesículas. Algumas amostras contêm calcita, que foi extraída por catação por pinça. Uma descrição sucinta encontra-se no anexo 03.

Nos basaltos determinou-se as concentrações dos seguintes elementos: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , Cr , Ni , V , Ba , Sr (tabela 10). Na tabela 11 são apresentadas as concentrações médias de alguns elementos encontrados nos basaltos, segundo Krauskopf, 1979.

Pela tabela 10 é possível constatar que os basaltos podem ser divididos em quatro grupos com características geoquímicas diferentes, de acordo com a profundidade. Estes grupos apresentam concentrações equivalentes para cada elemento.

O grupo I corresponde às profundidades 70, 90 e 110 metros. O grupo II, 130, 150 e 170 metros. O grupo III, 190, 210 e 230 metros, e o grupo IV, 250 e 270 metros.

Os topos dos derrames, identificados pelo caráter alterado e amigdaloidal dos basaltos, encontram-se nos seguintes intervalos de profundidade : 110-124 metros, 178-180 metros, 240-246 metros.

Os basaltos da Bacia do Paraná podem ser classificados em três grupos, de acordo com a porcentagem de P_2O_5 e TiO_2 (Piccirillo, 1988):

- HPT (high P_2O_5 e TiO_2) $> 3\% \text{ TiO}_2$;
- LPT (low P_2O_5 e TiO_2) $< 2\% \text{ TiO}_2$;
- IPT (intermediate P_2O_5 e TiO_2) $2\text{-}3\% \text{ TiO}_2$

Nos basaltos do poço 9 de Urânia podem ser claramente identificados representantes de todos estes três grupos. O grupo II é classificado como LPT, e

apresenta baixas concentrações de Ti e P e altas de Mg, Ca, Cr e Ni. O grupo III corresponde ao HPT, com altas concentrações de Fe, Ti, P, Ba, Sr. Os HPT são considerados predominantes no Estado de São Paulo.

Comparando as tabelas 10 e 11, nota-se que as concentrações dos elementos Cr e Ni em todas as rochas estão abaixo da média de basaltos da crosta terrestre. As concentrações de V estão muito acima da média. Os elementos Ba e Sr apresentam concentrações próximas às da média.

Tabela 10: Concentrações (ppm) de alguns elementos analisados nos basaltos do poço 9 em Urânia.

Elementos analisados (ppm)	Profun (m)										
	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270
SiO ₂	50,14	52,07	49,33	50,01	50,85	51,47	48,74	50,40	49,87	48,57	49,64
Al ₂ O ₃	12,85	13,16	13,54	13,74	13,66	13,59	12,89	12,44	12,56	13,16	12,96
Fe ₂ O ₃	14,38	14,48	14,96	13,74	13,76	13,59	15,92	16,41	16,00	15,89	15,65
MgO	5,17	5,47	5,37	6,25	6,18	6,10	4,26	4,46	4,49	5,46	5,33
CaO	9,20	9,70	9,30	10,45	10,18	10,01	8,55	8,43	8,53	9,96	9,73
Na ₂ O	2,86	2,64	3,04	2,48	2,49	2,47	2,75	2,69	2,63	2,52	2,51
K ₂ O	1,55	1,02	1,56	0,73	0,98	1,01	1,26	1,46	1,46	0,67	1,03
TiO ₂	2,02	1,97	2,06	1,87	1,80	1,85	3,69	3,84	3,67	2,70	2,65
P ₂ O ₅	0,25	0,24	0,26	0,23	0,23	0,24	0,57	0,57	0,54	0,29	0,29
MnO	0,20	0,19	0,25	0,23	0,21	0,21	0,23	0,25	0,23	0,19	0,22
Total	98,62	100,9	99,67	99,73	100,3	100,5	98,86	101,0	99,98	99,41	100
Cr	94	84	101	159	168	164	20	20	20	55	59
Ni	37	50	44	71	70	75	< 20	< 20	20	32	29
V	470	432	459	408	400	410	481	469	493	508	507
Ba	387	293	373	272	258	263	495	457	455	289	311
Sr	395	387	385	392	339	330	435	421	426	458	439

Tabela 11: Abundância média dos elementos em basaltos (ppm).

Basalto (ppm)	Cr	Ni	Co	V	Ba	Sr
	200	150	48	250	300	450

Fonte: Krauskopf, 1979

5.3.LEVANTAMENTO SOBRE EVENTUAIS PROBLEMAS DE SAÚDE DA POPULAÇÃO ABASTECIDA POR ÁGUAS SUBTERRÂNEAS COM TEORES DE CROMO ACIMA DO LIMITE DE POTABILIDADE

Foram feitos contatos com o Escritório Regional de Saúde de Jales (ERSA) e com o Centro de Saúde de Urânia para se obter informação sobre a existência de estudos na região que comprovassem doenças causadas pela ingestão de água contendo cromo.

Segundo Gisele Maria Pietrobon Garcia do ERSa, não há nenhum estudo que comprove que a ingestão de água contendo cromo causa problemas à população da região. Não existe registrado nenhum caso.

Setuo Kitayama, médico cirurgião do ERSa, lembra que algumas referências bibliográficas colocam que o cromo, por ser um metal pesado, difícil de ser eliminado pelo organismo e com efeito acumulativo, causa tumores malignos.

Kitayama diz que existem casos de tumores malignos na região de Jales. Porém, não é possível relacionar estes tumores com a ingestão de água contendo cromo, pois não foi feito nenhum estudo. Também não existe um estudo comparativo entre as cidades da região em relação à incidência de câncer.

José Rubens Gitti, Coordenador e Diretor do Centro de Saúde de Urânia, coloca que existem bibliografias que citam o problema causado pelo cromo através da ingestão de água. Entretanto não foi feito nenhum estudo em Urânia. Na cidade existem aproximadamente vinte pessoas com câncer (fígado, garganta, estômago) mas não se sabe o que provocou a doença.

6.SÍNTESE DOS RESULTADOS

-a anomalia de cromo nas águas subterrâneas foi constatada em vários municípios e distritos do noroeste paulista. As concentrações deste elemento estão distribuídas de forma irregular, tanto temporal quanto espacialmente;

-o cromo total encontra-se distribuído nas águas subterrâneas de várias localidades da região noroeste do Estado de São Paulo. Dentre as 54 localidades analisadas, no período de 1977 a 1993, observou-se que as concentrações deste elemento, na maioria delas, são menores ou iguais ao limite de potabilidade ($\leq 0,05$ mg/l). Em Dirce Reis, Mangaratu e Santa Salete, as concentrações estão acima deste limite ($>0,05$ mg/l). Há ainda localidades em que as concentrações variam abaixo e acima deste limite, no intervalo de 0,005 a 0,155 mg/l. Estas concentrações variam com a data de coleta num mesmo poço e também de poço para poço numa mesma localidade;

-nas 12 localidades do noroeste paulista onde foi realizada coleta de água subterrânea para análise de cromo hexavalente observou-se que em nove destas localidades, as concentrações são menores ou iguais ao limite de potabilidade ($\leq 0,05$ mg/l) (Américo de Campos, Aparecida do Bonito, Aspásia, Cosmorama, Meridiano, Parisi, Simonsen, Susanópolis, Votuporanga). Santa Salete porém, apresenta concentração maior do que 0,05 mg/l. Em Santa Rita D'Oeste e Urânia, as concentrações variam abaixo e acima de 0,05 mg/l, dependendo do poço;

-as concentrações de cromo total, cromo hexavalente e nitrogênio nitrato das águas subterrâneas de Urânia, no período de 1977 a 1993 também apresentam uma distribuição irregular em relação ao poço amostrado e a data de coleta;

-as três coletas de águas realizadas nos poços de Urânia (P 2, P 4, P 5) e Santa Salete (P 1), num período de 83 dias, mostraram que as concentrações de cromo total e hexavalente estão acima do limite de potabilidade. Nos quatro poços, em todas as três coletas, estas concentrações variam de 0,08 a 0,13 mg/l para cromo total e de 0,07 a 0,09 mg/l para cromo hexavalente. As concentrações dos parâmetros STD, sulfato, nitrogênio nitrato, fluoreto, ferro total e manganês, analisados nestas coletas, estão abaixo dos limites de potabilidade;

-a maioria dos poços perfurados apenas nos sedimentos do Grupo Bauru apresentam concentrações de cromo total menor do que 0,05 mg/l, variando de 0,005 a 0,040 mg/l. Nos poços de São João das Duas Pontes e Urânia (P 1, P 2, P 3) a concentração de cromo total encontra-se abaixo e acima de 0,05 mg/l, num intervalo de 0,011 a 0,155 mg/l. Estes resultados são de análises feitas no período de 1977 a 1990;

-nos poços com entradas de água apenas nos basaltos, as concentrações de cromo total encontram-se abaixo de 0,05 mg/l, variando de 0,007 a 0,018 mg/l, no período de 1979 a 1989;

-as análises de água do poço 9 em Urânia, em três profundidades que só atingem os basaltos (114, 180-182, 270 metros), mostraram concentrações de cromo total variando de 0,01 a 0,03 mg/l;

-as análises de água de dois poços que só atingem os sedimentos, um na Fazenda Jatobá e outro no Posto de Gasolina Garção, apresentaram concentrações de cromo total variando de 0,05 a 0,09 mg/l;

-as amostras de sedimentos de Urânia (2 que afloram na área e 3 do poço 9) mostraram concentrações de cromo acima da média encontrada em sedimentos similares da crosta terrestre. Em uma das amostras que aflora na cidade, a concentração de cromo e zircônio está muito acima da média;

-as onze amostras de basaltos do poço 9 em Urânia, coletadas a diferentes profundidades, apresentam concentrações de cromo e níquel abaixo da média dos basaltos da crosta terrestre. As concentrações de Vanádio estão muito acima desta média, e

-um levantamento sobre a saúde da população de Urânia mostrou que não foi realizado nenhum estudo na região que comprovasse doenças causadas pela ingestão de água contendo cromo acima do limite de potabilidade.

7. CONCLUSÕES

Através da integração dos dados e do estudo sistemático dos teores de cromo nas águas, sedimentos e rochas, obteve-se as seguintes conclusões:

- a anomalia de cromo estende-se além da cidade de Urânia, a outros municípios e distritos do noroeste paulista, não significando que em locais onde não foram feitas análises químicas das águas subterrâneas, ela não esteja presente;
- o cromo nas águas subterrâneas de diversas localidades da região noroeste do Estado de São Paulo apresenta concentrações variáveis, sendo que em alguns locais ultrapassam os limites máximos permissíveis para o consumo humano, afetando a qualidade destas águas utilizadas para abastecimento público;
- as concentrações de cromo nas águas subterrâneas variam com a data de coleta destas águas num mesmo poço, de poço para poço numa mesma localidade e de localidade para localidade. Este estudo mostra que a anomalia de cromo está distribuída de forma irregular, tanto temporal quanto espacialmente;
- - a origem do cromo é discutível, apesar de fortes evidências de ser natural, são necessários estudos mais aprofundados para um maior esclarecimento. Algumas das evidências do cromo ter origem natural são: a anomalia de cromo apresenta-se distribuída por uma ampla região; foram encontradas altas concentrações de cromo nos sedimentos de Urânia;
- concentrações de cromo nas águas de poços perfurados apenas nos sedimentos da Formação Adamantina do Grupo Bauru, apresentam valores mais altos do que nas águas de poços com entradas de água apenas nos basaltos da Formação Serra Geral.

Estes dados, somados às altas concentrações de cromo encontradas nos sedimentos de Urânia, evidenciam que se a origem é natural, pode estar associada aos sedimentos da Formação Adamantina;

- não existem conclusões relevantes se os teores de cromo acima do limite de potabilidade podem causar problemas à saúde da população abastecida por estas águas.

8.RECOMENDAÇÕES

-cuidados devem ser tomados com as águas subterrâneas da região noroeste do do Estado de São Paulo, uma vez que são utilizadas para consumo humano e que apresentam concentrações de cromo total acima do limite de potabilidade. É conveniente ressaltar que a SABESP já vem realizando testes em Santa Salete, com o material KDF-W, que reduz as concentrações de cromo através da troca de íons (Zn, Cu), deixando as concentrações destes mais altas, porém, não prejudiciais à saúde humana;

-há necessidade de se fazer um estudo com a população da região para comprovar se existem casos de doenças causadas pela ingestão de água contendo cromo acima do limite permissível. As últimas informações que se tem é que a Secretaria da Saúde já vem se organizando para desenvolver este estudo;

-coletar outras amostras de sedimentos e basaltos de poços que serão perfurados na região para análise de cromo. A partir destes resultados será possível estabelecer uma distribuição espacial e em profundidade deste elemento;

-dar continuidade ao monitoramento mensal, com coleta e análise físico-química das águas nos poços selecionados de Urânia e Santa Salete, por um ano hidrológico, que permitirá estabelecer a influência das variações sazonais no comportamento hidrogeoquímico das águas dos aquíferos;

-coletar água para análise físico-química a diferentes profundidades e em diferentes regimes de bombeamento, na tentativa de definir perfis hidroquímicos e correlações com dados das amostras de sedimentos e rochas;

-em estudo anterior e nesta pesquisa, notou-se que a origem do cromo pode estar relacionada diretamente aos sedimentos da Formação Adamantina, razão pela qual sugere-se novos estudos para melhor compreensão do fenômeno, inclusive as condições de mobilidade e transferência do cromo em águas do substrato;

-recomenda-se fazer um estudo interlaboratorial para comparações de metodologia de análise de cromo total e hexavalente.

9.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M. A. de; STEIN, D. P.; MELO, M. S. de; BISTRICHI, C.A; PONÇANO, W. L; HASUI, Y.; ALMEIDA F. F. M. de (1980). Geologia do oeste paulista e áreas fronteiriças dos Estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. **Anais.** Camboriú, SBG. v.5, p. 2799-2812.
- AMARAL, R. (1985). Importância dos elementos essenciais em águas para consumo humano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 13., Maceió, 1985. **Anais.** São Paulo, CETESB/ABES. 14 p.
- BARTLETT, R. J.; KIMBLE, J. M. (1976). Behavior of chromium in soils: II. Hexavalent forms. **Journal of Environmental Quality. American Society of Agronomy**, v.5, p. 383-386.
- BARTLETT, R. J.; JAMES, B. (1979). Behavior of chromium in soils: III. Oxidation. **Journal of Environmental Quality. American Society of Agronomy**, v.8, p. 31-35.
- BRANDT NETO, M. (1977). **Estratigrafia da Formação Bauru na Região do Baixo Tietê.** São Paulo, 74 p. (Dissertação de Mestrado-Instituto de Geociências/USP).

- BRANDT NETO, M. (1984). **O Grupo Bauru na Região Centro-Norte do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2v. (Tese de Doutorado-Instituto de Geociências/USP).
- BRANDT NETO, M.; PETRI, S.; COIMBRA, A. M. (1985). Argilominerais do Grupo Bauru: considerações genéticas. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 5., São Paulo, 1985. **Atas**. São Paulo, SBG- Núcleo de São Paulo. v.1, p. 61-74.
- BRASIL. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1977). **Poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo: estudo preliminar**. São Paulo, CETESB. 88 p.
- BRASIL. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. (1994). **Compilação de Padrões Ambientais**. São Paulo, CETESB. 7 p.
- BRASIL. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (1976). **Estudo de Águas Subterrâneas: Regiões Administrativas 7, 8 e 9**. São Paulo, DAEE. 4v.
- BRASIL. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (1988). Água subterrânea reserva estratégica. **Águas e Energia Elétrica**, v.5, n.13, p. 14-23.
- CALDER, L. M. (1988). Chromium in Groundwater. In: NRIAGU, J.; NIEBOER, E. **Chromium in the natural and human environments-advances in environmental science and technology**. Ontario, John Wiley & Sons. 31 p.

- CAMPOS, H. C. N. S. (1987). **Contribuição do estudo hidrogeoquímico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo**. São Paulo, 158 p. (Dissertação de Mestrado-Instituto de Geociências/USP).
- CAMPOS, H. C. N. S. (1993). **Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo**. São Paulo, 177 p. (Tese de Doutorado-Instituto de Geociências/USP).
- CARRY, E. E.; ALLAWAY, W. H.; OLSON, O. E. (1977). Control of the chromium concentrations in food plants. 2. Chemistry of chromium in soils and its availability to plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 25. p. 305-309.
- COIMBRA, A. M. (1976). **Arenitos da Formação Bauru: estudo de áreas-fonte**. São Paulo, 2v. (Dissertação de Mestrado-Instituto de Geociências/USP).
- DANA, J. D. (1986). **Manual de Mineralogia**. Rio de Janeiro, LTC. 642 p.
- DURFOR, C.N. ; BECKER, E. (1964). Public water supplies of the 100 largest cities in the United States, 1962. **U. S.Geological Survey Water Supply Paper**, v. 1812, p. 1-364.
- FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. (1979). **Groundwater**. Englewood Cliffs, Prentice-Hall. 604 p.

- HAGARTY, E. P.; GRUNINGER, R. M.; BALOG, G. G.; PATEL, M.A.; SOKHEY, A. S. (1991). Chromium- Contaminated Site Remediation for POTW Expansion. **Water Environment & Technology**, v.3, n.4, p. 53-57.
- HEM, J. D. (1985) Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. **U. S. Geological Survey Water Supply Paper**, v.2254, p. 138-139.
- HIRATA, R. ; RODOLFI, G. (1993). **Presença de cromo nas águas subterrâneas em Urânia**. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente/Instituto Geológico. 24 p. (Relatório Técnico).
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. (1990). **Plano cartográfico do Estado de São Paulo**. São Paulo, IGC. Escala 1: 1.000.000.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO DE SÃO PAULO (1965). **Folha topográfica de Santa Albertina: região sul do Brasil**. São Paulo, IGGSP. Escala 1: 50.000.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1981). **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, IPT. v.1. Escala 1: 500.000.
- KRAUSKOPF, K. B. (1979). **Introduction to geochemistry**. 2. ed. Tokyo, McGraw-Hill Kogakusha. p. 544-546.

- LOVE, S. K. (1967). Quality of surface waters of the United States 1963. Parts 1 and 2. North Atlantic Slope and South Atlantic Slope and Eastern Gulf of México Basins. **U. S. Geological Survey Water Supply Paper**. p.15.
- MAHAN, B.H. (1972). Metais de transição. In:____. **Química: um curso universitário**. São Paulo, Edgard Blucher. p. 517-519.
- MASON, B. H. (1971). **Princípios de Geoquímica**. São Paulo, EDUSP. 403 p.
- MERTZ, W. A. (1969) Chromium occurrence and function in biological systems. **Physiological Reviews**, v. 49, p. 163-239.
- MIGLIORINI, R. B. (1994). **Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos. Estudo do Cemitério de Vila Formosa na Bacia Sedimentar de São Paulo**. São Paulo. 74 p. (Dissertação de Mestrado-Instituto de Geociências/USP).
- OHLWEILER, O. A. (1973). Grupo periódico VI a. In:____. **Química Inorgânica**. São Paulo, Edgard Blucher. v. 2, p.537-556.
- PAULING, L. (1966). Cromo, manganês e outros metais correlatos. In:____. **Química geral**. Rio de Janeiro, Sedegra. p. 564-570.
- PICCIRILLO, E. M. ; MELFI, A. J. (1988). **The mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects**. São Paulo, Universidade de São Paulo/IAG. 600 p.

- ROBERTSON, F. N. (1975). Hexavalent Chromium in the ground water in Paradise Valley, Arizona. **Ground Water**, v.13, n.6, p. 516-527.
- ROCHA, G. A. ; GIANCURSI, F. D.; PERRONI, J. C. A.; SOBREIRO NETO, A. F.; BERTACHINI, A. C.; CORREA, W. A. G.; CAMPOS, H. C. N. S.; DIOGO, A.; ROSA, R. B. G. S.; CASTRO, C. G. J. (1979). Hidrogeologia das bacias dos rios Aguapeí, Peixe e Paranapanema no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., Rio Claro, 1979. **Atas**. Rio Claro, SBG- Núcleo de São Paulo. p. 85-100.
- RUEGG, N. R. (1975). **Modelos de variação química na província basálticas do Brasil Meridional**: características de teor, distribuição geográfica e diferenciação. São Paulo, v.1 (Tese de Livre-docência- Instituto de Geociências/USP).
- SETZER, J.; PORTO, R. L. L. (1979). Tentativa da avaliação de escoamento superficial de acordo com o solo e o seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo. **Boletim técnico-DAEE**, v.12, n.2, p. 82-135.
- SILVA, R. B. ; DEL MONTE, E. (1987). Mineralizações de Trona na Bacia do Paraná: uma possibilidade. **Brasil Mineral - Engenho e Arte** (Edição especial- Prêmio Nordburg de Pesquisa e Exploração Mineral). p. 24-34.
- SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J.; SOBREIRO NETO, A. F. (1980). Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, v.10, n.3, p. 177-185.

- SOARES, J. A. (1992). **Uma contribuição ao estudo do ciclo geoquímico dos metais pesados no ambiente marinho: determinação das concentrações de cromo total em sedimentos marinhos, provenientes da Enseada do Flamengo (S.P.) e Saco do Mamanguá (R.J.), por meio de ICP-AES e AAS.** São Paulo, 139 p. (Dissertação de Mestrado-Instituto Oceanográfico/USP).
- SOUZA, H. B. de; DERISIO, J. C. (1977). **Guia Técnico de Coleta de Amostras.** São Paulo. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 257 p.
- STAMER, J. K. ; YORKE, T. H. : PEDERSON, G. L. (1985) Distribution and transport of trace substances in the Schuylkill River Basin from Berne to Philadelphia, Pennsylvania. **U. S. Geological Water Supply Paper**, v.2256-A, p. 14-19.
- STUMM, W. & MORGAN, J.J. (1981). **Aquatic chemistry.** New York, John Wiley and Sons. 780p.
- SZIKSZAY, M. (1981). **Hidrogeologia das Fontes de Águas da Prata, Estado de São Paulo.** São Paulo, 2v. (Tese de Livre -Docência-Instituto de Geociências/USP).

Anexo 01: Cadastro de poços tubulares da região noroeste do Estado de São Paulo

Nº	Localidade	Poço local	Poço SABESP	Poço DAEE	Coordenadas N-S/E-W	Cota (m)	Profund. (m)	Nível estát.(m)	Nível dinâm(m)	Vazão (m³/h)
1	Álvares Florence	P 1	23		7752,50/614,50	406	154	4,3	21,9	48
2	Aparecida D' Oeste	P 1			7738,80/512,45	400	156	32	105	13,5
3	Arabá	P 1			780185/562,35	415	120	1,3	34,51	45
4	Aspásia	P 1	815		7770/527,6	380	220	53	62,82	46,58
4		P 2	816		7767,6/527,85	420	81	14,39	61,2	4,5
4		P 3	849		7771,5/528,40	410	72	11,84	63,82	10,5
5	Auriflama	P 2	72		7713/546,8	465	120	10,9	46	5,4
5		P 3	73		7713/546,9	465	123	12	42	7,5
5		P 6	76		7713,3/546,4	440	171			
5		P 7	77		7713,5/546,4	440	98	2	34,6	7
5		P 10	80		7713,7/546,4	430	160	11,5	132,13	5
5		P 11	81		7714/545,8	420	164,5	6,59	114,37	7,68
5		P 12	878		7710/547,10	390	251	45,96	108,9	30
6	Bandeirante D' Oeste	P 2	942		7721,2/519,5	370	179	37,44	119,02	
7	Boa Vista dos Andradas	P 1	24		7765,9/617,2	450	200	52,16		7,2
8	Cardoso	P 1	160		7779,07/612,70	390	145	4,7	50	18
9	Dalas	P 1		SF22DIII2-30	7731,2/527,5	360	105,5	5,7	105,1	7
10	Dirce Reis	P 1	651		7737,1/541,1	400	110,2	20,5	77,5	14,14
10		P 2	1013		7736,80/541	400	101,46	26	71,75	12
11	Dolcinópolis	P 1			7774,75/550,3	435	80	14,8	33,2	22
11		P 3	1321		7774,45/553,15	430	176	8,3	64,32	39,6
12	Dulcelina	P 1	1026		7764,45/584,75	495	113,2	11,38	41,88	10
13	Esmeralda	P 1	598		7755,35/495,3	340	150	0,8	21,64	5

No/ Poço	Geologia	Filtros de-até (m)	Cimentação de-até (m)	Ano de perfur.	Uso da água	Firma Perf.	Referência
1/P 1	0-5,4 G. Bauru			1974	exploração		Junto à elevatória
	5,4-154 S.Geral						
2/P 1				1972	exploração		
3/P 1	0-6 G. Bauru		0-36,6	1980	exploração	Waldemar Georg.	Margem do Córrego
	6-120 S. Geral					e Cia. Ltda	das Pedras
4/P 1	0-26 G. Bauru		0-31,00	1979	exploração	Waldemar Georg.	
	26-220 S. Geral					e Cia. Ltda	
4/P 2	0-80,4 G. Bauru	63,87-	0-6,00	1981	exploração	J. Rafael F. Politi	Próximo ao Córrego da
	80,4-81 S. Geral	79,87				Eng. Const. Ltda	Anta
4/P 3	0-62 G. Bauru	21,31-	0-18,00	1982	exploração	Waldemar Georg.	Junto ao reservatório
	62-72 S. Geral	65,81				e Cia. Ltda.	
5/P 2	0-120 G. Bauru			1963	expl. (possui 90m de prof. desmor.)	J. Passarelli	R. Jaboticabal
5/P 3	0-123 G. Bauru				exploração	J. Passarelli	R. Jaboticabal
5/P 6	0-123 G. Bauru			1968/ 69	exploração	Dr. Aquino (Jales)	Propriedade de João
	123-171 S. Geral						Marcolino
5/P 7	0-98 G. Bauru			1971	exploração	G. Ubaldine	Atrás do Matadouro
5/P 10	0-158 G. Bauru	29,94-		1981	exploração	J. Passarelli	Junto ao reservatório
	158-160 S. Geral	142,38					
5/P 11	0-146 G. Bauru	32,73-	0-18,00	1982	exploração	J. Passarelli	Margens do Córrego
	146-164,5 S. Geral	140					Limoeiro
5/P 12	0-134 G. Bauru		0-18,20	1982	exploração	J. Passarelli	Na saída para Major
	134-251 S. Geral						Prado
6/P 2	0-178,5 G. Bauru	66,77-	0-12,00	1985	exploração	Passarelli	Próximo ao reservatório
	178,5-179 S. Geral	144,05					elevado
7/P 1	0-30 G. Bauru			1972	exploração		Próximo ao reservatório
	30-200 S. Geral						
8/P 1	0-145 S. Geral			1954	exploração	Pamec	R. Dr. Luiz de Barros
							Lessa, junto ao ETA
9/P 1	0-96 G. Bauru		0-22,50	1980	exploração	Hidrotécnica Serv.	As margens do Córrego
	96-105,5 S. Geral					Geol. Ltda.	do Corvo c/ a estr. munic.
10/P 1	0-101,2 G. Bauru	33,9-	0-15,00	1978	exploração	J. Passarelli	Atrás da Escola Est. de
	101,2-110,2 S. Geral	98,1					1 Grau de Dirce Reis
10/P 2	0-100 G. Bauru	46,95-	0-10,00	1986	exploração	Air-Drill Ind. e Com.	Ao lado do reservatório
	100-101,46 S. Geral	98				Ltda	da SABESP
11/P 1							
11/P 3	0-64 G. Bauru		0-17,30	1992	exploração	Air-Drill	Margem esquerda do
	64-176 S. Geral						Córrego Arrancado
12/P 1	0-113 G. Bauru	27,77-		1987	exploração	Constrol Proj. e	Esquinas das ruas
	113-113,2 S. Geral	86,46				Const. Ltda.	Brasil e São João
13/P 1	0-34 G. Bauru	34,00-	0-12,00	1981	exploração	Hidrogasp	Próximo à Igreja
	34-150 S. Geral	39					

14	Estrela D' Oeste	P 5	211		7754,8/562,25	430	201	12	38,65	40
14		P 6			7753,60/581,77	430	196	23,76	48,74	40
14		P 7	213		7754,3/562,10	430	202	11,7	90,43	60
15	Fátima Paulista	P 1	805		7777,25/556,85	435	220	3,35	115,92	8,4
16	Fernandópolis	P 15		22DII4-45	7758,40/583,15	441	1460	16,35	61,95	450
16		P 16		22DII4-49	7757,1/581,2	480	1683	31,29	110,87	430
16		P 17	1068		7760,55/585,35	436	1606	11,5	76	522,2
17	Gastão Vidigal	P 5	879		7698,8/585,3	380	207	36,5	39,85	66
17		P 6	903		7700,2/584,35	420	85,15	22,78	66,67	3,9
17		P 7	909		7700,40/583,95	435	88,5	13,08	58,76	3,6
18	Guzolândia	P 2	970		7785,80/533,25	390	220	12,3	137	6
18		P 3	1080		7716,10/535,1	460	211	34,8	135,92	15
19	Ida Iolanda	P 1		22XAVI-1-3	7710,8/609,4	530	171,7	29,9	129	14,7
20	Indiaporã	P 1	279		7790,9/574,1	435	88	51,11	67,11	35
20		P 2	280		7790,00/573,30	411	115	2	42	45
20		P 3	281		7789,7/573,9	414	123	37,49	61,49	55
20		P 4	282		7789,95/573,4	430	162	16,95	28,94	50
20		P 5	283		7780,9/573,7	427	112	50,81	68,81	60
21	Jales	P 1=	326		7756,90/546,10	440	101	8,85	73,85	14
21		P 16								
21		P 2=	327		7757,10/546,30	440	102	8,41	70,43	26,4
21		P 17								
21		P 3=	328		7757,50/546,55	450	101	13,23	70,7	18
		P 18								

14/P 5	0-57,7 G.Bauru	39,75-	0-9,00	1981	exploração	Copesrcal S.A. Ind.	Próximo ao Córrego
	57,7-201 S.Geral	58,15				e Com.	Broaca
14/P 6	0-61 G. Bauru	45,05-	0-10,00	1981	exploração	Copercal-P.A. Ind.	Próximo ao Córrego
	61-196 S.Geral	60,55				e Com. Ltda.	Broaca
14/P 7	0-59 G.Bauru			1981	exploração	Cia. T. Janer Com.	
	59-202 S. Geral					e Ind.	
15/P 1	0-54 G.Bauru	40,05-	0-3,00	1979	exploração	Passarelli	
	54-220 S.Geral	57					
16/P15	0-74,6 G.Bauru	1288,80-	0-74,60	1976	exploração	Air-Lift Ind. & Com.	km 4, estrada que liga
	74,6-1285 S.Geral	1428,98				Ltda.	Fernand. à Pedran.
	1285-1460 Botucatu						
16/P16	0-130 G.Bauru	1179,14-	0-132,00	1981	exploração	CPRM	Margem do Córrego
	130-1337 S.Geral	1651,82					Gatão
	1337-1480 Botucatu						
	1480-1645 Pirambóia						
	1645-1683 Estr.Nova						
16/P17	0-130 G.Bauru	1166,74-	0-130,00	1987	exploração	CPRM	Margem esquerda do
	130-1320 S.Geral	1408,27					Córrego da Aldeia
	1320-1670-Bot/Piram.						
	174-180 S.Geral						
17/P 5	0-28 G.Bauru	20-26	0-13,36	1980	exploração	Passarelli	
	28-207 S.Geral						
17/P 6	0-84 G.Bauru	38,17-	0-12,00	1984	exploração	Copersul Pç. Artes.	Ao lado do reservatório
	84-85,15 S.Geral	77,99				Ltda.	da SABESP
17/P 7	0-87 G.Bauru	64-	0-12,00	1984	exploração	Copersul	Próximo à saída da
	87-88,5 S.Geral	82,98					cidade
18/P 2	0-145 G.Bauru		0-16,00	1985	exploração	Passarelli	Próximo ao Matadouro
	145-220 S.Geral						Municipal
18/P 3	0-208 G.Bauru	115,14-	0-18,00	1988	exploração	Passarelli	F. Top IBGE no 50
	208-211 S.Geral	183,18					
19/P 1	0-156 G.Bauru	44,8-	0-25,00	1979	exploração	Passarelli	Junto ao reservatório
	156-171,7 S.Geral	153					da SABESP
20/P 1	0-12 G.Bauru		0-12,00	1973	exploração	Geo Pesquisadora	
	12-88 S.Geral						
20/P 2	0-15 G.Bauru		0-19,00	1975	exploração	Air Lift	
	15-115 S.Geral						
20/P 3	0-18,5 G.Bauru		0-18,50	1975	exploração	Air Lift	Lado direito da estrada
	18,5-123 S.Geral						municipal ind. Macedôn.
20/P 4	0-19,5 G.Bauru			1972	exploração	Passarelli	
	19,5-162 S.Geral						
20/P 5	0-19 G.Bauru		0-19,00	1975	exploração	Air Lift	
	19-112 S.Geral						
21/P 1	0-96 G.Bauru	54,34-	0-15,00	1980	exploração	Hidrogesp	Bateria de poços
	96-101 S.Geral	95,88					
21/P 2	0-96 G.Bauru	43,87-	0-15,00	1980	exploração	Hidrogesp	As margens do Córrego
	96-102 S.Geral	94,76					Marimbondão
21/P 3	0-100,5 G.Bauru	47,55-	0-15,00	1980	exploração	Hidrogesp	
	100,5-101 S.Geral	92					

21		P 4=	329		7759,05/547,60	460	145,32	19,38	84,92	35
		P 19								
21		P 21	1311		7756,6/548,8	430	1205	15	60,5	500
		(Porç.								
		II)								
22	Macedônia	P 1					17	jorrante	56,3	20
22		P 2	391		7772,8/584	490	156,63	12,1	120,41	6
22		P 3	907		7771,3/583,99	510	178	21,88	112,08	12
23	Mangaratú	P 1	835		7740,05/674,05	470	84,49	jorrante	74	10
24	Marinópolis	P 2	1171		7739,80/518,45	405	156	14,6	107,16	14,14
24		P 3	1256		7739,20/519,30	375	250	13,63	136,92	7,33
24		P 4	1318		7738,30/519,90	360	230	19,58	118,61	29
25	Mesópolis	P 1		SF22VIII4-05	7795,1/539,4	380	200	jorrante	27	60
26	Mira Estrela	P 1				430	212	61,3	183	
26		P 4	406		7790,05/542,85	380	143	3,48	94,6	9
26		P 5	407		7790,10/596,6	390	150	6,73	100,4	
26		P 6	910		7790,90/594,10	380	180	5,59	112,43	4,8
26		P 7	1038		7790,90/594/10	360	182	2,8	66,87	
27	Monções	P 1	416		7694,40/594,75	430	203	67	150	12,9
27		P 3	418		7696,30/592,70	390	144	18,57	91,12	
28	Nova Lusitânia	P 4	889		7693,2/576,50	460	95	40,2	90,1	
28		P 5	1128		7693,05/575,85	430	100	8,58	77,41	
28		P 6	1238		7695,80/577,25	360	230	3,53	98,98	
29	Palmeira D' Oeste	P 1					109	15	90	3
29		P 2					10,5	20	80	4
29		P 8	467		7742,15/523,70	369	205	30,57	101,86	9,77
29		P 9	468		7741,4/523,5	390	201,5	0,73	93,83	12,3
30	Paranapuá	P 3		SF22D1-2-12	7777,1/540,2	400	180	7,57	18,18	60

21/P 4	0-143 G.Bauru	36,45-	0-15,00	1980	exploração	Hidrogesp	Almoxarifado da Prefeit.
	143-145,32 S.Geral	142,32					
21/P21	0-85 G.Bauru		0-22,37	1992	exploração	Contep	Margem direita do
	85-986 S.Geral						Córrego Timburi
	986-1205 Botucatu						
22/P 1	0-17 G.Bauru						
22/P 2	0-155,63 G.Bauru	46,82-	0-22,00	1981	exploração	Passarelli	Junto à Lagoa de Estab.
	155,63-156,63 S.Geral	111,7					do Capituva
22/P 3	0-172 G.Bauru	55,19-	0-12,00	1984	exploração	Passarelli	Chácara Santa Rita
	172-178 S.Geral	145,78					
23/P 1	0-84 G.Bauru	20,08-	0-12,00	1982	exploração	Hidrogesp	Junto ao Córrego
	84-84,49 S.Geral	79,45					Mangaratu
24/P 2	0-154 G.Bauru		0-17,00	1989	exploração	Air Drill	R. São Paulo, 457
	154-156 S.Geral						
24/P 3	0-117,60 G.Bauru		0-18,00	1992	exploração	Geoplan	Próximo ao Matadouro
	117,60-250 S.Geral						Municipal
24/P 4	0-119 G.Bauru		0-19,00	1992	exploração	Passarelli	Margem direita do
	119-230 S.Geral						Córrego Três Barras
25/P 1	0-6 G.Bauru		0-8,00	1980	exploração	Waldemar Geor.	As margens do Córrego
	6-200 S.Geral					e Cia. Ltda.	do Meio
26/P 1	0-86 G.Bauru		0-10,50	1974	exploração	Janer	Cabeceira do Córrego
	86-212 S.Geral						Aroeira
26/P 4	0-54 G. Bauru	31,902-	0-7,10	1980	exploração	Hidrotécnica Serv.	Sítio Santo Antônio
	54-143 S.Geral	53,92				Geológicos	
26/P 5	0-66 G.Bauru	38,12-	0-12,00	1981	exploração	Waldemar Geor.	Sítio Santo Antônio
	66-150 S.Geral	66,3				e Cia. Ltda.	
26/P 6	0-53 G.Bauru	6-16,74	0-12,00	1984	exploração	Passarelli	Terreno do Sr. Luiz
	53-180 S.Geral						Ferreira da Silva
26/P 7	0-50 G.Bauru	35,00-	0-6,40	1987	exploração	Constroli-Proj. e	Confluência do Córrego
	50-182 S.Geral	49				Const. Ltda.	Taquari com Ouro Verde
27/P 1	0-68 G.Bauru		0-15,00	1974	exploração	Janer	Próximo ao Matadouro
	68-203 S.Geral						Municipal
27/P 3	0-1 G.Bauru		0-21,40	1980	exploração	Passarelli	Córrego do Cachorro
	1-144 S.Geral						
28/P 4	0-96 G.Bauru	51,55-	0-17,60	1983	exploração	Politi	Salda para Vicentinópolis.
	96-100,25 S.Geral	93					
28/P 5	14-92 G.Bauru	34,41-	0-12,00	1988	exploração	Passarelli	Terreno do Sr. Ernesto
	92-100 S.Geral	92,24					Cavalini Filho
28/P 6	0-24 G.Bauru		0-17,30	1991	exploração	Hidrogesp	Margem esquerda do
	24-230 S.Geral						Ribeirão Gabirobas
29/P 1	0-109 G.Bauru		0-12,00	1970	exploração	Passarelli	
29/P 2	0-105 G.Bauru		0-6,00	1970	exploração	Passarelli	
29/P 8	0-128 G.Bauru	30,98-	0-11,00	1979	exploração	Waldemar Georg. e	Nascente do Córrego
	128-205 S.Geral	110,99				Cia Ltda.	Laranjeiras
29/P 9	0-120 G.Bauru	29,88-	0-18,00	1979	exploração	Waldemar Georg. e	Faz. de Francisco Felix
	120-201,5 S.Geral	119				Cia Ltda.	Mendonça
30/P 3	0-180 S.Geral		0-5,70	1979	exploração	Waldemar Georg. e	As margens do Córrego
						Cia Ltda.	do Ingá

31	Pedranópolis	P 1	480		7760,85/593,95	460	141	24,2	112,9	6,5
31		P 3	482		7759,10/593,70	430	150	2,19	114,5	3
31		P 4	902		7760,60/593,80	430	139	12,64	108,13	3,96
31		P 5	943		7760,90/593,80	430	40	11,85	23,26	1,65
31		P 6	1037		7761,10/592,50	470	128	11,57	67,6	7
32	Pontalinda	P 1	331		7739,65/550	380	150	2,66	67,61	11,1
32		P 2	332		7739,90/549,25	380	66,5	6,5	43,37	15
32		P 3	333		7739,05/550,25	380	72,5	jorrante	57,88	14
33	Riolândia	P 5	924		7791,90/639,70	400	220	62,2	114,03	1,5
33		P 6	975		7788,45/639,15	420	221	3,59	155,33	6
34	Rubinéia	P 1	597				118	14	59	19,8
35	Santa Albertina	P 1			7748,45/528,15	405	220	4,7	131,27	9,2
36	Santa Clara D' Oeste	P 1				370	120	24,92	11,18	12
36		P 2	846		7778,9/507	340	180	14,95	124,43	14,5
37	Sta. Isab. do Marinheiro	P 1	483		7770,45/596,20	415	130,7	20,73		30
38	Santa Salete	P 1			7761,20/532,6	435	130,45	29,45	106,15	16,5
39	Santana da Ponte Pensa	P 1					120	10,2	86,74	4
39		P 3	627		7760,55/522,13	410	220	44,44	119,41	13
40	São Francisco	P 1			7748,57/531,60	408	150	18,4	119,36	18,73
40		P 2			7749,15/532,10	420	144,24	42,6	106,1	15
41	São João das Duas Pontes	P 1	652		7745,30/564,55	430	120	5,6	79,5	9,7
41		P 2	653		7745,55/564,9	420	120	20,87	80	8,5
41		P 3	1040		7744,25/565,20	395	221	13,37	101,73	8
42	São João do Marinheiro	P 2		SF22DII-2-7	7786,5/600,2	395	160,6	5,4	99,95	
43	Sebastianópolis do Sul	P 3	933		7715,90/612,60	460	180,5	62,37	68,62	30
44	Socimbra	P 1	938		7747,75/511,00	375	96	18,83	53,25	40

31/P 1							
31/P 3	0-83,7 G.Bauru	50,36-	0-10,20	1980	exploração	Hidrotécnica Serv.	Margens do Córrego
	83,7-150 S.Geral	80,35				Geol. Ltda.	Forte
31/P 4	0-134 G.Bauru	73,59-	0-18,20	1984	exploração	Copersul- Pç. Artes.	Terreno de Ailton
	134-139 S.Geral	126,56				Ltda.	Montovani
31/P 5	0-40 G.Bauru	7,5-27	0-2,00	1985	exploração	Passarelli	Ao lado de P 4
31/P 6	0-127,5 G.Bauru	30,33-	0-12,00	1987	Exploração	Constrol-Proj. e	R. S. Pedro, próximo ao
	127,5-128 S.Geral	102,12				Const. Ltda.	cemitério
32/P 1	0-80 G.Bauru	39,23-	0-20,00	1979	exploração	Waldemar Georg.	
	80-150 S.Geral	81,34				e Cia Ltda.	
32/P 2	0-65,3 G.Bauru	35,98-	0-13,4	1980	exploração	Hidrotécnica	
	65,3-66,5 S.Geral	59					
32/P 3	0-72 G.Bauru	41,30-	0-12,00	1980	exploração	Waldemar Georg.	Margem do Córrego
	72-72,5 S.Geral	64,25				e Cia Ltda.	Lageado
33/P 5	0-220 S.Geral		0-10,00	1985	inexplorável	Passarelli	
33/P 6	0-221 S.Geral		0-8,30	1986	exploração	Politi	Confluência dos Córreg.
							Bálsamo e Antas
34/P 1							
35/P 1	0-62 G.Bauru		0-13,00	1974	exploração	Janer	
	62-220 S.Geral						
36/P 1	0-18 G.Bauru		0-13,00	1975	exploração	Janer	Próximo ao Córrego da
	18-120 S.Geral						Lontra com a estrada 9
36/P 2	0-16,35 G.Bauru		0-20,00	1982	exploração	Janer	
	16,35-180 S.Geral						
37/P 1	0-130,7 S.Geral		0-10,00	1980	exploração	Hidrotécnica Serv.	
						Geol. Ltda.	
38/P 1	0-122,91 G.Bauru	34,86-	0-15,00	1979	exploração	Waldemar Georg.	
	122,91-130,45 S.Geral	109,97				e Cia Ltda.	
39/P 1	0-81 G.Bauru	33,50-		1969	exploração	Janer	
	81-120 S.Geral	77,3					
39/P 3	0-67,5 G.Bauru	37,64-	0-20,00	1979	exploração	Waldemar Georg.	As margens do Córrego
	67,5-220 S.Geral	70				e Cia Ltda.	Açoita Cavalo
40/P 1	0-131 G.Bauru	80-	0-15,60	1974	exploração	Janer	
	131-150 S.Geral	129,5					
40/P 2	0-140 G.Bauru	98,89-	0-18,00	1993	exploração		R. Espírito Santo, s. núm.
	140-146 S.Geral	142,14					
41/P 1	0-117,5 G.Bauru		0-22,00	1975	exploração	Passarelli	
	117,5-120 S.Geral						
41/P 2	0-120 G.Bauru			1976	exploração	IGG	
41/P 3	0-69,69 G.Bauru	32,44-	0-16,00	1987	exploração	Control-Proj. e	Confluência dos Córreg.
	69,69-221 S.Geral	63,27				Const. Ltda.	Linguça e Duas Pontes
42/P 2	0-31 G.Bauru		0-35,5	1979	exploração	Hidrotécnica	As margens do Córrego
	31-160,6 S.Geral						do Atolador
43/P 3	0-50 G.Bauru		0-12,00	1985	exploração	Passarelli	Margem do Córrego
	50-180,5 S.Geral						Januário Amaral
44/P 1	0-95 G.Bauru	52,63-	0-12,00	1985	exploração	Passarelli	Próximo ao campo de
	95-96 S.Geral	88,99					futebol

						Com	Pest	NE	ND	Q
45	Sud Mennucci	P 4	739		7711,50/510,30	350	150	0,27	99	10
45		P 5	1228		7712,05/507,40			32	59,53	30,46
46	Tupinambá	P 1	284		7785,50/579,50	460	98	30	78,09	4,5
47	Turiuba	P 2		22DIV-4-3	7682,8/591,4	410	186	70	81,34	20,3
48	Turmalina	P1	803		7782,25/555	460	120	14,2	106,58	12,4
48		P 2	804		7780,9/550	420	165	9,48	92,01	7,47
48		P 3	805		7783,8/550,10	420	180	9,95	92,81	7
49	União Paulista	P 1		22XAVI-3-5	7689,55/614,75	440	152	72,74	142,82	15,5
49		P 2	1172		7689,90/612,10	480	176	49,64	103,42	14,94
50	Urânia	P 1	809				160	40	99,8	8
50		P 2	810				155	50	83,8	15
50		P 3	811				150	32	93,2	8
50		P 4	812		7761,35/537,40	450	109,21	24,27	69,84	18,8
50		P 5	813	SF22DI-2-15	7761,5/538,2	430	75	4,56	60,54	13,65
50		P 6	859		7761,3/535,6	460	115,59	10,2	96,4	17,21
50		P 8	1226		7762,25/536,25	480	145	23,37	122,7	8,8
50		P 9			7763,40/539,25	420	270			2,2
51	Vale Formoso	P 1	452		7624+950/666	460	121,5	21,33	80,6	2,5
51		P 2	453		7726,65/664,65	440	180	28	92,23	10
52	Valentim Gentil	P 1			7742,20/595,35	480	130	10		10
52		P 2	821				170	16	107,5	6,5
52		P 3	822				163,5	60,5	104,5	8,6
52		P 4	823				119	12	93	10,28
52		P 5		SF22DII-4-42	7740,65/596,1	487	131,5	10,1	94,6	8,8

45/P 4	0-110 G.Bauru	224,20-	0-12,00	1981	exploração	Passarelli	Margem do Córrego
	110-150 S.Geral	106,7					Cateto
45/P 5	0-122 G.Bauru	58,82-	0-18,00	1991	exploração	Politi/Contep	Área do futuro reservat.
	122-123,5 S.Geral	67,12					da SABESP
46/P 1	0-85 G.Bauru	37,90-	0-20,00	1979	exploração	Waldemar Georg.	Vila Tupinambá, pátio
	85-98 S.Geral	87,05				e Cia Ltda.	do Grupo Escolar
47/P 2	0-85 G.Bauru		0-22,00	1975	exploração	Passarelli	Chácara S.Antônio,
	85-186 S.Geral						junto ao Cór. da Mata
48/P 1	0-78 G.Bauru	42-	0-10,00	1975	exploração	Janer	Chácara Santa Maria
	78-120 S.Geral	79					
48/P 2	0-37 G.Bauru		0-10,20	1981	exploração	Passarelli	
	37-165 S.Geral						
48/P 3	0-34 G.Bauru		0-12,00	1982	exploração	Hidrogesp	As margens do Córrego
	34-180 S.Geral						Candinho
49/P 1	0-90 G.Bauru	55,70-	0-15,00	1975	exploração	Passarelli	Saída para Nipoã ,à
	90-152 S.Geral	89					direita
49/P 2	0-122,5 G.Bauru		0-12,00	1989	exploração	Air Drill	R. 21 de março, 89
	122,5-176 S.Geral						
50/P 1	0-160 G.Bauru						
50/P 2	0-155 G.Bauru						
50/P 3	0-150 G.Bauru						
50/P 4	0-102,60 G.Bauru	69,22-	0-18,00	1979	exploração	Waldemar Georg.	Nascente do Córrego
	102,60-109,21 S.Geral	109,21				e Cia Ltda.	Comprido
50/P 5	0-66 G.Bauru	44,2-	0-10	1979	exploração	Hidrotécnica	Próximo à lagoa de trat.
	66-75 S.Geral	65,9					esgoto da SABESP
50/P 6	0-117 G.Bauru	59,81-	0-17,00	1982	exploração	Hidrogesp	R. Goiás, próximo à horta
	117-115,6 S. Geral	112,53					comunitária
50/P 8	0-138 G.Bauru		0-18,00	1991	exploração	Politi	Margem esquerda da
	138-145 S.Geral						Rodov. Eucl. da Cunha
50/P 9	0-67,60 G.Bauru		0-18,00	1995	inexplorável	Geoplan	Próximo ao Córrego
	67,60-270 S.Geral						Comprido
51/P 1	0-115 G.Bauru	51-	0-12,00	1980	exploração	Copercal	Próximo ao Posto de
	115-121,5 S.Geral	118,34					Saúde
51/P 2	0-72 G.Bauru	37,17-	0-12,00	1981	exploração	Passarelli	Margens do Córrego
	72-180 S.Geral	68,24					Olho D' Água
52/P 1	0-120 G.Bauru						
	120-130 S.Geral						
52/P 2	0-138 G.Bauru			1971	exploração	Janer	R. Dr. Augusto Alves dos
	138-170 S.Geral						Reis
52/P 3	0-163,2 G.Bauru			1971	exploração	Janer	Próximo ao reservatório
	163,2-163,5 S.Geral						elevado
52/P 4				1976	exploração	Janer	
52/P 5	0-124 G.Bauru	43,03-	0-18,00	1978	exploração	Politi	Propriedade de Hermes
	124-131,5 S.Geral	96,03					D. Belintoni

52		P 6	825		7742,85/595,15	470	95	jorrante	70,54	8,51
52		P 7	826		7740,45/544,95	470	136,4	18,35	89,19	6,33
52		P 8	827		7740/596	475	114,8	3,34	98	12
53	Vila Alves	P 1			7769,20/607,5	470	220	18,5	129,3	5,17
54	Vitória Brasil	P 1	334		7766,80/554,50	480	104	2,62	77,58	13,6

52/P 6	0-92 G.Bauru	33,50-	0-22,00	1979	exploração	Hidrogesp	Próximo ao matadouro
	92-95 S.Geral	90					
52/P 7	0-136 G.Bauru	52,05-	0-12,00	1980	exploração	Hidrogesp	Nascente do Córrego
	136-136,4 S.Geral	135,65					Amasco
52/P 8	0-114 G.Bauru	46,49-	0-12,00	1980	exploração	Hidrogesp	Próximo ao Córrego
	114-114,8 S.Geral	110,97					Viradouro
53/P 1	0-82 G.Bauru			1979	exploração	Waldemar Georg.	
	82-220 S.Geral					e Cia Ltda.	
54/P 1	0-94 G.Bauru		0-3,00	1979	exploração	Passarelli	
	94-107 S.Geral						

Anexo 02: Análises das águas subterrâneas feitas pela SABESP em 54 localidades da região noroeste do Estado de São Paulo.

Localidade	Poço local	Poço SABESP	data de coleta	Cr total (mg/l) valor máx. perm. 0,05	Cr hex. (mg/l)	Nitrog. Nitrato (mg/l) valor máx. perm. 10	Cond. elét. (µmho/cm) à 25°C
Álvares Florence	P 1	23	26/05/82		0,007	3,9	300
			23/02/88	0,015		3,5	299
Aparecida D' Oeste	P 1		29/07/87	0,031		0,24	175
			27/06/88	0,034		0,74	149
			22/02/89	0,027		0,5	163
Arabá (dist. de Guarani D' Oeste)	P 1		13/10/80	0,005		0,16	200
			19/06/86	0,005		0,09	210
Aspásia	P 1	815	29/02/80	0,068		0,15	500
			05/01/83	0,056		0,1	490
			25/06/87	0,055	0,052	1,1	300
			08/12/88	0,042	0,04	0,09	271
			09/12/88	0,135	0,07	0,04	484
			10/12/88	0,087	0,076	0,04	497
			11/12/88	0,099	0,075	0,05	502
			12/12/88	0,105	0,073	0,05	509
			14/12/88		0,067	0,05	369
			16/12/88		0,071	0,05	382
			19/12/88	0,024	0,019	2,3	297
			21/12/88	0,074	0,074	0,36	436
			09/01/89		0,073	0,23	
			04/04/89	0,067		0,06	504
			20/08/90	0,021			
			23/10/92		0,06		
			11/11/92		0,01		
			08/09/93		0,05		
	P 2	816	26/02/81	0,023		0,08	215
			11/11/92		0,04		
			03/12/93		0,05		
	P 3	849	17/04/80	0,064		0,04	510
			08/07/82		0,027	0,06	260
			12/12/88		0,045	1,4	278
			19/12/88	0,047	0,047	1,3	235
			21/12/88	0,048	0,048	1,2	254
			16/01/91		0,04		
			23/10/92		0,04		
			11/11/92		0,04		
Auriflama	P 2	72	26/04/84	0,005		12,3	450
			09/02/88	0,007		1,4	342
			28/02/89	0,011		1,6	418
	P 3	73	20/10/81	0,005		18,5	420
			26/04/84	0,005			470
	P 6	76	10/02/84	0,006			
	P 7	77	26/04/84	0,018		3,7	260
	P 10	80	21/04/82	0,029		0,21	160
	P 11	81	04/05/82	0,029		0,21	160
	P 12	878	30/12/82	0,026		4,1	230

Bandeirante D' Oeste (dist. de 'Sud Mennucci)	P 2	942	19/07/85	0,013		1,1	250
			/93	0,06			
Boa Vista dos Andradas (dist. de Álvares Florence)	P 1	24	26/05/82	0,014		0,62	390
			24/08/87	0,01		3,8	247
			28/02/89	0,015		1,8	225
Cardoso	P 1	160	15/02/89	0,007		0,86	153
Dalas (dis. de Palm.D'Oeste)	P 1		27/06/80	0,031		0,04	200
Dirce Reis	P 1	651	06/07/93	0,09			
			12/08/93	0,07			
			30/09/93	0,1			
			26/10/93	0,9			
	P 2	1013	26/10/93	0,1			
Dolcinópolis	P 1		02/04/87	0,006		3,8	165
			09/03/88	0,024		3,7	125
			14/03/89	0,031		6,1	245
	P 3	1321	30/10/92	0,06		0,04	191
			25/10/93	0,06			
Dulcelina (dist. de Pedran.)	P 1	1026	11/12/86	0,013		0,04	140
			14/04/87	0,005		0,04	135
			15/10/87	0,016		0,21	95
			20/10/88	0,015		0,21	110
			01/03/89	0,012		0,23	109
Esmeralda (dist. de Rubinéia)	P 1	598	04/04/81	0,016		3,5	90
			06/07/87	0,021		3,2	200
			17/05/88	0,024		3,6	84
			/89	0,03		3	99
Estrela D' Oeste	P 5	211	19/01/81	0,023		0,64	320
			02/03/89		0,028		268
	P 6		04/02/81	0,042		0,43	250
			02/03/89		0,052		217
	P 7	213	26/10/81	0,024		0,04	250
			02/03/89		0,045		226
Fátima Paulista (dist. de Turmalina)	P 1	805	21/07/93	0,05			
			16/08/93	0,05			
Fernandópolis	P 15		22/02/89		0,012	0,04	454
	P 16		21/02/89		0,005	0,04	413
	P 17	1068	12/11/87		0,015	0,04	441
			21/02/89		0,012	0,04	417
Gastão Vidigal	P 5	879	05/11/80	0,021		0,02	0,02
	P 6	903	15/09/84	0,025		0,56	320
	P 7	909	19/10/84	0,006		5,64	120
Guzolândia	P 2	970	06/11/85	0,03	0,016	0,04	310
			06/12/85	0,032	0,005	0,05	200
	P 3	1080	06/12/88	0,035			232
			04/11/93	0,08			
Ida Iolanda (dist. Nhandeara)	P 1		29/03/79	0,018		1,1	220
Indiaporã	P 1	279	05/10/80	0,006		0,36	300
			03/07/87	0,015		2	280
			06/10/88	0,011		1,8	248
	P 2		05/10/93	0,05			
	P 3		18/10/80	0,005		0,41	160
	P 4		12/10/80	0,008		4,9	220
	P 5		06/10/88	0,022		0,27	191

Jales	P 1	326	28/02/80	0,037		0,69	200
			05/08/87	0,017		1,7	360
			03/03/88	0,011		0,91	360
	P 2	327	15/02/80	0,056		0,9	180
			02/09/87	0,016		3,4	242
			06/06/88	0,018		1,1	228
			27/12/93	0,05			
	P 3	328	08/03/80	0,023		1,1	250
			27/12/93	0,05			
	P 4	329	07/05/80	0,034		1,5	150
	P 21	1311	13/07/92	0,005		0,04	275
			17/07/92		0,005	0,04	259
Macedônia	P 1		13/05/81	0,014		0,06	150
			15/10/87	0,017		0,88	149
			09/08/88	0,021		0,7	145
	P 2	391	10/04/81	0,039		0,12	180
	P 3	907	05/10/84	0,008		0,04	160
Mangaratú (dist. de Nova Granada)	P 1	835	25/04/82	0,075		0,04	120
Marinópolis	P 2	1171	13/11/89	0,074	0,063	2,7	230
			29/07/93	0,08			
	P 3	1256	22/11/91	0,096	0,085	0,04	160
			05/02/92	0,008	0,005	0,09	238
			29/07/93	0,05			
	P 4	1318	22/09/92	0,032	0,032	0,12	556
			29/07/93	0,05			
Mesópolis (dist. Paranapuã)	P 1		25/02/80	0,036		0,54	225
			06/05/80	0,018		0,16	180
Mira Estrela	P 1		15/10/87	0,012		0,74	180
			23/05/88	0,037		1,6	202
			02/12/93	0,07			
	P 4	406	25/09/80	0,005		0,29	200
	P 5	407	08/03/81	0,021		0,27	210
	P 6	910	14/11/84	0,01		0,11	290
	P 7	1038	04/06/87		0,005	0,04	240
Monções	P 1	416	09/07/87	0,012		0,09	200
			27/10/88	0,009		0,08	167
Nova Lusitânia	P 4	889	26/05/83	0,005		0,05	140
	P 5	1128	29/02/88	0,006			59
	P 6	1238	28/08/91	0,011		0,04	181
Palmeira D' Oeste	P 1		12/03/90	0,005		0,23	186
	P 2		12/03/90	0,005		0,18	186
	P 8	467	18/10/79	0,018		0,52	300
	P 9	468	05/09/79	0,032		0,04	150
Paranapuã	P 3		29/12/79	0,018		1,47	240
Pedranópolis	P 1	480	28/05/81	0,031		0,25	80
			11/05/84	0,02		0,43	70
			05/05/87	0,043		0,32	125
			13/07/87	0,052		0,28	120
			31/10/89	0,034		0,54	100
	P 3	482	04/07/80	0,041		0,05	200
	P 4	902	13/09/84	0,085	0,046	0,04	200
			15/01/86	0,076	0,076	0,04	140

	P 5	943	20/07/85		0,005	0,07	28
	P 6	1037	05/06/87		0,005	0,04	80
Pontalinda (dist. de Jales)	P 1	331	23/08/79	0,047		0,1	160
	P 2	332	15/02/80	0,09		0,04	120
			18/09/87	0,08		0,04	103
	P 3	333	16/05/80	0,005		0,08	160
Riolândia	P 5	924	08/02/85	0,008		0,06	700
	P 6	975	18/01/86	0,006		0,04	1000
Rubinéia	P 1	597	21/10/80	0,006		1,9	180
			20/07/87	0,017		0,85	200
			22/11/88	0,008		0,09	186
			05/09/89	0,011		0,98	156
Santa Albertina	P 1		20/07/87	0,016		0,23	300
			03/05/88	0,013		0,31	233
			29/08/89	0,016		0,32	265
Santa Clara D' Oeste	P 1		04/03/82	0,62		0,55	260
			01/09/82		0,045	0,81	280
			13/08/87	0,04		0,89	257
			23/08/88	0,043		0,64	251
			05/09/89	0,034		1	246
	P 2	846	22/05/82	0,058		0,46	320
S. Isab.do Marinh.(d.Pedran.)	P 1	483	11/10/80	0,008		0,04	180
Santa Salete (dist. de Urânia)	P 1		20/08/90	0,123			
			03/12/93	0,12			
Santana da Ponte Pensa	P 1		30/09/87	0,034		1,6	254
			18/07/88	0,041		1,8	233
			28/08/89	0,042		1,6	240
			20/08/90	0,073		0,77	270
	P 2		02/07/79	0,021		0,12	300
			20/08/90	0,073		0,77	270
São Francisco	P 1		21/09/87	0,063		0,36	152
			06/06/88	0,033		0,9	159
			20/08/90	0,047			
			22/02/93	0,06			
			26/10/93	0,07			
	P 2		04/11/93	0,05	0,044	0,04	148
São João das Duas Pontes	P 1	652	18/05/84	0,05		1,8	215
			30/09/87	0,024		0,36	135
			06/05/93	0,08			
	P 2	653	18/05/84	0,04		2,8	150
			06/05/93	0,07			
	P 3	1040	08/06/87	0,059	0,059	0,04	170
			06/05/93	0,07			
S. João do Marinh.(d. Cardoso)	P 2		21/11/79	0,016		0,04	180
Sebastianópolis do Sul	P 3	933	17/05/85	0,005	0,005	0,04	410
Socimbra	P 1	938	25/05/85	0,02		0,04	340
Sud Mennucci	P 4	739	08/05/81	0,039		0,06	
			14/12/93	0,12			
	P 5	1223	16/08/88	0,044		1,6	222
			07/12/91	0,07	0,053	1,1	282
			14/12/93	0,07			
Tupinambá	P 1	284	24/09/87	0,038		0,27	216
			06/10/88	0,022		0,27	191

Turiuba	P 2		27/04/84	0,005		0,09	510
Turmalina	P 1	803	22/10/87	0,026		2,9	338
			19/07/88	0,033		1,4	267
			11/09/89	0,028		0,26	298
	P 2	804	11/08/81	0,044		0,04	320
	P 3	805	02/07/82		0,034	0,04	370
			21/07/93	0,05			
União Paulista	P 1		05/09/89	0,031		0,04	128
	P 2	1172	20/11/89	0,13	0,023	0,59	199
Urânia	P 1	809	24/08/77	0,07		0,33	120
			27/09/77	0,03			
			06/12/78	0,037		0,3	160
			07/04/79	0,076		0,21	150
			25/04/79	0,041		0,84	170
			12/03/80	0,052		1	180
			02/09/80	0,074	0,072		
			18/03/81	0,068	0,068	0,89	170
			26/05/81	0,055		0,6	170
			24/11/81	0,054		0,86	180
			28/04/82	0,047		0,91	160
			27/10/82	0,051		0,54	170
			18/01/83	0,065	0,065	0,8	160
			13/04/83	0,023	0,02		
			24/05/83	0,023			
			16/10/84	0,032	0,012	1,1	105
			26/06/87	0,023	0,023	1	120
			20/08/87	0,05		1	151
			20/01/88	0,102		2,7	160
			06/10/88	0,056		0,83	159
			03/11/88	0,078	0,026		
			03/10/89	0,062		1,3	135
			20/08/90	0,122			
			23/10/92		0,02		
	P 2	810	24/08/77	0,04			110
			27/09/77	0,05			
			13/04/83	0,08	0,08		
			24/05/83	0,1			
			16/10/84	0,155	0,06	0,71	140
			26/06/87	0,073	0,073	1	190
			20/08/90	0,054			
			23/10/92		0,09		
			01/12/93	0,09			
	P 3	811	24/08/77	0,04			230
			27/09/77	0,03			
			13/04/83	0,011	0,009		
			24/05/83	0,02			
			16/10/84	0,035	0,012	3,7	250
			26/06/87	0,024	0,024	3,9	180
			20/01/88	0,043		1,7	263
			20/08/90	0,043			
			23/10/92		0,02		
	P 4	812	24/08/77	0,05		0,63	180
			27/09/77	0,05			

			24/05/83	0,096	0,096		
			16/10/84	0,09	0,036	0,12	140
			26/06/87	0,11	0,11	0,09	160
			20/08/90	0,059			
			23/10/92		0,09		
			01/12/93	0,1			
	P 5	813	26/05/81	0,052		0,76	180
			13/04/83	0,09	0,09		
			16/10/84	0,11	0,08	0,08	150
			26/06/87	0,108	0,108	0,07	160
			20/08/90	0,065			
			23/10/92		0,09		
			01/12/93	0,09			
	P 6	859	30/09/82		0,026	2,2	180
			01/10/82		0,006	4,3	225
			13/04/83	0,107	0,104		
			16/10/84	0,054	0,036	1,7	150
			26/06/87	0,012	0,012	5,1	210
			20/08/90	0,014			
			23/10/92		0,05		
			01/12/93	0,09			
	P 8	1226	23/10/92		0,09		
			01/12/93	0,05			
Vale Formoso (dist. de Novo Horizonte)	P 1	452	26/05/80	0,016		0,04	220
	P 2	453	03/04/81	0,074		0,04	440
Valentim Gentil	P 1		06/01/78	0,04		0,06	150
			02/10/80	0,039		0,08	140
	P 2	821	05/05/93	0,05			
	P 3	822	06/01/78	0,054		0,3	200
			01/10/80	0,024		7,3	160
			30/03/93	0,05			
	P 4	823	06/01/78	0,076		0,04	200
			27/09/80	0,061	0,061	0,45	180
	P 5		20/09/80	0,01		5,2	160
	P 6	825	30/03/93	0,06			
			17/12/93	0,07			
	P 7	826	14/07/80	0,044		0,28	170
			11/10/88	0,014		1,7	250
			30/03/93	0,05			
			17/12/93	0,06			
	P 8	827	05/08/80	0,021		2,2	200
			16/11/88	0,012		0,23	190
Vila Alves (dist. de Cardoso)	P 1		23/07/79	0,006		4,8	340
Vitória Brasil (dist. de Jales)	P 1	334	21/03/79	0,018		0,35	170

Anexo 03: Descrição sucinta das 11 amostras de basaltos do poço 9 em Urânia, a diferentes profundidades.

70 metros

Alguns fragmentos possuem uma crosta avermelhada (oxidação) e esbranquiçada (possível de ver a olho nu). A textura é fanerítica fina. Existem minerais róseos a avermelhados em grande quantidade. Em seguida, minerais claros e escuros, sendo estes últimos, em menor quantidade. Não são encontradas vesículas na amostra.

90 metros

Alguns fragmentos possuem uma crosta esbranquiçada quando vistos a olho nu. A amostra não possui vesículas e sua textura é fanerítica fina. Os minerais claros predominam sobre os escuros.

110 metros

Esta amostra pode ser considerada como sendo do topo do derrame, por ser menos densa do que as outras, apresentar muitas vesículas não preenchidas e cor avermelhada. Alguns fragmentos apresentam uma crosta esverdeada.

130 metros

Esta amostra possui grãos claros, provavelmente de calcita. Sua textura é fanerítica fina e os minerais claros predominam sobre os escuros.

150 metros

Amostra com textura fanerítica fina, sem vesículas. Os minerais claros predominam sobre os escuros. Aparecem alguns grãos maiores que provavelmente são de calcita.

170 metros

Os minerais claros predominam sobre os escuros. A amostra não apresenta vesículas e possui uma textura fanerítica fina.

190 metros

A amostra possui fragmentos de mineral claro, provavelmente calcita. Alguns fragmentos possuem uma crosta esverdeada. A textura é fanerítica fina, sem vesículas. Os minerais claros predominam sobre os escuros.

210 metros

Amostra com textura fanerítica fina, sem vesículas. Os minerais claros predominam sobre os escuros.

230 metros

Idem 210 metros

250 metros

Existem grãos provavelmente de calcita. Alguns fragmentos possuem uma crosta esverdeada. A textura é fanerítica fina. Os minerais claros predominam sobre os escuros.

270 metros

Idem 250 metros, não possuindo apenas a crosta esverdeada.