



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea para
Consumo Humano na Bacia do Rio São
Bartolomeu: O Caso dos Poços Tubulares
Profundos do Setor Habitacional Jardim Botânico,
Distrito Federal**

Michelle Maris de Sousa Ferreira

**Dissertação de Mestrado
Nº 06**

**Brasília – DF
Março de 2010**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea para
Consumo Humano na Bacia do Rio São
Bartolomeu: O Caso dos Poços Tubulares
Profundos do Setor Habitacional Jardim Botânico,
Distrito Federal**

Michelle Maris de Sousa Ferreira

*Dissertação de Mestrado apresentada junto ao curso
de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas,
Área de Concentração Hidrogeologia, Geoquímica e Meio Ambiente,
para obtenção do título de Mestre em Geociências Aplicadas.*

**Orientador
Detlef Hans-Gert Walde**

**Brasília – DF
Março de 2010**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea para
Consumo Humano na Bacia do Rio São
Bartolomeu: O Caso dos Poços Tubulares
Profundos do Setor Habitacional Jardim Botânico,
Distrito Federal**

Michelle Maris de Sousa Ferreira

Banca Examinadora

Professor Doutor Detlef Hans-Gert Walde (Orientador) – IG/UnB

Professor Doutor Geraldo Resende Boaventura – IG/UnB

Professor Doutor Patrick Seyler – IRD/Paris

**Brasília – DF
Março de 2010**

"A natureza criou o tapete sem fim que recobre a superfície da terra.

Dentro da pelagem desse tapete vivem todos os animais, respeitosamente.

Nenhum o estraga, nenhum o rói,

exceto o homem."

Monteiro Lobato

*Aos que
acreditaram, apoiaram e participaram,
dedico.*

Meus Sinceros Agradecimentos

À Deus,

Fonte de alegria e coragem, Senhor da minha vida.

Ao Instituto de Geociências da UnB,

Seus funcionários, seus alunos, seus exemplos.

Ao meu orientador Professor Detlef Hans-Gert Walde,

Pela orientação, confiança, conselhos e revisões.

Aos Professores Augusto Pires, Patrick Seyler, Geraldo Boaventura e José Elói Campos,

Pelos valiosos conselhos, dedicação e amizade.

À CAESB,

Ao Laboratório de Análises de Água, ao Setor de Estudos Hidrológicos e Hidrogeológicos,

Pelos dados fornecidos e apoio ao trabalho.

Ao Projeto ÁGUA-DF

À CAPES.

À minha querida e amada família,

Meu porto seguro, meu conforto, meu ninho de paz.

Aos meus amigos e amigas.

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo a avaliação da qualidade da água subterrânea consumida pela população do Setor Habitacional Jardim Botânico, na região central do Distrito Federal, onde coexistem o saneamento *in situ* e a utilização de poços tubulares profundos. A geologia da região contempla litotipos dos grupos Paranoá e Canastra e o contexto hidrogeológico envolve os subsistemas fraturados F (Sistema Canastra), Q₃/R₃ e R₄ (Sistema Paranoá) e porosos P₁, P₃ e P₄. Através de um convênio de cooperação técnico-científica avaliou-se os resultados das análises de 120 amostras de água coletadas ao longo dos anos de 2006 a 2009 em 34 poços da região pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Neste período, a ocupação do solo da área de estudos passou por uma grande metamorfose: as atividades agrícolas, ocupação primária, ainda têm seu lugar, mas o crescimento urbano é forte, desenfreado e não regularizado. As consequências sobre o meio ambiente são graves e incluem a alteração da qualidade das águas dos aquíferos, a impermeabilização do solo, o aumento do escoamento superficial e o lançamento de esgotos nos mananciais superficiais. A interpretação dos resultados dos dados fornecidos pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal contou com a utilização de técnicas estatísticas simples, como descrições e comparações, e multivariadas, como análises de principais componentes e agrupamento. O estudo pôde determinar que a qualidade das águas subterrâneas do domínio fraturado consumidas pela população local possui fortes influências urbanas e agrícolas. Anomalias de sódio, cloreto, potássio e compostos nitrogenados estão presentes na grande maioria das amostras analisadas ao longo dos anos, com variações sazonais e anuais nas suas concentrações. E mesmo assim, em 2009, após medidas de intervenção tomadas por parte da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, poços com águas alteradas continuam em operação. Este trabalho faz um alerta aos responsáveis pelo saneamento ambiental da área de estudos apresentando uma avaliação crítica dos parâmetros utilizados para a determinação da qualidade das águas no Distrito Federal, apontando poços cujas águas estão físico-quimicamente alteradas e fazendo propostas para a gestão dos recursos naturais na área de estudos.

Abstract

This study aimed to evaluate the quality of groundwater consumed by the population who live on Setor habitacional Jardim Botânico in the center of Distrito Federal town, where there sanitation *in situ* and use of deep tube wells. The geology of the region include the rock types from the groupes Paranoá of Canastra and the hydrogeological context involves the fractured subsystems F (Canastra System) Q₃/R₃ and R₄ (Paranoá System) and the porous subsystems P₁, P₃ and P₄. Through a partnership of technical and scientific cooperation we evaluated the results of analysis of 120 water samples collected over the years from 2006 to 2009 in 34 wells in the region by the Society of Environmental Sanitation of the Distrito Federal. This period, the land cover in the region has undergone a metamorphosis: the agricultural activities still have their place, but the urban growth is strong, rampant and not settled. The consequences on the environment are serious and include contamination of aquifers, soil sealing, increased runoff and the release of sewage in surface water sources. The interpretation of the results of the data provided by the Society of Environmental Sanitation of the Distrito Federal used simple statistical techniques, such as descriptions and comparisons, and multivariate, such as main components and assembly. The study can determine the quality of groundwater in the fractured subsystems consumed by the local population with strong urban and agricultural influences. Abnormalities of sodium, chloride, potassium and nitrogen compounds are present in most samples over the years, with evidence of seasonal and annual variations in their concentrations. And yet, in 2009, after the intervention measures taken by the Society of Environmental Sanitation of the Distrito Federal, altered water wells still in operation. This work is a warning to those responsible for environmental protection in the area of studies showing a critical evaluation of the main parameters used for determining the quality of the Distrito Federal water, pointing wells whose waters are physico-chemically altered and making proposals for the management of natural resources in the study area.

Résumé

Cette étude a eu le but d'évaluer la qualité des eaux souterraines consommées par la population du Setor Habitacional Jardim Botânico au centre du Distrito Federal, où il coexiste l'assainissement *in situ* et l'utilisation de puits tubulaires profonds. La géologie de la région, contemple des roches des groupes Paranoá et Canastra et le contexte hydrogéologique entoure les subsystèmes fracturés F (Système Canasta) Q₃/R₃ et R₄ (Système Paranoá) et poreuses P₁, P₃ et P₄. Grâce à un accord de coopération scientifique et technique ils ont été évalués les résultats de l'analyse de 120 échantillons recueillis au fil des ans de 2006 à 2009 en 34 puits de la région par la Société de L'Assainissement de L'Environnement du Distrito Federal. Cette période-là, l'utilisation des terres de la région a subi une métamorphose: les activités agricoles, utilisation primaire des terres, ont toujours leur place, mais la croissance urbaine est forte, rampante et non ajustées. Les conséquences sur l'environnement sont graves et comprennent le changement de la qualité des eaux des aquifères, l'imperméabilisation des sols, le ruissellement accru et le rejet d'eaux usées dans des sources d'eaux de surface. L'interprétation des résultats a utilisé des techniques de statistiques simples, telles que les descriptions et les comparaisons, et des techniques à plusieurs variables, comme l'analyse des principaux composants et l'assemblage. L'étude a pu déterminer que la qualité des eaux souterraines de l'aquifère fracturé consommées par la population locale a de fortes influences urbaines et agricoles. Il y a des anomalies de sodium, chlore, potassium et composés azotés présents dans la plupart des échantillons, avec des variations saisonnières et annuelles dans leurs concentrations. Et même comme ça, en 2009, après les mesures d'intervention prises par la Société de L'Assainissement de L'Environnement du Distrito Federal, des puits dont les eaux ont leur qualité changée demeurent en opération. Ce travail est un avertissement aux responsables de la protection de l'environnement de la région des études présentant une évaluation critique des principaux paramètres utilisés pour la détermination de la qualité des eaux souterraines du Distrito Federal, pointant puits dont les eaux sont physico-chimiquement modifiées et faisant des propositions pour la gestion des ressources naturels dans la région des études.

Sumário

<i>Resumo</i>	<i>vi</i>
<i>Abstract</i>	<i>vii</i>
<i>Résumé</i>	<i>viii</i>
<i>Lista de Figuras</i>	<i>xii</i>
<i>Lista de Tabelas</i>	<i>xv</i>
<i>Lista de Siglas e Abreviações</i>	<i>xvi</i>

Capítulo I - INTRODUÇÃO

1.1 - Apresentação	1
1.2 - Localização da Área de Estudos	2
1.3 - Objetivos	5
1.4 - Justificativas	5
1.5 - Métodos	6

Capítulo II - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

2.1 - Geologia	8
2.2 - Pedologia	14
2.3 - Geomorfologia	19
2.4 - Hidrogeologia	22
2.5 - Hidrografia	26
2.6 - Clima	28
2.7 - Vegetação e Uso do Solo	31

Capítulo III - PROCESSO DE OCUPAÇÃO DO DISTRITO FEDERAL E DO SETOR HABITACIONAL JARDIM BOTÂNICO

3.1 - O Distrito Federal	35
3.2 - Os condomínios irregulares	38
3.3 - O Setor Habitacional Jardim Botânico	42

Capítulo IV - ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

4.1 - Um Panorama do Uso das Águas Subterrâneas no Distrito Federal, no Brasil e no Mundo	50
4.2 - A Dinâmica das Águas Subterrâneas	52
4.3 - Os Processos de Contaminação das Águas Subterrâneas.	58
4.4 - Legislação Brasileira acerca da Qualidade da Água Subterrânea para Consumo Humano.	61
4.5 - Caracterização Hidroquímica das Águas Subterrâneas do Distrito Federal	66

Capítulo V - TRATAMENTO ESTATÍSTICO

5.1 - Estatística Descritiva e Comparações.	70
5.2 - Correlação Bivariável	71
5.3 - Principais Componentes	71
5.4 - Análise de Grupos	72

Capítulo VI - RESULTADOS E DISCUSSÃO 74

Capítulo VII - PROPOSTA DE GESTÃO PARA OS AQUÍFEROS LOCAIS

7.1 - Sistema de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário	102
7.2 - Sistema de Drenagem Pluvial e Recarga Artificial do Aquífero	106
7.3 - Monitoramento da Qualidade da Água e Análise dos Níveis Estático e Dinâmico dos Aquíferos	108

Capítulo VIII - CONCLUSÕES

8.1 - Quanto à Qualidade das Águas	109
8.2 - Quanto às Recomendações	112

<i>Capítulo IX - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	<i>114</i>
---	------------

ANEXOS

Anexo A - Resumo dos Dados de Qualidade de Água Fornecidos pela CAESB.

Anexo B - Estatística Descritiva e Valores para Comparações.

Anexo C - Histogramas de Frequência.

Anexo D - Correlação Bivariável.

Anexo E - Principais Componentes.

Anexo F - Análise de Grupos.

Anexo G - Rótulo da Água Potável de Mesa Hydrate, Fonte Jardim Botânico I e Mapa de Localização do Empreendimento.

Anexo H - Parâmetros Físico-Químicos para Avaliação da Qualidade das Águas Subterrâneas e Consequências da Ingestão de Contaminantes sobre a Saúde Humana.

Anexo I - Artigo Submetido: Qualidade da Água Subterrânea no Distrito Federal: Os Poços Tubulares Profundos do Setor Habitacional Jardim Botânico. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology.

Lista de Figuras

1.1 - Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu e localização da área de estudos	3
1.2 - Localização da área de estudos e vias de acesso	4
2.1 - Província Estrutural do Tocantins e Faixa Brasília. Modificado de Fuck, 1994. . .	8
2.2 - Mapa geológico da área de estudos. Modificado de Freitas-Silva e Campos, 1998	10
2.3 - Detalhamento da litoestratigrafia do Grupo Paranoá na região do Distrito Federal. Modificado de Faria, 1995	11
2.4 - Quartzitos da Unidade Q ₃ do Grupo Paranoá com fraturamento intenso	13
2.5 - Mapa pedológico da área de estudos. Modificado de EMBRAPA, 1978.	15
2.6 - Areias quartzozas ocorrentes na área de estudos	17
2.7 - Mapa geomorfológico da área de estudos. Modificado de CODEPLAN, 1984 . . .	21
2.8 - Mapa hidrogeológico da área de estudos. Modificado de Campos e Freitas-Silva, 1998	25
2.9- Mapa hidrográfico da área de estudos com sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu. Modificado de IBGE, SEMATEC/CODE, 1994	27
2.10 - Precipitação pluviométrica. Fonte: INMET	29
2.11 - Precipitação pluviométrica máxima em 24 horas. Fonte: INMET	29
2.12 - Nebulosidade. Fonte: INMET	29
2.13 - Evaporação. Fonte: INMET	29
2.14 - Insolação. Fonte: INMET	30
2.15 - Umidade relativa diária. Fonte: INMET	30
2.16 - Pressão atmosférica. Fonte: INMET	30
2.17 - Temperatura média. Fonte: INMET	30

2.18 - Fitofisionomias na área de estudos	33
2.19 - Parcelamentos urbanos e atividades agrícolas na área de estudos	34
2.20 - Atividades agrícolas a sul da área de estudos. Google Image, 2009.	34
3.1 - Imagem Landsat de 1986 mostrando que o uso do solo na região do Jardim Botânico naquela época era predominantemente rural	43
3.2 - Imagem Landsat de 1996 mostrando que a região do Jardim Botânico naquela época já possuía grandes áreas relativas à ocupação urbana	44
3.3 - Imagem Landsat de 2003 mostrando a intensificação da urbanização na região do Jardim Botânico em relação aos anos anteriores	46
4.1 - Modelo de duas superfícies potenciométricas. Modificado de Lousada e Campos, 2005	54
4.2 - Modelo de única superfície potenciométrica sem confinamento, onde a superfície de saturação permanece no meio aquífero intergranular superior. Modificado de Lousada e Campos, 2005	56
4.3 - Modelo de única superfície potenciométrica sem confinamento. Neste caso o nível freático apresenta ampla oscilação anual e pode ser observado em solo ou em rocha fresca. Modificado de Lousada e Campos, 2005	56
4.4 - Modelo de condições de fluxo subterrâneo e transmissão de água entre os meios aquíferos dos domínios poroso e fraturado. Modificado de Lousada, 2005.	57
4.5 - Contaminação do sistema aquífero por atividade agrícola e uso de fossa	61
5.1 - Curva de autovetores <i>versus</i> autovalores e coeficientes de correlação por rotação varimax.	72
6.1 - Distribuição das concentrações dos valores de condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais por subsistema aquífero na área de estudos (barras) e comparações com valores de background (Arraes et al., 2006) e com valor de alerta (Boaventura e Freitas, 2006).	75
6.2 - Distribuição das concentrações dos valores de sódio e cloreto por subsistema aquífero na área de estudos (barras) e comparações com valores de background (Arraes et al., 2006) e com valor de alerta (Boaventura e Freitas, 2006).	76

6.3 - Distribuição das concentrações dos valores de cálcio e magnésio por subsistema aquífero na área de estudos (barras) e comparações com valores de background (Arraes et al., 2006) e com valor de alerta (Boaventura e Freitas, 2006).	77
6.4 - Distribuição das concentrações dos valores de nitrogênio total, amônia e nitrato por subsistema aquífero na área de estudos (barras) e comparações com valor de alerta (Boaventura e Freitas, 2006).	78
6.5 - Distribuição das concentrações dos valores de ferro total e alumínio por subsistema aquífero na área de estudos (barras) e comparações com valor de background (Arraes et al., 2006).	79
6.6 - Distribuição das concentrações dos valores de bicarbonato e alcalinidade por subsistema aquífero na área de estudos (barras) e comparações com valores de background (Arraes et al., 2006) e com valor de alerta (Boaventura e Freitas, 2006).	80
6.7 - Distribuição das concentrações dos valores de manganês, potássio, sulfato e fosfato por subsistema aquífero na área de estudos (barras) e comparações com valores de background (Arraes et al., 2006) e com valor de alerta (Boaventura e Freitas, 2006).	80
6.8 - Soma das principais componentes 1, 4 e 5 <i>versus</i> as principais componentes 2 e 3	84
6.9 - Imagem Landsat e localização dos poços sem variação na qualidade de suas águas	87
6.10 - Imagem Landsat e localização dos poços com variação anual na qualidade de suas águas. Períodos de seca dos anos 2006 e 2007	89
6.11 - Imagem Landsat e localização dos poços com variação anual na qualidade de suas águas. Períodos de seca dos anos 2008 e 2009	90
6.12 - Valores de parâmetros selecionados do poço SD-03	91
6.13 - Imagem Landsat e localização dos poços com variação sazonal na qualidade de suas águas. Períodos de chuva e seca do ano de 2007	92
6.14 - Valores de parâmetros selecionados do poço OV-03	94
6.15 - Valores de parâmetros selecionados do poço SD-05	95
6.16 - Valores de parâmetros selecionados do poço SB-02	98
6.17 - Valores de parâmetros selecionados do poço VM-02	99
6.18- Final do revestimento do poço OV-03 e infiltração de águas sub-superficiais em toda a circunferência a 3,80 metros	101

Lista de Tabelas

2.1- Resumo da classificação dos domínios, sistemas e subsistemas aquíferos do Distrito Federal. Modificado de Campos e Freitas-Silva, 1998	24
4.1- Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde. Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.	63
4.1- Padrão de aceitação para o consumo humano. Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.	64
6.1 - Correlação bivariável	81
6.2 - Principais componentes	82
6.3 - Análise de grupos e interpretação das influências	85
6.4 - Histórico da classificação pela análise de grupos dos poços em operação em 2009	96
6.5 - Resumo dos dados fornecidos pela CAESB para os poços em operação em 2009.	97

Lista de Siglas e Abreviações

ADASA	Agência Reguladora de Água, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Proteção Permanente
ARIE	Área de Relevante Interesse Ecológico
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CODEPLAN	Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EIA/RIMA	Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESAF	Escola Superior de Administração Fazendária
GDF	Governo do Distrito Federal
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPDF	Instituto de Planejamento Territorial e Urbano do Distrito Federal
NOVACAP	Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
SODF	Secretaria de Estado de Obras do Distrito Federal
PDOT	Plano de Ordenamento Territorial
PEOT	Plano de Ocupação Territorial
PROFLORA	Programa de Florestamento e Reflorestamento
RIAC	Relatório de Impacto Ambiental Complementar
SEMARH	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SHIS	Sociedade de Habitações de Interesse Social
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SLU	Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal
SNUC	Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza
TERRACAP	Companhia Imobiliária de Brasília
UC	Unidade de Conservação
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

Capítulo I

Introdução

1.1- Apresentação

A água é um requisito básico para a manutenção da vida e a água doce é um bem naturalmente escasso, uma vez que 97,6% do total de água presente no planeta são salgadas (ANA, 2005). A falta de água potável e de esgotamento sanitário são responsáveis pela contração de diversas doenças e grande parte das internações hospitalares e pela morte de inúmeras crianças no mundo inteiro (Lima, 2001).

No Brasil, a água encanada está disponível para 90% da população urbana e para 9% nas áreas rurais. Os demais precisam recorrer a métodos alternativos de captação de água para garantir sua subsistência. O esgotamento sanitário atende a 50% da população brasileira, sendo que apenas 1/3 do esgoto coletado é de fato tratado (ANA, 2005).

O Distrito Federal, com uma área de 5.814 km² e uma população de aproximadamente 2.500.000 habitantes, IDH de 0,844 e densidade demográfica média de 354 habitantes por

Km² (GDF) está situado numa região de terras altas que servem como dispersores de drenagens. A região é drenada por 3 das principais bacias hidrográficas da América do Sul: a Bacia do Paraná (Lago Paranoá, Rio Descoberto e Rio São Bartolomeu), a Bacia do São Francisco (Rio Preto) e a Bacia do Tocantins (Rio Maranhão). A hidrologia e os controles dos aquíferos são estreitamente relacionados à geologia local que possui quatro conjuntos litológicos principais - os Grupos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí - e influenciados pela ação antrópica.

Ao contrário de muitas outras regiões do país, o Distrito Federal possui o mais elevado índice de tratamento de esgoto do Brasil, com 46%, bem acima da média nacional (ANA, 2005), uma disponibilidade hídrica total de 1.537 m³/habitantes por ano e estresse hídrico regular no período de seca (Lima, 2001). Mas nos últimos anos, em virtude do grande crescimento populacional e da intensificação das atividades econômicas, verifica-se uma forte pressão sobre os recursos naturais.

O desenvolvimento não planejado de condomínios habitacionais de classes baixa a alta e os parcelamentos ilegais de terras resultam na alteração do projeto inicial de construção de Brasília, com conseqüente defasagem nos serviços básicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Hoje já se afiguram situações de graves conflitos ambientais quanto à ocupação do solo e uso dos recursos hídricos em todas as principais bacias hidrográficas do Distrito Federal.

1.2- Localizações da Área de Estudos

Os estudos foram realizados no Setor Habitacional Jardim Botânico, onde vivem oficialmente cerca de 23 mil moradores em 25 condomínios horizontais (GDF).

A poligonal da área de estudos é delimitada pelas coordenadas UTM 196000 e 204500E e UTM 8233000 e 8250500N, encontrando-se na porção sudoeste da Bacia do Rio São Bartolomeu, região central do Distrito Federal (Fig.1.1). O acesso dá por meio de rodovias e estradas vicinais como mostra a Figura 1.2.

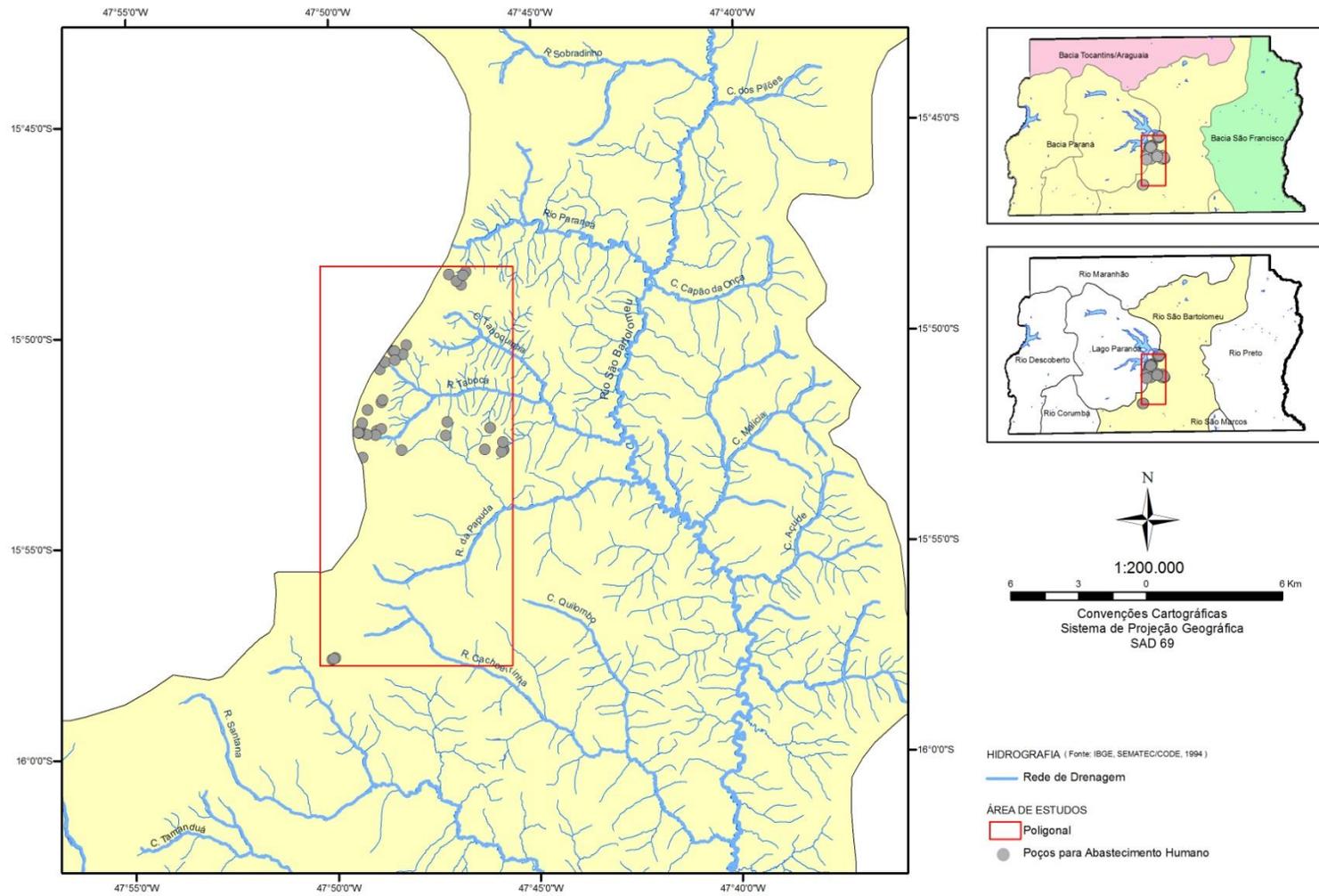


Figura 1.1: Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu e localização da área de estudos.

1.3 - Objetivos

O objetivo deste trabalho é o estudo da qualidade das águas subterrâneas destinadas ao consumo humano dos poços tubulares profundos dos condomínios do Setor Habitacional Jardim Botânico. Como objetivos específicos os seguintes itens serão abordados:

- Identificar e quantificar os elementos ou parâmetros que influenciam a qualidade das águas dos poços;
- Estudar as origens e os mecanismos de dispersão dos contaminantes;
- Identificar e avaliar os poços com águas físico-quimicamente alteradas para possíveis tomadas de decisão por parte do órgão ambiental responsável;
- Visualizar a distribuição espacial dos contaminantes em Sistema de Informações Geográficas (SIG).
- Propor formas de gestão para os recursos naturais da região.

1.4- Justificativas

O uso de água subterrânea no Distrito Federal apresentou um grande incremento nos últimos 25 anos em função do novo modelo de ocupação do solo adotado. A partir da segunda metade da década de 80, com o advento e a expansão dos condomínios e a ampliação de núcleos urbanos consolidados, a água subterrânea passou a desempenhar um papel de imensa importância no abastecimento público. Desta forma, o aumento da demanda pela água sub-superficial está diretamente relacionado ao aumento da densidade populacional em regiões fora do alcance do Sistema Integrado de Abastecimento da CAESB.

Hoje cerca de 8% da Bacia do São Bartolomeu estão tomados por condomínios irregulares, parcelamentos de baixa renda e condomínios de classe média e alta, no Grande Colorado e no Jardim Botânico, principalmente. As ocupações em APPs e APAs, a prática de atividades agrícolas indiscriminadas, a impermeabilização do solo e o consequente aumento do escoamento superficial, a exploração indevida das águas subterrâneas com excesso de exploração ou de poços perfurados, a instalação de fossas sépticas associadas a drenos ou

sumidouros ou fossas negras e o lançamentos de esgotos sem tratamento em mananciais superficiais são grandes problemas na bacia.

O estudo da qualidade da água consumida pela população local é inédito e de suma importância para a gestão dos recursos da bacia e para a preservação da saúde das pessoas que a consomem.

1.5- Métodos

Os dados de qualidade de água dos poços do Setor Habitacional Jardim Botânico foram cedidos pela CAESB através do Convênio Água-DF, uma cooperação científica firmada entre Helmholtz Centre for Environmental Research, Leipzig - Alemanha (UFZ), Universidade Técnica de Dresden – Alemanha (TUD), CAESB e Universidade de Brasília, entre outras instituições.

Os métodos de coleta, preservação e análise das amostras de água pela CAESB seguem normas de Procedimentos Operacionais definidos pela empresa.

Foram avaliadas 120 resultados de análises cujas amostras foram coletadas em 34 poços ao longo dos anos de 2006, 2007, 2008 e 2009. Os 23 parâmetros analisados foram: Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez (Turb), Sólidos em Suspensão (SS), Condutividade Elétrica (Cond), Total de Sólidos Dissolvidos (SDT), Alcalinidade (Alca), Dióxido de Carbono Livre Calculado (CO₂ LC), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Dureza (Dur), Ferro Total (Fe Total), Alumínio (Al), Manganês (Mn), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Sódio (Na), Potássio (K), Bicarbonato (HCO₃), Sulfato (SO₄), Cloreto (Cl), Nitrogênio Total (N Total), Amônia (NH₃), Nitrato (NO₃) e Fosfato (PO₄).

Os dados foram tratados estatisticamente através do programa *PASW Statistics 18 (IBM Company)* de acordo com o descrito no capítulo 5 (Tratamento Estatístico), e temporalmente e espacialmente através dos programas *Envi 4.4 (Esri)* e *ArcGis 9.3 (Esri)*, como ilustram os mapas dos capítulos 1 (Introdução) e 2 (Caracterização da Área de Estudos) e as imagens Landsat do sensor ETM dos capítulos 3 (O Processo de Ocupação do Distrito Federal) e 6 (Resultados e Discussão).

O capítulo 4 faz uma revisão sobre o panorama do uso das águas subterrâneas no Distrito Federal, no Brasil e no mundo e discorre sobre a dinâmica das águas subterrâneas, os processos de contaminação dos aquíferos, a legislação brasileira acerca da qualidade da água para consumo humano e a caracterização hidroquímica das águas profundas cujos subsistemas ocorrem área de estudos.

O capítulo 7 oferece propostas de gestão para os recursos naturais na região, comentando sobre as possibilidades para o abastecimento de água, o saneamento básico e as drenagens pluviais.

E o Anexo H faz uma revisão bibliográfica sobre os parâmetros físico-químicos comumente usados para a avaliação da qualidade das águas subterrâneas e sobre a consequência da ingestão dos contaminantes mais frequentemente encontrados nas águas sobre a saúde humana.

Capítulo II

Caracterização da Área de Estudos

2.1 - Geologia

Como mostra a Figura 2.1, no contexto geotectônico, o Distrito Federal está situado na região central da Faixa de Dobramentos e Cavalgamentos Brasília, na Província Estrutural do Tocantins (Fuck,1994).

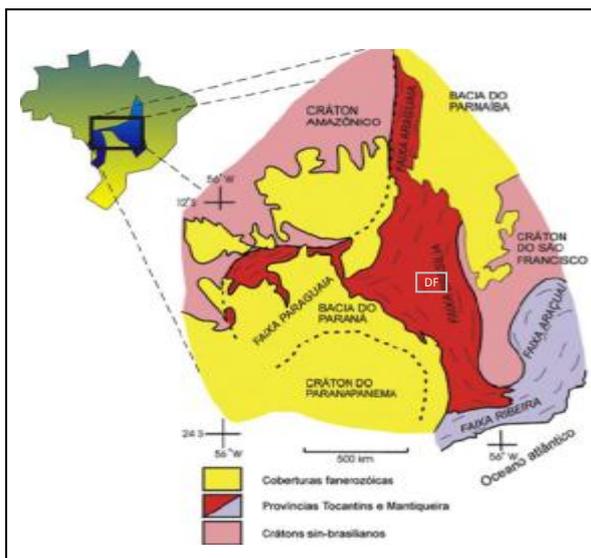


Figura 2.1: Província Estrutural do Tocantins e Faixa Brasília. O Distrito Federal está na região central da faixa. Modificado de Fuck, 1994.

Dentro dos limites da área de estudos ocorrem apenas metassedimentos de baixo grau metamórfico correlacionáveis aos grupos Paranoá e Canastra (Fig. 2.2), além de coberturas pedológicas.

O **Grupo Paranoá** (Freitas-Silva e Campos, 1998, entre outros) corresponde a uma unidade psamo-pelito-carbonatada distribuída na porção externa da Faixa de Dobramentos Brasília, sendo as áreas-tipo definidas nas proximidades de Alto Paraíso de Goiás e São João D'Aliança no estado de Goiás. No Distrito Federal ocupa 65% da área total do território e está em contato tectônico com as demais unidades geológicas através de falhas de empurrão relacionadas aos sistemas de cavalgamentos São Bartolomeu, Descoberto e Paranhã (Freitas-Silva e Campos 1998).

Faria (1995) elaborou a coluna integrada para o Grupo Paranoá (Fig. 2.3), a qual se mostra aplicável regionalmente por toda a porção externa da Faixa Brasília, atribuindo siglas às diferentes unidades da base para o topo conforme a seguinte estratigrafia: SM, R₁, Q₁, R₂, Q₂, S, A, R₃, Q₃, R₄, PC. No Distrito Federal ocorrem apenas as sete unidades do topo. Suas principais características são descritas a seguir:

- Unidade **Q₂**: é composta por quartzitos de granulação média com leitos conglomeráticos em direção ao topo. Nesta unidade é observada uma ampla variedade de estratificações cruzadas, inclusive com tipos revirados, indicando retrabalhamento por meso e macro marés. Na região do Distrito Federal a Unidade Q₂ ocorre na borda leste do Domo Estrutural do Pipiripau (Felizola, 2009, entre outros).

- Unidade **S**: é composta por metassiltitos argilosos de aspecto maciço e cor cinza esverdeada. No topo desta unidade é frequente a ocorrência de intercalações rítmicas de bancos centimétricos de quartzitos de granulação fina a média com níveis milimétricos de materiais sílticos e argilosos. As estruturas primárias preservadas mais comuns nestes litotipos são marcas onduladas, laminações plano-paralelas, laminações cruzadas e lentes arenosas nos níveis pelíticos. Lentes de dimensões variadas de calcários e dolomitos estromatolíticos são comuns (Felizola, 2009, entre outros).

- Unidade **A**: ocorrendo em contato transicional com a Unidade S, esta unidade é constituída por um monótono pacote de ardósias cinza esverdeadas com cor de alteração vermelha característica, em meio às quais ocorrem ocasionais lentes e/ou camadas psamíticas

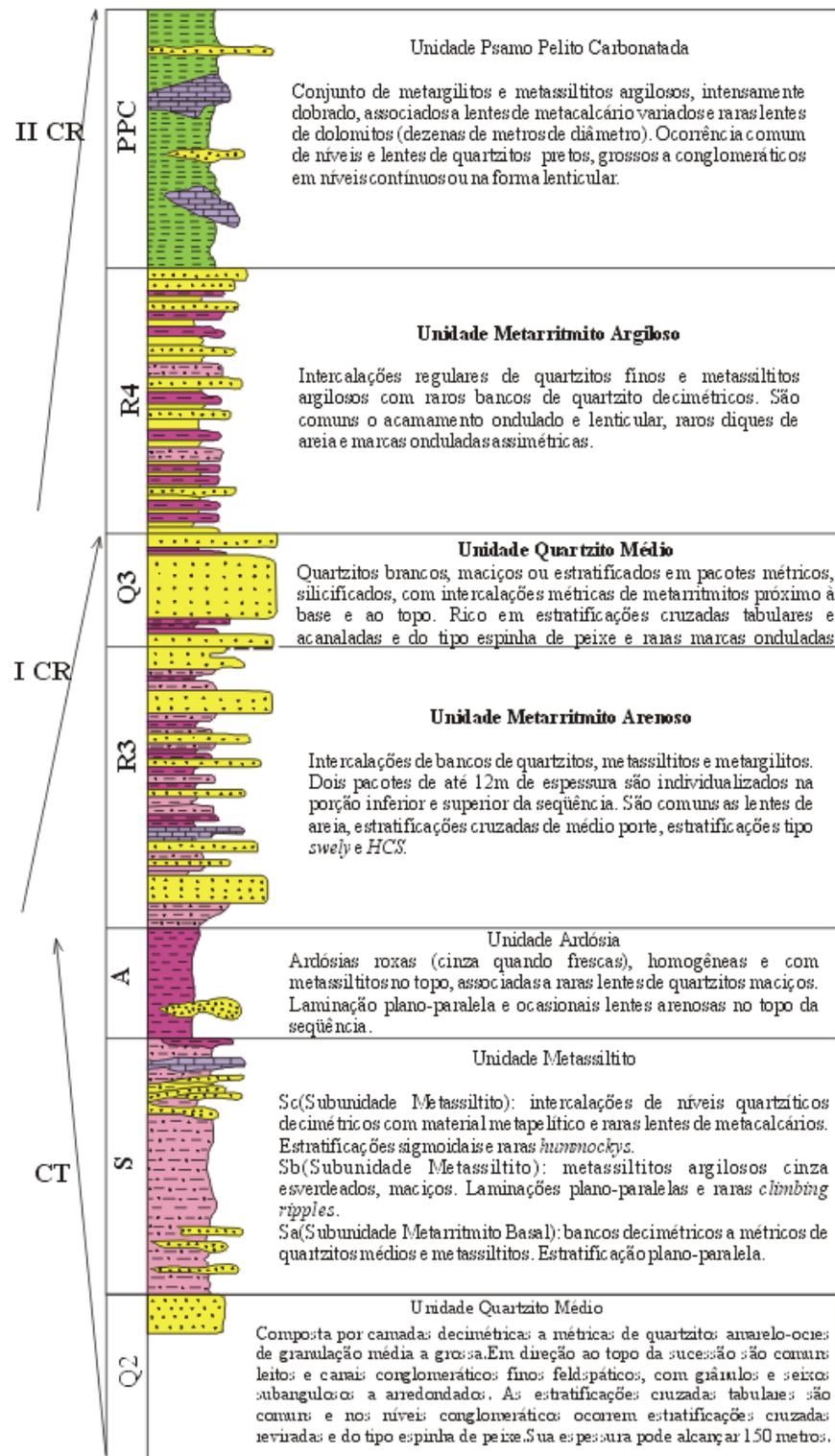


Figura 2.3: Detalhamento da litoestratigrafia do Grupo Paranoá na região do Distrito Federal, indicando o ciclo transgressivo (CT), o primeiro ciclo regressivo (ICR) e o segundo ciclo regressivo (IICR). Modificado de Faria, 1995.

(quartzitos e metassiltitos) por vezes compondo passagens rítmicas. Neste conjunto petrográfico são observadas 2 direções de clivagens ardosianas penetrativas (Felizola, 2009, entre outros).

- Unidade **R₃**: é caracterizada pela alternância de estratos milimétricos a métricos de quartzitos de granulação fina a média, metassiltitos argilosos, metargilitos sílticos e metalamitos. Em função da presença de duas intercalações mais espessas de quartzitos, esta unidade foi dividida por Freitas-Silva e Campos (1995) na região do Parque Nacional de Brasília em duas subunidades: Subunidade Inferior iniciada por um contato gradacional com as ardósias, com aumento progressivo de intercalações de metassiltitos e delgadas camadas de quartzitos, com um espesso nível de quartzito denominado de q₁ no topo, e a Subunidade Superior composta por um conjunto de metarritmitos típicos com constantes intercalações de bancos centimétricos a decimétricos de quartzitos e metassiltitos laminados, culminando em um espesso nível de quartzito maciço ou laminado denominado de q₂ (Felizola, 2009, entre outros).

- Unidade **Q₃**: composta por quartzitos brancos ou amarelados, de granulação fina, bastante silicificados, intensamente fraturados (Fig. 2.4), ricos em estratificações cruzadas tabulares, acanaladas e do tipo espinha de peixe, além de marcas onduladas assimétricas. A abertura das fraturas é um condicionante hidrogeológico importante. As melhores exposições são observadas ao longo de toda a borda leste desta chapada. No interior da chapada podem ocorrer na forma de matações métricos e em exposições *in situ* isoladas na forma de ilhas (Felizola, 2009, entre outros).

- Unidade **R₄**: Os metarritmitos desta unidade estão limitados a restritas áreas na porção inferior das quebras de relevo que marcam a borda da Chapada de Brasília. Na porção basal este conjunto apresenta espessos pacotes de metarritmitos argilosos maciços de cor rosada que passam para colorações esbranquiçadas com a evolução do intemperismo. Em direção ao topo estratigráfico, ocorre um conjunto rítmico com intercalações centimétricas regulares de quartzitos de granulação fina rosados a avermelhados e pelitos, com espessuras de 1 a 2 centímetros, superando 20 centímetros apenas localmente. Níveis de marga podem ser observados em profundidade em perfis de poços, uma vez que em superfície os carbonatos são comumente dissolvidos. Os níveis arenosos apresentam estruturas do tipo laminações cruzadas truncadas e *hummockys* (Felizola, 2009, entre outros).



Figura 2.4: Quartzitos da Unidade Q₃ do Grupo Paranoá com fraturamento intenso. A abertura das fraturas é um condicionante hidrogeológico importante.

- Unidade **PC**: predominantemente pelítica com ardósias e metassiltitos cinzas associados a lentes de mármore de granulação fina com estruturas algais tipo estromatólitos. São comuns leitos decimétricos a métricos lenticulares ou não, de quartzitos de granulação média a grossa, apresentando tonalidades escuras (Felizola, 2009, entre outros). Após um detalhamento estratigráfico Freitas-Silva e Campos (1998) denominaram esta litofácies de Unidade Psamo-Pelito-Carbonatada ou **PPC**.

O **Grupo Canastra** corresponde a uma importante unidade litoestratigráfica que aflora, continuamente, por mais de 650 quilômetros desde o sudoeste de Minas Gerais, no extremo sul da Faixa Brasília, até a região sudeste de Goiás e sul do Distrito Federal, na porção centro norte desta faixa (Freitas-Silva, 1996, entre outros).

É caracterizado por **clorita filitos**, **clorita-quartzito filitos** e **metarritmitos**, com lentes de **rochas carbonáticas**. Quando alterados apresentam cores rosada, amarelada e amarronzada e quando menos intemperizados mostram tons esverdeados. Localmente ocorrem intercalações de quartzitos de granulação fina, que por serem mais resistentes à

denudação, sustentam o relevo, como é o caso dos morros localizados na região rebaixada do relevo, na porção oeste da área de estudos.

Os filitos apresentam foliação principal com direção geral norte-sul e com elevado ângulo de mergulho (comumente subverticais). Dobras do tipo *chevrons* apertados ou mais abertos são observadas em grandes cortes de estradas.

As demais unidades regionais que integram a geologia do Distrito Federal (os grupos Araxá e Bambuí) não afloram na área de estudos.

Durante o Cenozóico, processos de intemperismo, predominantemente químico, sob condicionantes geológicos, climáticos, topográficos e morfológicos, desenvolveram na região um extenso manto de intemperismo que alcança espessuras superiores a 30 metros sobre os metarritmitos arenosos e quartzitos e de centímetros a poucos metros sobre os metarritmitos argilosos e filitos. Na área de estudos este manto de intemperismo mascara grande parte das exposições rochosas.

2.2 - Pedologia

Os solos presentes na área de estudos são classificados como cambissolo, latossolo vermelho-amarelo, latossolo vermelho-escuro, areia quartzosa e plintossolo (Fig. 2.5). As várias classes de solos são descritas a seguir:

Latossolo vermelho-escuro: esta classe compreende solos minerais, não-hidromórficos, altamente intemperizados, que se caracterizam por possuírem horizonte B latossólico (Bw) de cor avermelhada nos matizes 10R a 3,5YR, com teores de Fe₂O₃ entre 8 e 18%, quando argilosos ou muito argilosos, e normalmente inferiores a 8% quando de textura média, e com atração magnética fraca ou nula (EMBRAPA, 1999). São solos normalmente muito profundos, sendo que na área de estudos a espessura do solum é superior a 20 metros, de elevada permeabilidade e em geral bem acentuadamente drenados. Apresentam sequência de horizontes do tipo A, Bw, C, com reduzido incremento de argila (gradiente textural) em profundidade. Constituem características marcantes destes solos, a ausência de minerais primários e diferenciação de horizontes pouco pronunciada (Felizola, 2009).

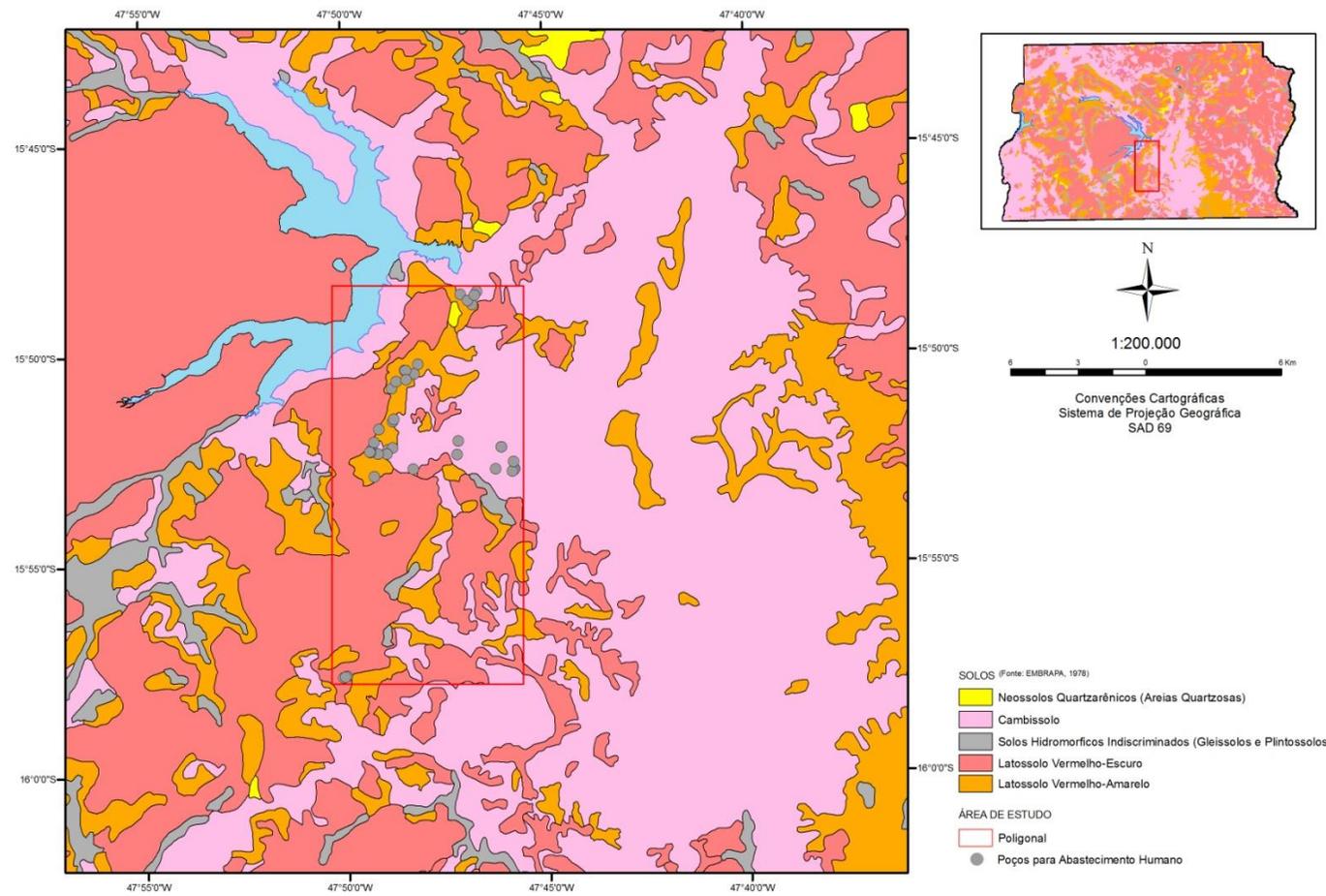


Figura 2.5: Mapa pedológico da área de estudos. Ocorrem cambissolo, latossolo vermelho-amarelo, latossolo vermelho-escuro, areia quartzosa e plintossolo. Modificado de EMBRAPA, 1978.

Do ponto de vista geotécnico o latossolo vermelho-escuro encontra-se enquadrado na classe dos solos grossos contendo fração de finos SM e SC da classificação de Casagrande (Felizola, 2009). Em função da topografia suave a suave ondulada em que ocorrem, da sua grande espessura e elevada permeabilidade, estes solos são bastante favoráveis ao uso e ocupação do terreno, nestas condições apresentando baixa susceptibilidade a erosão e risco de colapsividade baixa a moderada.

Latossolo vermelho-amarelo: compreende solos minerais, não-hidromórficos, com horizonte A fraco a moderado e B latossólico, sem atração magnética, com cores no matiz 4YR ou mais amarelas, associadas a teores de Fe_2O_3 relativamente baixos, normalmente entre 7 e 11%, e índice K_i inferior a 1,5. São solos de perfis profundos, fertilidade natural baixa e saturação de bases baixa nos solos distróficos, de elevada permeabilidade, bem a acentuadamente drenados, apresentando sequência de horizontes A, Bw, C, com reduzido incremento de argila em profundidade (Felizola, 2009). A sua distinção entre o latossolo vermelho-escuro está no fato de possuir um teor de óxido de ferro menor que aquele, resultando em cromas com cores mais amareladas a ocre nas matizes 5YR a 2,5YR (EMBRAPA, 1988).

São formados a partir do intemperismo ou pedogênese de rochas da Unidade Q_3 , relacionados provavelmente a fácies metarrítmicas do topo da unidade dos quartzitos com maior proporção de material pelítico, a qual representa a maior fonte de óxido de ferro. À semelhança do latossolo vermelho-escuro, o qual muitas vezes encontra-se associado na paisagem, o latossolo vermelho-amarelo ocorre em áreas de relevo plano e suave ondulado. Estes solos também são enquadrados nas classes de solos grossos com fração de finos SM e SC da classificação de Casagrande (Felizola, 2009), e como o latossolo vermelho-escuro, sua principal limitação ao uso agrícola, é função de sua baixa fertilidade natural (EMBRAPA, 1999).

Devido às suas boas condições físicas e topográficas o latossolo vermelho-amarelo também é um solo apto à utilização intensiva, para ocupação urbana, contudo práticas conservacionistas devem ser empregadas para evitar riscos de perda por erosão, compactação e eliminação total da vegetação natural.

Areias Quartzosas: nesta classe estão compreendidos solos minerais, não-hidromórficos, pouco evoluídos, de textura arenosa (Fig. 2.6) em toda a extensão do perfil e sequência de horizontes A, C, com concentração de argila inferior a 15% do volume total do solum. Ocupam regiões de relevo plano relacionadas à presença dos quartzitos da Unidade Q₃, onde predomina amplamente o intemperismo químico com forte lixiviação dos cimentos silicosos e restrita autigênese de argilominerais (Felizola, 2009).



Figura 2.6: Areias quartzosas ocorrentes na área de estudos.

São solos fortemente permeáveis, forte a excessivamente drenados e sem estruturas desenvolvidas ou com estrutura microgranular muito fracamente desenvolvida, sendo assim constituídas basicamente por grãos de quartzo com fase cascalhosa fina comum. São também muito baixos os valores de soma de bases, além de, na maioria das vezes, ser elevada a saturação por alumínio (Felizola, 2009). Classificam-se na classe de solos grossos, limpos com pouco ou nenhum fino representados pela classe SW (EMBRAPA, 1999).

As características texturais e estruturais deste solo o caracteriza como um tipo com elevada susceptibilidade a erosão, sobretudo quando sujeitos a fluxo concentrado de água superficial, que pode provocar a instalação de grandes voçorocas. Quanto à colapsividade, as

areias quartzosas apresentam riscos baixos a moderado. Em função de sua elevada condutividade hidráulica na zona vadosa, podendo apresentar valores da ordem 10^{-4} m/seg em toda a sua seção (Felizola, 2009), a alternativa de esgotamento sanitário individual (sistema de fossas sépticas associadas a valas ou sumidouros ou fossas negras) não deve ser considerada.

Cambissolo: esta classe compreende solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B incipiente, subjacente ao horizonte A de qualquer tipo, excluído o chernozêmico quando a argila do horizonte Bi for de atividade alta (Camargo *et al.*, 1987). São solos pouco evoluídos, de características bastante variáveis, mas em geral pouco profundos ou rasos e com teores de silte relativamente elevados. Apresentam sequência de horizontes do tipo A, Bi, C, com modesta diferenciação entre eles. São em geral álicos, com argila de atividade baixa, e de textura média ou argilosa, cascalhentos e não raramente apresentando fase rochosa e ocupam expressivas áreas, sendo encontrados preferencialmente nas regiões próximas às quebras de relevo (Felizola, 2009). Desta maneira, o relevo típico de ocorrência do cambissolo apresenta-se bastante movimentado, sendo caracterizado como forte ondulado a ondulado.

Do ponto de vista Geotécnico, o cambissolo corresponde a solos grossos predominantemente representados pelas classes SC e SM (solos grossos com finos) quando desenvolvidos sobre os metarritmitos e na classe SP (solos grossos limpos, com pouco ou nenhum fino) quando desenvolvido sobre os filitos (Felizola, 2009). De uma maneira geral, o cambissolo, apresentam uma elevada susceptibilidade a erosão, baixo a moderado risco de colapsividade o que, aliado às condições de relevo em que ocorrem, caracterizam este tipo de solo nas classes de fragilidade forte a muito forte.

Plintossolo: esta classe compreende solos minerais, hidromórficos ou não, sujeitos a condições de impedimento, permanente ou sazonal, de drenagem. Apresentam horizonte plíntico ou petroplíntico dentro dos 40 centímetros superficiais, ou a maiores profundidades quando subjacente a horizonte E ou a horizonte(s) cuja coloração variegada ou com mosqueados abundantes, ou em que o predomínio de cores pálidas ou pouco cromadas indiquem ambiente de redução por excesso de água (EMBRAPA, 1999).

Do ponto de vista geotécnico, em função da forte cimentação por hidróxido de ferro, de suas partículas e agregados, embora em condições degradadas pela exploração, os

plintossolos apresentam uma elevada estabilidade, baixo risco de erosão e risco nulo de colapsividade.

2.3 - Geomorfologia

Os estudos de geomorfologia da região do Distrito Federal contam com um importante acervo de trabalhos, entre os quais merecem destaque Maio (1986), Novaes Pinto (1986ab, 1987, 1990 e 1994ab), Novaes Pinto & Carneiro (1984) e Martins & Baptista (1998).

Dentre os fatores responsáveis pela evolução morfodinâmica do Distrito Federal, destacam-se o clima, o tipo de vegetação, a evolução dos perfis de alteração, a estruturação neotectônica e os processos de etchiplanção. Além disso, o substrato litológico e sua estruturação apresentam um notável controle da compartimentação e evolução geomorfológica. De acordo com **Novaes Pinto** (1994a) a compartimentação geomorfológica do Distrito Federal inclui Regiões de Chapadas, Regiões de Dissecação Intermediária e Regiões Dissecadas de Vales. Martins e Baptista (1998) incluem nesta compartimentação Regiões de Rebordo e Regiões de Escarpas.

Todas as **Áreas de Chapadas** apresentam padrão de relevo plano a suave ondulado e são controladas pela presença de tipos litológicos atribuídos às unidades R₃ e Q₃ do Grupo Paranoá. As **Regiões de Dissecação Intermediárias** são controladas por rochas pelíticas (por exemplo a Unidade das Ardósias do Grupo Paranoá e o Grupo Bambuí). Os **Vales Dissecados** são condicionados por unidades muito impermeáveis, com pequena capacidade de infiltração e maior potencial erosivo, representados por rochas dos grupos Canastra, Araxá e Unidade Psamo Pelito Carbonatada do Grupo Paranoá. Os **Rebordos e Escarpas** são controlados pela região de transição ou contato brusco entre litologias com alto contraste de erodibilidade (Felizola, 2009).

Portanto, a geologia é um dos principais condicionantes das variações de altitude, incisão de vales, densidade e forma da rede de drenagem e, principalmente, da evolução morfodinâmica e da paisagem atual do Distrito Federal.

De acordo com a proposta de classificação das formas de relevo apresentada por **Ross** (1998), a área de estudos está inserida no domínio morfológico da Chapada de Brasília -

Unidade A2 (Novaes Pinto, 1986ab, 1987, 1990 e 1994ab; Novaes Pinto e Carneiro, 1984), com porções do compartimento de Rebordo (Martins e Baptista, 1998) e áreas do compartimento de Vale de Dissecação Intermediária (Novaes Pinto 1994a).

A **Chapada de Brasília** corresponde a uma forma de relevo de denudação de topo tabular (D_T) que delinea interfluvios, entre os vales que a dissecam, muito grandes, maiores que 1.500 metros a grandes, maiores que 700 metros (Ross, 1998).

Os **vales**, cujos representantes estão situados na porção leste da área de estudos correspondem a formas de denudação de vertentes (D_V), onde o grau de entalhamento é condicionado pelo substrato rochoso. Estes vales, quando esculpidos em litologias das unidades R_3 e Q_3 apresentam grau de entalhamento fraco a médio e quando cortam os domínios dos metarritmitos R_4 e dos filitos encaixam-se fortemente apresentando um grau de entalhamento muito forte (Ross, 1998).

Tomando-se em consideração as características dos interfluvios e vales a área de estudos apresenta dois domínios de dissecação, o primeiro, localizado nas áreas de ocorrência das unidades R_3 e Q_3 , enquadra-se na classe de dissecação fraca a média; o segundo, na área de ocorrência da unidade R_4 e dos filitos do Grupo Canastra, é caracterizado pelas classes de dissecação forte a muito forte (Ross, 1988).

De acordo com a proposta de classificação das formas de relevo apresentada pela **CODEPLAN** (1984), a área de estudos está inserida no Pediplano Contagem-Rodeador, com porções do Pediplano Brasília e áreas das Depressões Interplanálticas e das Planícies Aluviais e Alveolares (Fig. 2.7).

O **Pediplano Contagem-Rodeador** apresenta as cotas mais elevadas, entre 1200 e 1400 metros. Estas áreas são representadas por chapadas, chapadões e interflúvios tabulares. Este residual de superfície de aplainamento é considerada a mais antiga, gerada por ciclo de erosão do Cretáceo Médio, com característica de clima seco, em que predominaram processos de desagregação de rochas (CODEPLAN, 1984).

O **Pediplano Brasília** está embutido no Pediplano Contagem-Rodeador, através de ruptura nítida, que aparece na paisagem sob a forma de degraus. Ocupa uma extensa área,

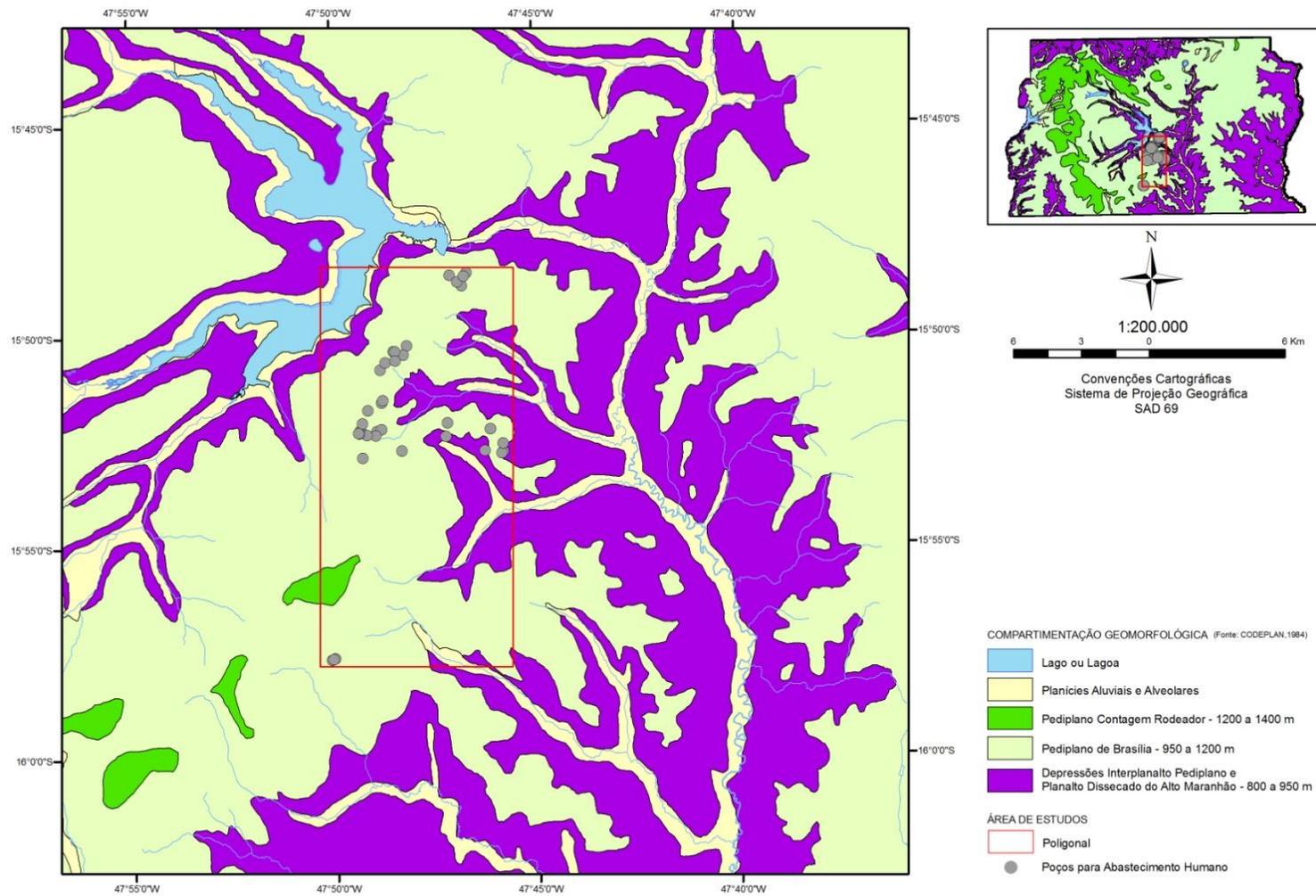


Figura 2.7: Mapa geomorfológico da área de estudos. Modificado de CODEPLAN, 1984.

com cotas que variam de 950 a 1200 m. Da mesma forma que no Pediplano Contagem-Rodeador, predominam chapadas, chapadões e interflúvios tabulares cobertos por materiais oriundos das áreas mais altas. A geração do Pediplano Brasília é considerada do Cretáceo Superior, em condições similares ao Pediplano Contagem-Rodeador (CODEPLAN, 1984).

As elevações que compõem esse compartimento constituem divisores dos rios São Bartolomeu e Preto. São elevações bastante arrasadas, com declives pouco acentuados. Nesta área, os quartzitos sustentam o relevo, e o processo de lateritização levou à formação de cobertura detrito-laterítica na primeira e segunda superfícies, sobretudo nas bordas.

As **Depressões Interplanálticas** e o Planalto Dissecado do Alto Maranhão abrangem áreas menores e mais baixas que os outros compartimentos, com altitudes entre 800 a 950 metros. Nas áreas das bacias dos rios São Bartolomeu, Preto e Descoberto aparecem relevos de colinas e interflúvios tabulares, predominando declives muito acentuados. Na bacia do Maranhão, ao norte, onde o relevo é dissecado, ocorrem vertentes abruptas e pequenas elevações de aspecto tabular. A proposta de geração desses compartimentos relaciona-se a alternâncias de clima úmido e seco, gerando erosões sucessivas, provavelmente associadas a soerguimentos tectônicos (CODEPLAN, 1984). Esta classificação não sugere nenhuma proposta para a idade dos compartimentos.

As **Planícies Aluviais e Alveolares** correspondem às áreas mais baixas e de formação mais recentes, relacionados ao Holoceno. O relevo apresenta formas planas elaboradas sobre sedimentos fluviais. As planícies alveolares diferenciam-se das aluviais em relação à forma. As alveolares apresentam-se alargadas, penetrando na rede de drenagem, a montante do curso d'água, e as aluviais são justapostas ao fluxo fluvial (CODEPLAN, 1984).

2.4 - Hidrogeologia

Em função da insuficiente disponibilidade hídrica superficial do Distrito Federal, as águas subterrâneas devem ser consideradas como fonte estratégica para complementação de abastecimento público (Felizola, 2009).

Os estudos sistemáticos sobre as águas subterrâneas do Distrito Federal são atribuídos a Romano e Rosas (1970), Costa (1975), Barros (1987 e 1994), Mendonça (1993), Campos e Freitas-Silva (1998) e Campos e Tröger (2000), entre outros.

O contexto hidrogeológico do Distrito Federal é dividido em Domínio Poroso (relacionado ao manto de intemperismo com até 50 metros de espessura) e em Domínio Fraturado (representado pelas zonas fraturadas nas rochas proterozóicas). O Domínio Fraturado é o mais importante do ponto de vista de abastecimento, sendo dividido nos sistemas aquíferos Canastra (com dois subsistemas), Paranoá (com cinco subsistemas), Bambuí e Araxá. O domínio poroso é dividido nos sistemas P₁, P₂, P₃ e P₄, sendo caracterizados como aquíferos suspensos com relação aos aquíferos fraturados (Campos e Freitas-Silva 1998). A tabela 1 mostra as principais características dos sistemas e subsistemas aquíferos do Distrito Federal e a figura 2.8 ilustra os sistemas aquíferos que ocorrem na área de estudos.

As águas dos aquíferos do **Domínio Poroso** são armazenadas nos espaços intergranulares dos constituintes dos solos ou das rochas alteradas, com os minerais, agregados de solos, material orgânico e outros. Ocorrem aquíferos livres e contínuos lateralmente, sendo os parâmetros hidrodinâmicos (K, T e S) diretamente proporcionais à espessura dos solos e à sua porosidade e permeabilidade (Campos & Freitas-Silva, 1998). No caso da área de estudos, que apresenta solos espessos (aproximadamente 20 metros), este domínio aquífero apresenta grande importância local, permitindo a construção de poços rasos (cisternas e cacimbas) para a captação e aproveitamento das águas de sub-superfície. Além disso, são muito importantes nos processos de recarga do sistema fraturado sotoposto. A recarga do Domínio Poroso se dá através da infiltração das águas de chuva. Este processo é um filtro natural para as águas que alcançam os aquíferos do domínio fraturado. Os exutórios são representados por fontes de depressão e contato, ou podem estar vinculados à recarga do aquíferos fraturados sotopostos (Felizola, 2009).

As águas dos aquíferos do **Domínio Fraturado** estão armazenadas ao longo de discontinuidades relacionadas a fraturas, juntas e diáclases. Os processos metamórficos foram responsáveis pela recristalização de minerais e pela cimentação de grãos, resultando na total obliteração da porosidade original. Este domínio é representado por sistemas de aquíferos

Tabela 2.1: Resumo da classificação dos domínios, sistemas e subsistemas aquíferos do Distrito Federal. Em destaque estão os aquíferos que ocorrem na área de estudos.

AQUÍFEROS DO DOMÍNIO POROSO				
AQUÍFERO	MÉDIAS DAS VAZÕES	ESPESSURA SATURADA MÉDIA	SOLOS PREDOMINANTES	UNIDADES GEOLÓGICAS SUBJACENTES
SISTEMA P₁	< 800 L/h	10 metros	Latossolo vermelho-amarelo de textura arenosa; Areias quartzosas	Q₃, R₃ e quartzitos da unidade S
SISTEMA P₂	< 500 L/h	> 10 metros	Latossolo vermelho arenoso a siltoso	A, S; Grupo Canastra; Grupo Araxá
SISTEMA P₃	< 500 L/h	<15metros	Latossolo vermelho argiloso; cambissolo	R₄; Grupo Araxá
SISTEMA P₄	< 300 L/h	Solos Rasos	Cambissolo litólico; litossolo rasos	PPC; Grupo Araxá; Grupo Canastra
AQUÍFEROS DO DOMÍNIO FRATURADO				
SISTEMA PARANOÁ				
AQUÍFERO	MÉDIAS DAS VAZÕES	TIPO LITOLÓGICO PREDOMINANTE		
Subsistema S/A	12.500 L/h	Ardósias e metassiltitos (A); quartzitos (topo S)		
Subsistema A	4.000 L/h	Ardósias (A)		
Subsistema Q₃/R₃	12.000 L/h	Quartzitos (Q₃); intercalações rítmicas de quartzitos de granulação fina a média e metassiltitos (R₃)		
Subsistema R₄	6.000 L/h	Intercalações centimétricas regulares de quartzitos de granulação fina e metassiltitos (R₄)		
Subsistema PPC	9.000 L/h	Metapelitos, ardósias e metacarbonatos (PPC)		
SISTEMA CANASTRA				
AQUÍFERO	MÉDIAS DAS VAZÕES	TIPO LITOLÓGICO PREDOMINANTE		
Subsistema F	7.500 L/h	Filitos		
Subsistema F/Q/M	33.000 L/h	Filitos com associações de quartzitos e mármore		
SISTEMA BAMBUÍ				
AQUÍFERO	MÉDIA DAS VAZÕES	TIPO LITOLÓGICO PREDOMINANTE		
	5.500 L/h	Metapelitos de baixo grau		
SISTEMA ARAXÁ				
AQUÍFERO	MÉDIA DAS VAZÕES	TIPO LITOLÓGICO PREDOMINANTE		
	3.000 L/h	Xistos		

Modificado de Campos e Freitas-Silva, 1998

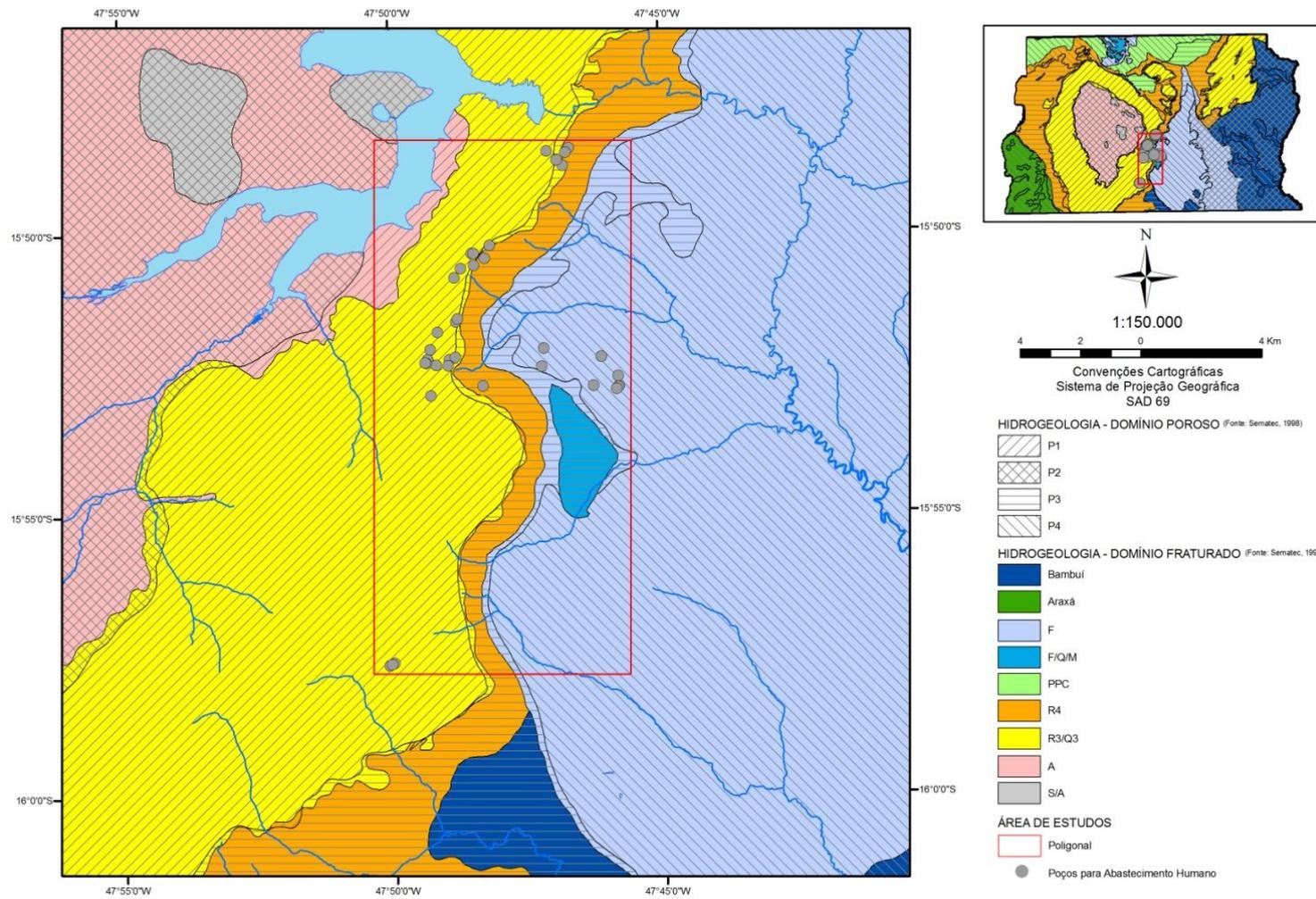


Figura 2.8: Mapa hidrogeológico da área de estudos. Modificado de Campos e Freitas-Silva, 1998

livres ou confinados, de restrita extensão lateral, com forte anisotropia e heterogeneidade, sendo responsável pelo armazenamento e circulação das águas subterrâneas profundas. Os parâmetros dimensionais são proporcionais à densidade das anisotropias nas rochas subjacentes (quanto maior a densidade de fraturas maior os valores de K e S) (Campos e Freitas-Silva, 1998). Os aquíferos fraturados são geralmente aproveitados através de poços tubulares profundos (no Distrito Federal com profundidades entre 100 a 200 metros). A recarga se faz através da percolação descendente de águas de precipitação pluviométrica, sendo, na região, favorecida pela atitude verticalizada das fraturas de rochas psamíticas. Outros fatores também importantes no controle da recarga são o relevo, o tipo de cobertura vegetal, a espessura das coberturas de solos, as condições de uso do solo e a porcentagem de áreas urbanizadas. Este subsistema, em função de sua vazão específica elevada, grande área de distribuição lateral, ampla cobertura pelos sistemas do Domínio Poroso, é o mais importante no Distrito Federal, e o único fora do domínio cárstico que pode, em alguns casos, viabilizar de forma sustentável, o abastecimento completo de parcelamentos urbanos de pequeno porte.

2.5 - Hidrografia

O **Rio São Bartolomeu** é o maior rio do Distrito Federal, com 55 Km de extensão, cortando o Quadrilátero no sentido Norte-Sul. Nasce a partir das águas que vêm da região mais alta de Sobradinho e Planaltina, próximo à Lagoa Joaquim Medeiros, recebe as águas do Rio Paranoá, e depois segue pelo estado de Goiás, formando a bacia do Corumbá.

Até o final da década de 1980, o Rio São Bartolomeu era a reserva de água potável mais promissora para o abastecimento da população de Brasília e circunvizinhanças, porém atualmente seus afluentes e suas cabeceiras contam com baixa disponibilidade de água superficial e subterrânea, situação agravada pelo impacto ambiental provocado não somente pela pressão urbana, mas também pela forma como são utilizados o solo e a água na região.

Contribuindo com o crescente impacto ambiental na bacia, os condomínios do Setor Habitacional Jardim Botânico encontram-se distribuídos principalmente pelas **sub-bacias** Santana, Papuda, Tabocas, Paranoá e Cachoeirinha (Fig. 2.9). Dentre estas sub-bacias, a mais ocupada é a Tabocas.

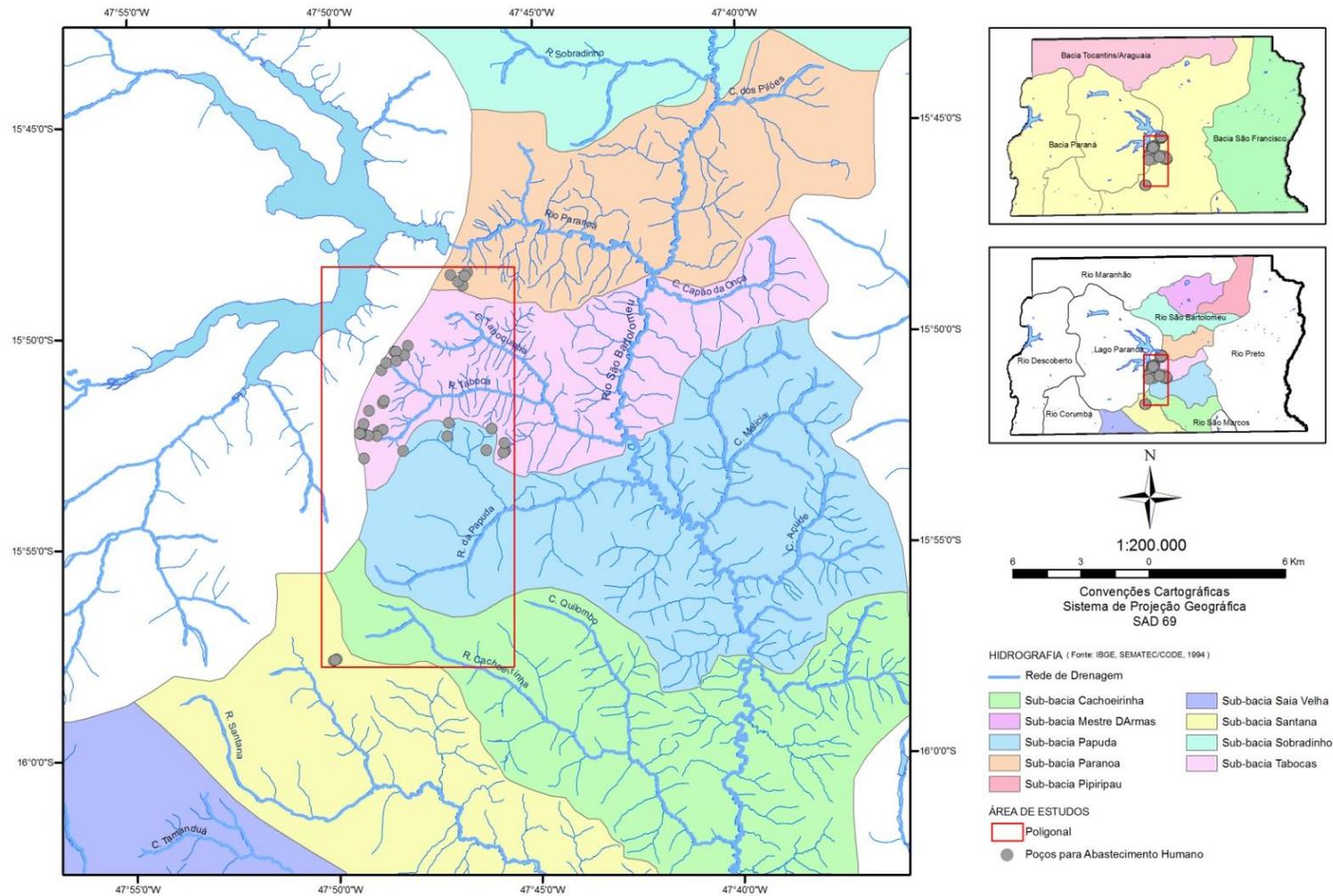


Figura 2.9: Mapa hidrográfico da área de estudos com sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu. Modificado de IBGE, SEMATEC/CODE, 1994.

Próximo aos condomínios, os córregos, que apresentam pequenas vazões, são vistos pelos condôminos como receptores naturais das águas residuais e de drenagem pluvial, o que acarreta mudanças nos padrões físicos, químicos e biológicos das drenagens e do próprio Rio São Bartolomeu.

Desta forma torna-se de fundamental importância que a ocupação do solo na área do Setor Habitacional Jardim Botânico seja feita de forma criteriosa e continuamente monitorada, uma vez que o uso indevido dos recursos naturais pode provocar consequências irreversíveis.

2.6 - *Clima*

O clima do Distrito Federal é marcado pela forte sazonalidade, com dois períodos distintos bem caracterizados. O **período entre maio e setembro** é marcado pela baixa taxa de precipitação (Fig. 2.10) e baixa precipitação máxima em 24 horas (Fig. 2.11), baixa nebulosidade (Fig. 2.12), alta taxa de evaporação (Fig. 2.13) e alta taxa de insolação (Fig. 2.14) com valores muito baixos de umidades relativas diárias (Fig. 2.15), tendo sido registrados valores inferiores a 15% e altos valores de pressão atmosférica (Fig. 2.16). O **período entre outubro e abril** apresenta padrões contrastantes, sendo que os meses de dezembro a março concentram 47% da precipitação anual.

Segundo a classificação climática de Köppen, no Distrito Federal podem ocorrer, em função de variações de altitude e das temperaturas médias (Fig. 2.17) dos meses mais frios e mais quentes, climas do tipo: Tropical Aw, Tropical de Altitude Cwa e Tropical de Altitude Cwb (CODEPLAN, 1984).

A precipitação média anual é da ordem de 1500 milímetros, com distribuição irregular, onde as menores alturas pluviométricas anuais ocorrem na porção leste e as taxas mais elevadas estão concentradas em dois pontos a NE e SE do Distrito Federal (Baptista, 1998, entre outros).

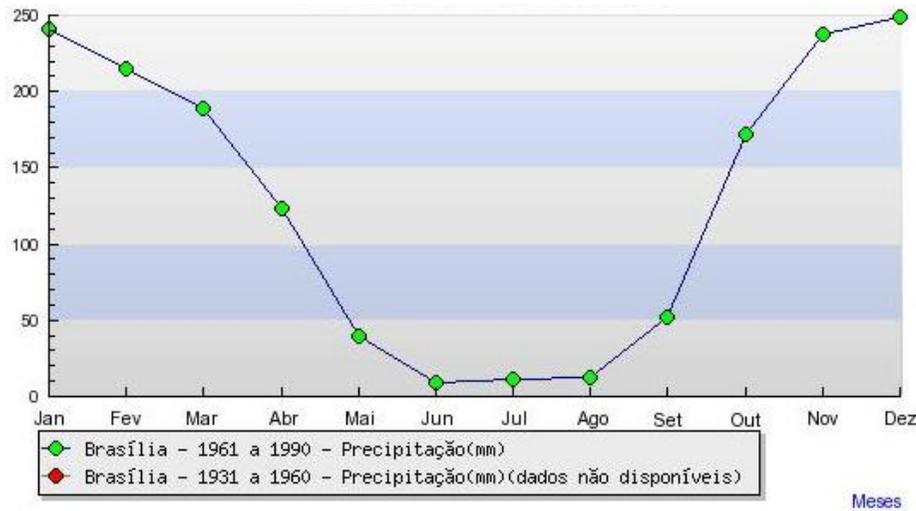


Figura 2.10: Precipitação pluviométrica. Fonte: INMET.

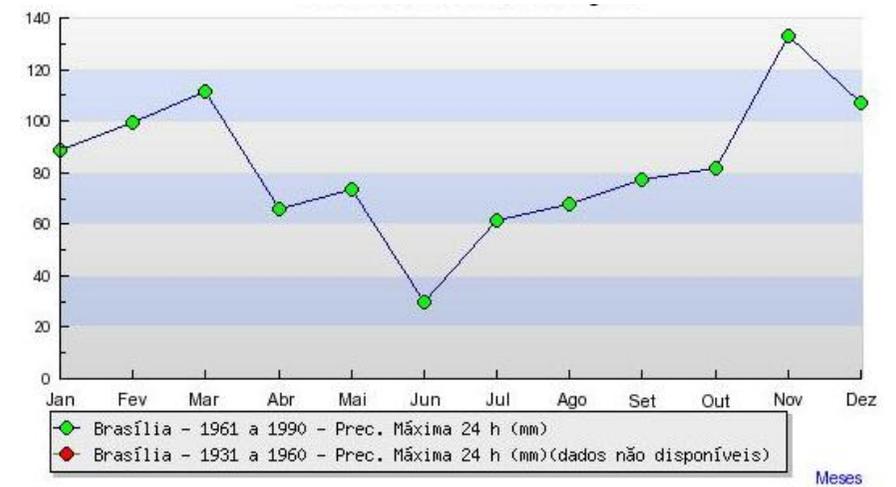


Figura 2.11: Precipitação pluviométrica máxima em 24 horas. Fonte: INMET.

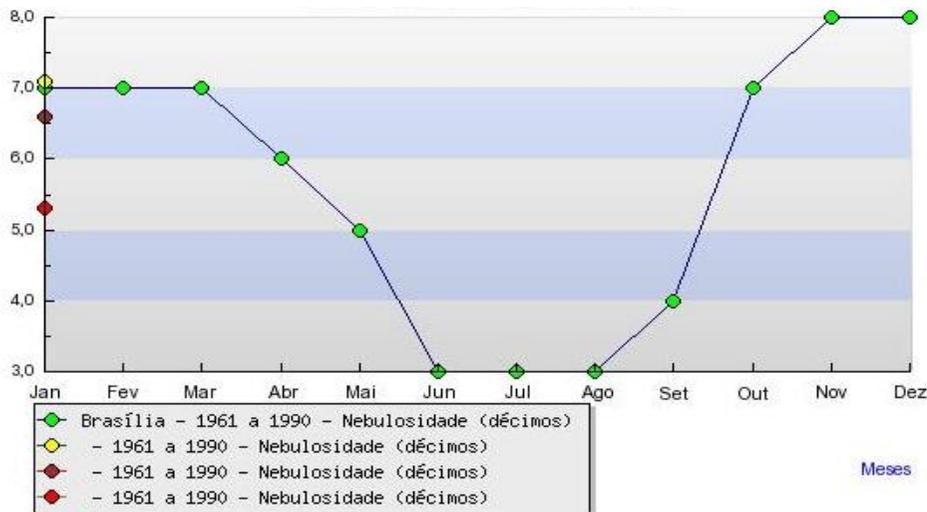


Figura 2.12: Nebulosidade. Fonte: INMET.

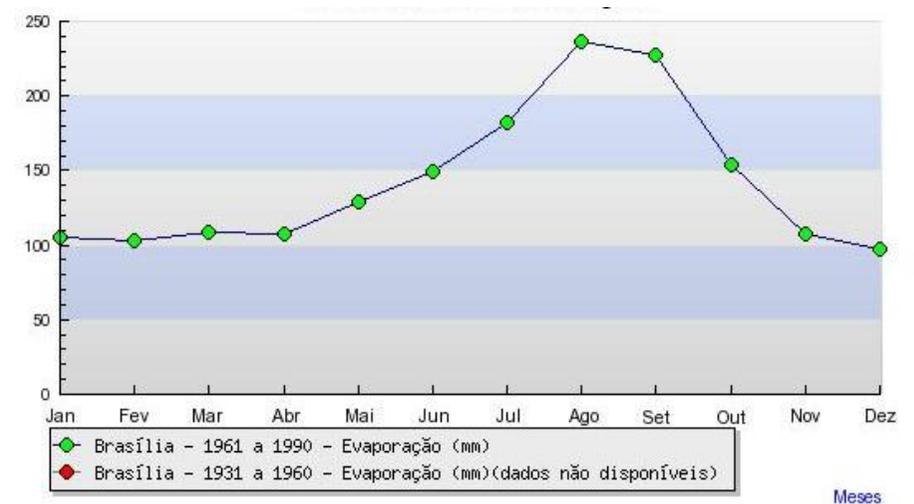


Figura 2.13: Evaporação. Fonte: INMET.

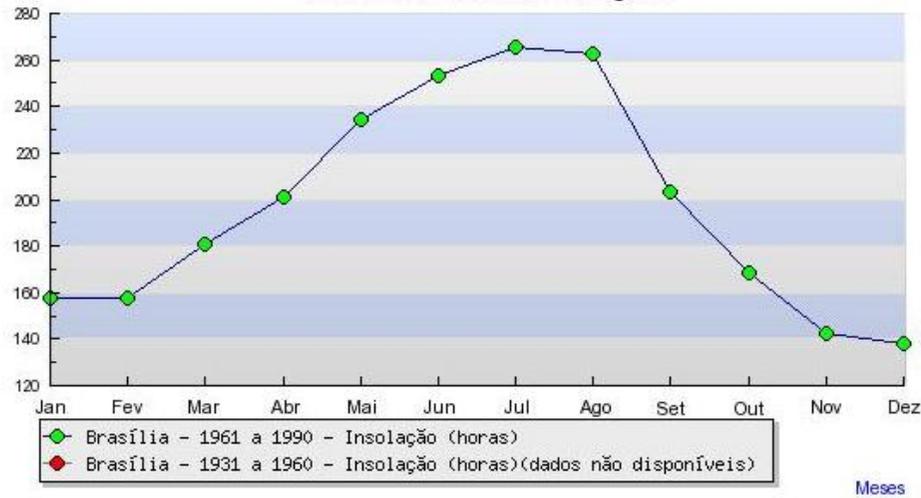


Figura 2.14: Insolação. Fonte: INMET.

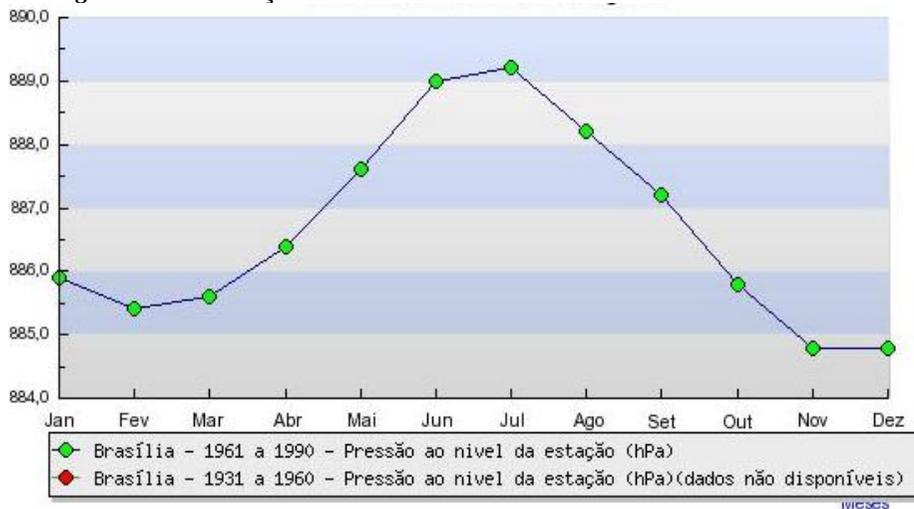


Figura 2.16: Pressão atmosférica. Fonte: INMET.

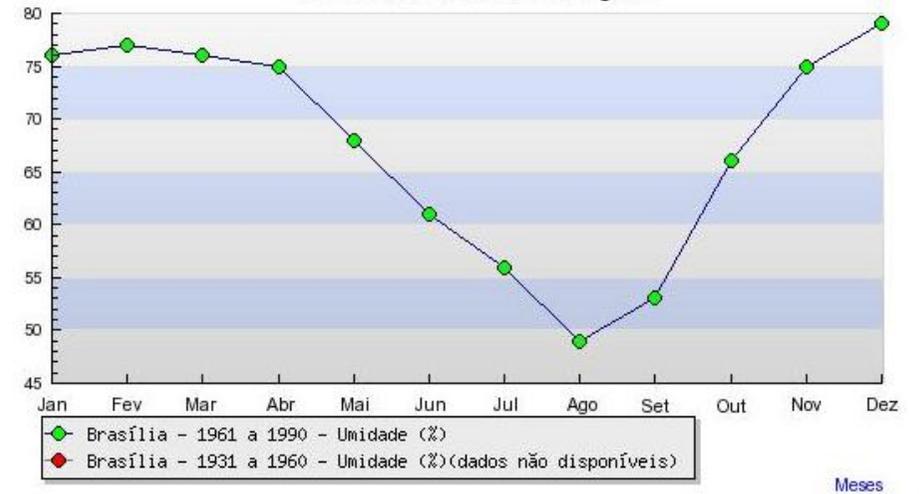


Figura 2.15: Umidade relativa diária. Fonte: INMET.

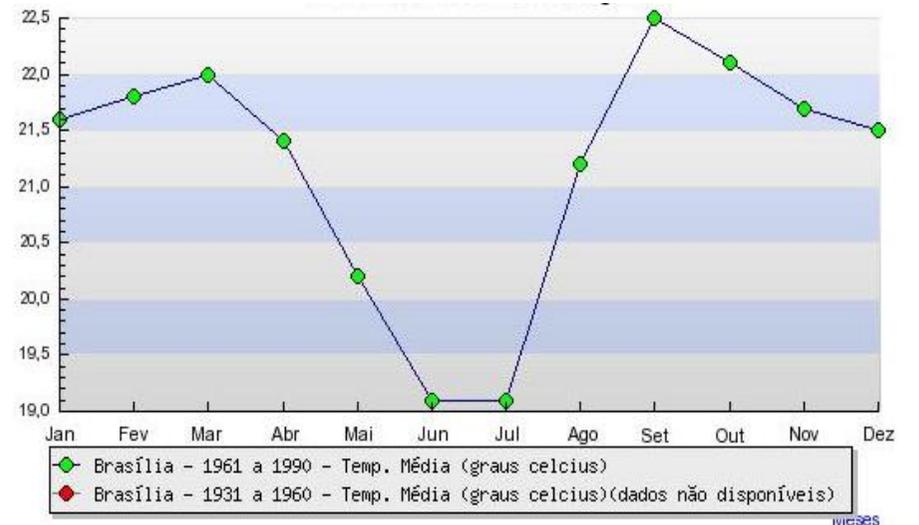


Figura 2.17: Temperatura média. Fonte: INMET.

Estimativas de Coimbra (1987) mostram que cerca de 12% da precipitação total infiltram na zona vadosa efetivamente alcançando a zona saturada do aquífero. A evapotranspiração real fica em torno de 900 milímetros anuais, sendo que os meses de maio a setembro apresentam déficit hídrico, enquanto o período de outubro a abril apresenta superávit.

Um efeito anômalo da distribuição das precipitações é observado durante os veranicos de janeiro. Esse fator climático é conhecido pelos agricultores da região do cerrado e em muitos anos é responsável pela quebra da produção agrícola.

2.7 - Vegetação e Uso do Solo

Na província do **Cerrado** predominam as **formações savânicas**, mas ocorrem também **formações florestais**. O gradiente de formas fisionômicas depende de três aspectos do substrato: a fertilidade e o teor de alumínio disponível; a profundidade dos solos, e o grau e a duração da saturação hídrica na camada superficial e subsuperficial (Novaes Pinto, 1990).

As principais formações do Cerrado são:

Mata Ciliar: formação florestal semidecídua relativamente estreita que ocorre ao longo dos cursos d'água e sobre terrenos acidentados, dificilmente ultrapassando 100 metros de largura, sendo que o estrato arbóreo varia de 20 a 25 metros de altura, com poucos indivíduos emergentes (Lima, 2001).

Mata de Galeria: vegetação florestal perenifólia, inundável ou não, que acompanha os rios de pequeno porte e córregos, formando corredores fechados sobre o curso de Água localizado nos fundos dos vales ou nas cabeceiras de drenagem, a altura média do estrato arbóreo varia entre 20 e 30 metros com superposição das copas (Lima, 2001).

Mata Seca ou Mata Mesofítica: formações que ocorrem em solos geralmente mais ricos em nutrientes apresentando diversos níveis de caducifolia durante a estação seca, a altura do estrato arbóreo varia entre 15 e 25 metros, apresentando alguns indivíduos emergentes (Lima, 2001).

Cerradão: formação florestal com aspectos xeromórficos apresentando espécies que ocorrem no Cerrado e também por espécies de matas. A altura média do estrato arbóreo varia de 8 a 15 metros, com ocorrência de estratos arbustivos e herbáceos (Lima, 2001).

Cerrado *sensu stricto*: caracterizado por árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações retorcidas, apresentando um estrato arbóreo e um herbáceo dominado por gramíneas. Em função da complexidade de fatores condicionantes originam-se subdivisões fisionômicas distintas das formações campestres do Cerrado *Sensu Stricto*, que são o Campo Sujo, o Cerrado Típico, o Campo Limpo e o Campo Rupestre (Lima, 2001). O **Campo Sujo** é exclusivamente herbáceo-arbustivo, com arbustos e subarbustos distribuídos de forma esparsa, o **Campo Rupestre** assemelha-se ao anterior, todavia ocupando trechos de afloramento rochosos, ocorrendo em altitudes acima de 900 metros e, o **Campo Limpo** que é uma fitofisionomia predominantemente herbácea, com raros arbustos e ausência completa de árvores, encontrada com mais frequência nas encostas, nas chapadas, olhos d'água, ao redor de veredas e na borda de matas de galeria.

Parque de Cerrado ou Murundum: caracterizado pela presença de árvores agrupadas em pequenas elevações do terreno, onde o estrato arbóreo alcança a altura média de três a seis metros (Lima, 2001).

Outras formações savânicas são o **Palmeiral** caracterizada pela presença marcante das espécies de palmeiras arbóreas denominadas gueroba, babaíu, buriti e macaúba e a **Vereda** que é mais uma formação condicionada ao afloramento do lençol freático, ocorrendo a espécie de palmeira emergente *Maurita flexuosa*, em meio a agrupamentos mais ou menos densos de espécies arbustivo-herbáceas (Barros, 1994, entre outros).

As principais fitofisionomias encontradas na área de estudos são as formações de campo, localizado mais notadamente nas encostas; campo cerrado, onde se encontram espécies arbóreas, arbustivas e uma camada de vegetação rasteira; cerrado típico, formado por um dossel fechado variando de 3 a 4 metros de altura; cerradão, caracterizado pela presença de um estrato arbóreo fechado com altura média do dossel variando de 7 a 9 metros de altura e situado mais notadamente na ARIE do Cerradão, e mata de galeria, situada nas cabeceiras dos córregos (Fig. 2.18).



Figura 2.18: Fitofisionomias na área de estudos.

As formações de Cerrado sofrem diariamente o acelerado processo de **antropização** existente no Distrito Federal que provoca, desta forma, intensivos processos de degradação neste ecossistema. Pode-se destacar a agricultura e o crescimento urbano como sendo os principais agentes de transformação das paisagens naturais (UNESCO, 2000).

Deve-se ressaltar que as formações de campo e campo cerrado, por serem formações vegetais menos adensadas, têm maior influência destas intervenções antrópicas e de plantas invasoras encontrando-se, desta forma, mais perturbadas que as demais formações levantadas que se apresentam em melhor estado de conservação na área de estudos.

O uso do solo predominante na área de estudos são os parcelamentos com fins urbanos e as atividades agrícolas com edificações isoladas em chácaras (Fig. 2.19). A remoção da cobertura de Cerrado e as práticas agrícolas e a de urbanização sem critério definidos acabam por reduzir os *habitats* naturais da fauna e flora nativas, com implicações diretas no microclima, na permeabilidade do solo e na qualidade de vida da própria população local.

Nos arredores da área de estudos, principalmente ao sul, ocorrem grandes centros agrícolas (Fig. 2.20) que também influenciam as condições naturais da região estudada.



Figura 2.19: Parcelamentos urbanos e atividades agrícolas na área de estudos.

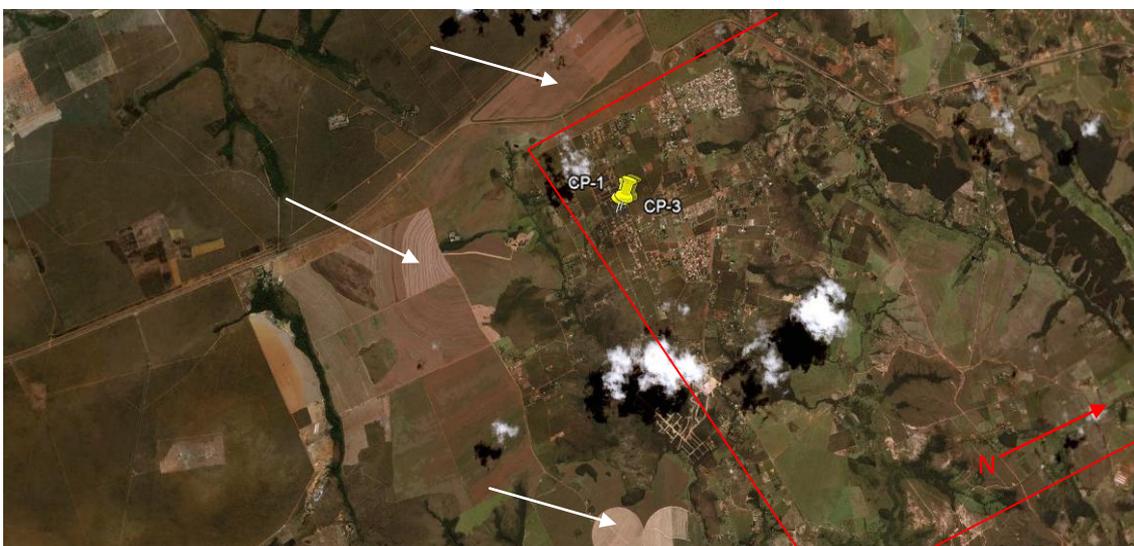


Figura 2.20: Atividades agrícolas a sul da área de estudos. Google Image, 2009.

Capítulo III

Processo de Ocupação do Distrito Federal & do Setor Habitacional Jardim Botânico

3.1 - O Distrito Federal

O Distrito Federal é uma região predominantemente urbana. A taxa de urbanização atual é de 94,6%, logo, apenas 5,4% da população residem na zona rural, especialmente nas áreas de Planaltina, Sobradinho, Paranoá, Gama e Brazlândia. Esta é uma das aglomerações urbanas que mais cresceram no Brasil, tanto em seus núcleos quanto nos seus entornos. Atualmente mais de 2 milhões de pessoas residem no Distrito Federal e estima-se que cerca de 700 mil pessoas residam no Entorno (GDF).

Desde a primeira constituição republicana já constava um dispositivo que previa a mudança da Capital Federal do Rio de Janeiro para o interior do país. No ano de 1891, foi nomeada a Comissão Exploradora do Planalto Central do Brasil, liderada pelo astrônomo Luís Cruls e integrada por médicos, geólogos e botânicos, que fizeram um levantamento sobre topografia, clima, geologia, flora, fauna e recursos materiais da região do Planalto Central. A

área ficou conhecida como Quadrilátero Cruls e foi apresentada em 1894 ao Governo Republicano.

Em 1922 uma comissão do Governo Federal estabeleceu a localização no cerrado goiano, mas o projeto ficou engavetado. Apenas em 1955, durante um comício na cidade goiana de Jataí, o então candidato à presidência Juscelino Kubitschek afirmou que iria transferir a capital. Eleito presidente, Juscelino estabeleceu a construção de Brasília como meta-síntese de seu Plano de Metas.

O traçado de ruas de Brasília obedeceu ao plano piloto implantado pela empresa NOVACAP a partir de um anteprojeto do arquiteto Lucio Costa, escolhido através de concurso público. O arquiteto Oscar Niemeyer projetou os principais prédios públicos da cidade. Apesar de a cidade ter sido construída em tempo recorde, a transferência efetiva da infra-estrutura governamental só ocorreu durante os governos militares, já na década de 1970.

No Brasil, a idéia de cidade está intimamente ligada à de município, porém o Distrito Federal é exceção a esta regra: há diversos núcleos urbanos, sendo o principal deles a região administrativa de Brasília, que por sua vez também se confunde com a idéia de Plano Piloto. Quanto aos outros núcleos, há muita discussão sobre se estes seriam cidades distintas, ou se seriam na verdade bairros distantes da capital do país. De qualquer forma, o Distrito Federal não é município, nem estado, constituindo um tipo independente de entidade federativa. Possui governador, assim como os estados, mas não é subdividido em municípios, portanto, também não possui nenhum prefeito.

É dividido em regiões administrativas, que historicamente foram chamadas de cidades-satélite. Convém lembrar que alguns destes núcleos, como Planaltina, por exemplo, são mais antigos do que a própria Brasília. Planaltina, inclusive, já chegou a ser município de Goiás, antes de ser incorporado ao Distrito Federal.

Inicialmente eram 8 Regiões Administrativas mas em função do acelerado processo de ocupação do solo e objetivando dar maior agilidade à gestão governamental do território foram criadas ao longo dos anos mais 22 Regiões Administrativas. Atualmente existem 30 Regiões Administrativas.

Muitos dos núcleos urbanos que atualmente compõem as Regiões Administrativas foram criados em períodos mais recentes, desde 1989, com vistas a atender as necessidades habitacionais de populações de baixa renda, instaladas em áreas cada vez mais distantes do centro de Brasília (GDF).

Nessa ocasião, a política habitacional do Governo do Distrito Federal estabeleceu como prioridade a distribuição indiscriminada de lotes para famílias de baixa renda, em parcelamentos situados nos arredores de Brasília, localidades onde foi implementado o Programa de Assentamento Populacional das Populações de Baixa Renda. O cadastro da SHIS – órgão do GDF, extinto em dezembro de 1994, responsável pelo Programa de Assentamento - registrava um saldo remanescente de 77 mil famílias não atendidas pelo programa, em 2000.

O comportamento do quadro social do Distrito Federal reflete a situação do país indicando um crescimento populacional acelerado, embora um tanto decrescente nas duas últimas décadas, em contraste com um desenvolvimento econômico e de infra-estrutura, bem menos significativo. Em 1957, segundo dados do IBGE, a população total do Distrito Federal somava 12.700 pessoas. Em 1960, ano da transferência da Capital, a população residente no Quadrilátero era de 141.742 pessoas passando para 537.492 em 1970. Em 1980 atingiu o patamar de 1 milhão de habitantes (1.176.935) e em 1991 totalizou 1.601.094 habitantes, cerca de 11,4 vezes maior que em 1960. Segundo o IBGE, em 2009 a população do Distrito Federal atingiu o total de 2.606.885 habitantes.

Estimativas realizadas pela CODEPLAN - órgão do Governo do Distrito Federal - mantêm a propensão declinante das taxas médias de crescimento para as próximas décadas (2,56% no período de 1991 a 2000 e 1,73% para 2000 a 2010).

A distribuição da população do Distrito Federal por Região Administrativa indica que existem grandes contingentes populacionais no eixo sudoeste, onde estão localizadas as cidades de Taguatinga, Ceilândia e Samambaia, as mais populosas do Quadrilátero.

O eixo sudoeste constitui o vetor de expansão populacional previsto pelo PEOT e pelo PDOT-1997. Não obstante, o planejamento da ocupação territorial e urbana do Distrito Federal foi sensivelmente alterado por uma série de parcelamentos irregulares, também chamados condomínios irregulares.

Com o aparecimento das centenas de condomínios irregulares o perfil ocupacional do Distrito Federal passou a apresentar também um crescimento em direção ao noroeste e nordeste, em especial no sentido Sobradinho - Planaltina, modificando a configuração do uso e ocupação do solo local.

Espalhados por quase todo o Distrito Federal, esses condomínios se encontram principalmente nos limites das várias Regiões Administrativas, entre as quais Gama, Taguatinga, Samambaia, Santa Maria, São Sebastião, Ceilândia, Recanto das Emas, Núcleo Bandeirante, Brazlândia, Sobradinho, Planaltina, Lago Norte e Lago Sul se destacam.

3.2 - Os Condomínios Irregulares

Os loteamentos irregulares surgiram no Distrito Federal ainda na década de 60. Em 1966, quando processos de desapropriação se encontravam em sua fase mais intensa, já se constatava o problema dos loteamentos irregulares no Distrito Federal, com a presença dos condomínios Nossa Senhora de Fátima, localizado na Fazenda Mestre d'Armas e Planaltinópolis, na Fazenda Paranaú (Malagutti, 1996).

Em 1985 haviam 77 condomínios no Quadrilátero e no período de 1987 a 1989 já somavam 150. Em 1997, o total de condomínios cadastrados no Distrito Federal totalizava 529, sendo que 297 eram considerados inviabilizados por vários motivos, dentre eles, o fato de não atenderem a Lei nº 54/89 que dispõe sobre a regularização e desconstituição de parcelamentos urbanos implantados no território do Distrito Federal, sob a forma de loteamentos ou condomínios de fato (Malagutti, 1996). Os 232 loteamentos restantes podem ser divididos em 3 grupos: 1. Condomínios localizados em áreas da TERRACAP; 2. Condomínios localizados em terras particulares e; 3. Loteamentos de Interesse Social (baixa renda). Destes parcelamentos, mais de 60% eram urbanos e apenas 57% estavam fora das APAs.

Dos loteamentos com as características urbanas como se conhece hoje no Distrito Federal, o primeiro a surgir foi o Country Club Quintas da Alvorada, atualmente conhecido como Quintas da Alvorada, em 1975. Ao que parece, este loteamento na verdade era apenas um entre muitos que começaram a surgir no Distrito Federal nessa época, haja vista que em

1977 a imprensa noticiava a existência de alguns outros loteamentos clandestinos caracteristicamente urbanos, mas disfarçados em chácaras ou sítios de recreio, para não atrair a atenção do Poder Público, tanto quanto para tentar burlar a Lei nº 6.766, de 19/12/1969, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano no Brasil e exige critérios básicos de urbanização e edificação (Malagutti, 1996).

Além disso, a Lei 6.766/69 dispõe sobre a estrita definição do perímetro urbano do município e sobre o zoneamento do uso do solo e, no caso do Distrito Federal, esclarece o papel e as atribuições do Poder Público, dos loteadores e dos compradores de lotes, visando otimizar o exercício do parcelamento do solo e, por fim, exige a licença ambiental na execução do parcelamento do solo e uma reserva mínima de 35% da gleba loteada para a implantação de equipamentos comunitários e sociais ou para diversos fins públicos. Com raras exceções, estas exigências não foram cumpridas.

Os loteamentos situados em áreas públicas estão sendo transformados em novos bairros urbanos ou setores habitacionais. São eles: Setor Habitacional Jardim Botânico, Setor Habitacional São Bartolomeu, Setor Habitacional Dom Bosco, Setor Habitacional Taquari e Setor Habitacional Boa Vista.

Os loteamentos situados em áreas particulares deverão processar a regularização junto a SEMARH através do estudo de impacto ambiental e do antigo IPDF, mediante comprovação cartorial de propriedade da terra.

O grande problema destes loteamentos reside nas sucessivas irregularidades arroladas pelos promotores imobiliários, pelos pretensos proprietários de terras e pelo próprio Poder Público, na medida em que ao que tudo indica, por parte do Estado, nunca houve, verdadeiramente, vontade política em resolver o problema. Raramente foram formalizadas recomendações que se dedicam à questão e, quando foram, ocorreram tardiamente (Malagutti, 1996).

Do ponto de vista do descumprimento das exigências legais e técnicas na constituição de áreas urbanas, todos os loteamentos assim se enquadram, principalmente no que diz respeito à situação fundiária e às características mínimas de urbanização exigidas para um loteamento. Este fato legitima e justifica a obrigatoriedade de estudos e relatórios de impacto ambiental prévios à concepção de loteamentos.

Assim os loteadores têm o trabalho de mostrar, nas plantas dos condomínios, o que asseguram ser o cumprimento estrito da legislação, precisando as quadras, arruamentos e alguns equipamentos urbanos e comunitários. Não obstante, as informações sobre cursos d'água, nascentes, redes de alta tensão, clareza no sistema viário interno, todos esses itens exigidos por lei, são insuficientes ou, na verdade, não existem. Além disso, uma boa parte (43%) dos condomínios irregulares do Distrito Federal estão localizados em APAs, ou seja, em unidades de conservação que possuem sérias restrições ao uso e a ocupação do seu solo, em função de uma necessidade, no Distrito Federal, de proteção dos recursos hídricos.

O discurso da ilegalidade dos loteamentos foi construído, portanto, em torno da inadequação dos condomínios às formalizações da ocupação do espaço. No Distrito Federal os condomínios situam-se em áreas bastante diferentes do ponto de vista da dominialidade da terra. Primeiro e mais fáceis de serem resolvidos são as irregularidades daqueles onde já não existem mais problemas quanto à dominialidade da terra e que poderão ser colocados em processo de licenciamento, porque não estão em APAs e são terras privadas que foram ou serão loteadas.

Contudo, os condomínios irregulares não se caracterizam apenas pelas suas questões jurídicas e técnicas, algumas singularidades de caráter simbólico e cultural são evidentes.

A primeira dessas singularidades diz respeito ao sistema de nomeação dos condomínios, que sugere homologias a lugares seletivos, fechados, particulares, quando não se transformam na própria tradução simbólica de um sistema de exclusão que transcende os valores econômicos e se erguem através de signos indicadores de posições sociais ou de status. É comum encontrarmos condomínios com nomes de Condomínio Privê, Club Country, Mansões, Ville ou Village, Morada dos Nobres, Império dos Nobres, Recantos dos Nobres, Estâncias, Parque, Jardim, que como se vê, são signos distintivos que prometem exclusividade, segurança e sugerem um modo de vida digno dos eleitos, dos destinados, dos que buscam, ainda que não com clareza de ações, a distinção e a qualidade de vida.

Essas categorias condizem com o imaginário social que vê no tipo de espaço marcado por categorias como Privê, Ville, Estância, um mundo estruturalmente dividido. Apesar de alguns condomínios serem considerados de interesse social e, portanto, ocupados por famílias de baixa renda, a grande maioria deles está voltada para um público de renda média, formado

por funcionários públicos e profissionais liberais, a grande maioria deles, proprietários de automóveis, de telefones celulares e com filhos estudando nas escolas particulares do Plano Piloto.

Isso informa um código de ética de classe que demonstra valores relacionados ao bem-estar social e à qualidade de vida, proporcionados pelos metros quadrados e pelos contatos com as áreas verdes, naquilo que elas oferecem.

Os condomínios irregulares se transformaram assim em um protótipo do modelo de habitabilidade assumido pela classe média brasileira. Na impossibilidade de parte dessa classe ocupar os lugares nobres já consolidados do Distrito Federal, os condomínios estão sendo construídos como espaço social ideal para a classe média, cuja demanda reprimida por habitação foi, aparentemente, resolvida pelo GDF através da concepção de Águas Claras, com um público previsto de 150.000 pessoas, Setor Sudoeste com público previsto de 100.000 pessoas, além da expansão de 50 lotes no Setor de Mansões Dom Bosco e dos condomínios por unidades autônomas, projeto de subdivisão dos lotes do Setor de Mansões Park Way em 8 unidades por lote, do Setor de Mansões Dom Bosco em 5 unidades por lote e do Setor de Mansões do Lago Norte em 4 unidades por lote.

A rigor, não se reconhece nos condomínios uma resultante apenas da demanda reprimida por habitação para classe média. Estes loteamentos são resultantes da combinação entre a demanda habitacional e a especulação imobiliária em torno da qual a indústria do condomínio se estabeleceu.

Se for levado em consideração que, por um lado, o tamanho médio das famílias no Distrito Federal é de 4,2 pessoas por domicílio e que, por outro, a oferta de lotes para a classe média, provenientes de Águas Claras com 35.000 unidades residenciais e Setor Sudoeste com 23.000 unidades residenciais, entende-se que estes dois setores habitacionais oferecem 58.000 residências, com capacidade de atendimento para 250.000 pessoas. Isto equivale à satisfação de 30% das famílias de classe média no Distrito Federal. Considera-se classe média as famílias com renda variando de 10 a 40 salários mínimos, segundo classificação da CODEPLAN.

Se for considerada a oferta de lotes ou unidades residenciais provenientes de Águas Claras e Setor Sudoeste, observa-se uma oferta real de habitação para 44% das famílias de classe média no Distrito Federal.

Considerando, igualmente, que 46%, em média, das famílias do Distrito Federal possuem residência própria, é possível afirmar que a demanda habitacional da classe média não é alta, nem tampouco justifica a existência e a necessidade das 43.000 unidades ofertadas pelos condomínios irregulares.

Em tese, portanto, muito mais que uma necessidade, os condomínios representam uma forma de aquisição da casa própria, menos onerosa e mais dinâmica em termos de concretização do espaço e colocação dos equipamentos sociais. Além disso, parte da classe média, exerce demanda por moradias de grande porte, com terrenos de grandes dimensões e com custos abaixo do mercado. Terrenos que servem para morar, alugar ou investir. Terrenos que garantam espaço, comodidade, áreas de lazer e tranquilidade.

3.3 - O Setor Habitacional Jardim Botânico

Os primeiros condomínios irregulares na região da área de estudos datam de 1984. O primeiro deles, denominado Mirante das Palmeiras, data de 10 de outubro daquele ano. Dando prosseguimento ao parcelamento, foram implantados diversos condomínios, como o Parque das Palmeiras e o Jardim das Palmeiras em 1985, a Rural Mansões Califórnia em 1986, o San Diego e a Estância Jardim Botânico em 1990 (Malagutti, 1996).

A imagem Landsat de 1986 (Fig. 3.1) mostra que o uso do solo da região do Jardim Botânico naquela época era predominantemente rural, com poucos pontos residenciais relativos à sedes de chácaras ou pequenos parcelamentos, e grandes áreas correspondentes a atividades agrícolas. Já a imagem Landsat de 1996 (Fig. 3.2) mostra que 10 anos mais tarde, a mesma região já possuía grandes porções relativas à ocupação urbana, todavia, com áreas ainda destinadas à agricultura, que nunca perdeu totalmente sua importância na região.

Com a crescente aglomeração urbana, mostrada pelas imagens, o Setor Habitacional Jardim Botânico foi criado politicamente em 1999 através do Decreto 20.881. Três anos

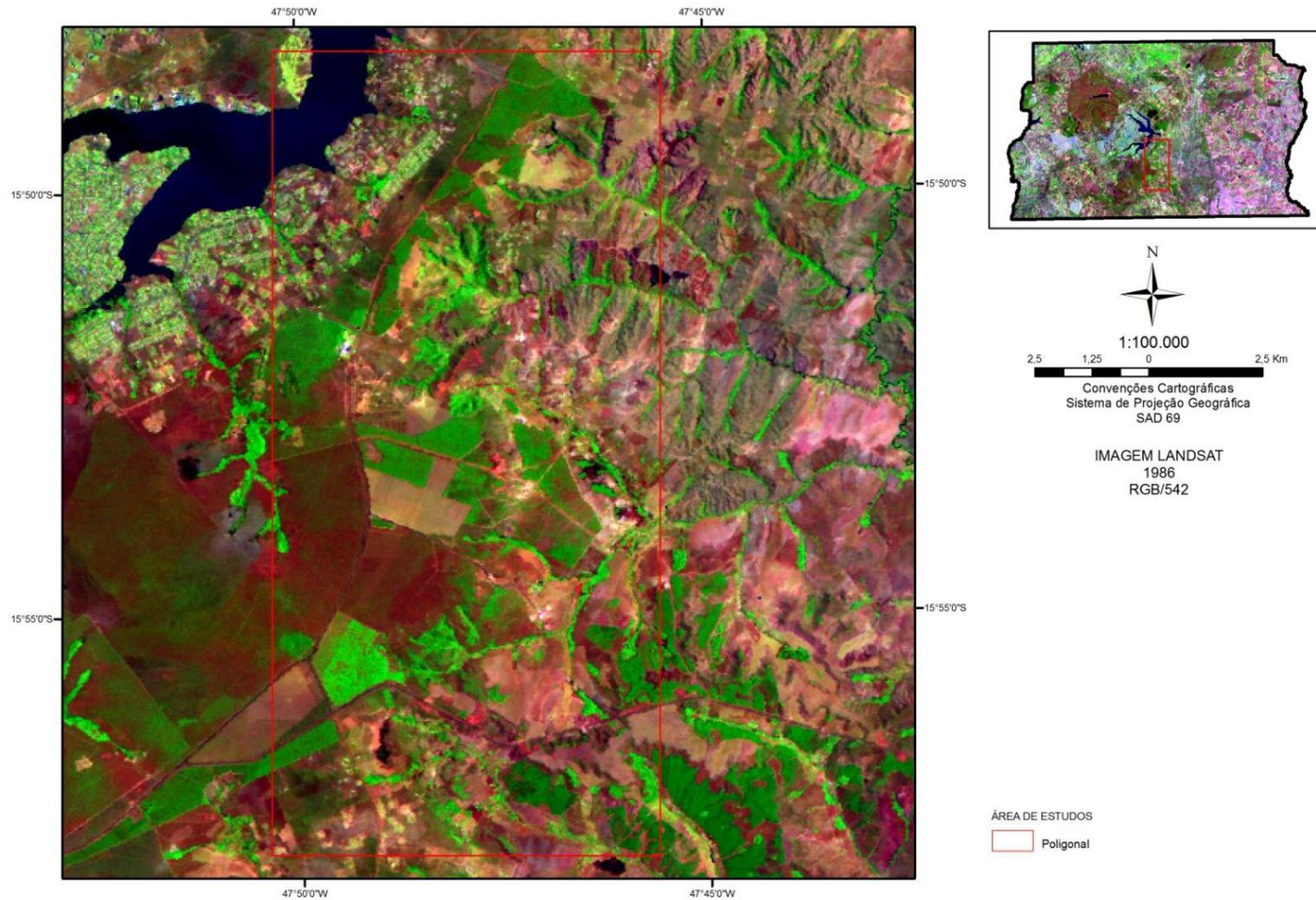


Figura 3.1: Imagem Landsat de 1986 mostrando que o uso do solo da região do Jardim Botânico naquela época era predominantemente rural.

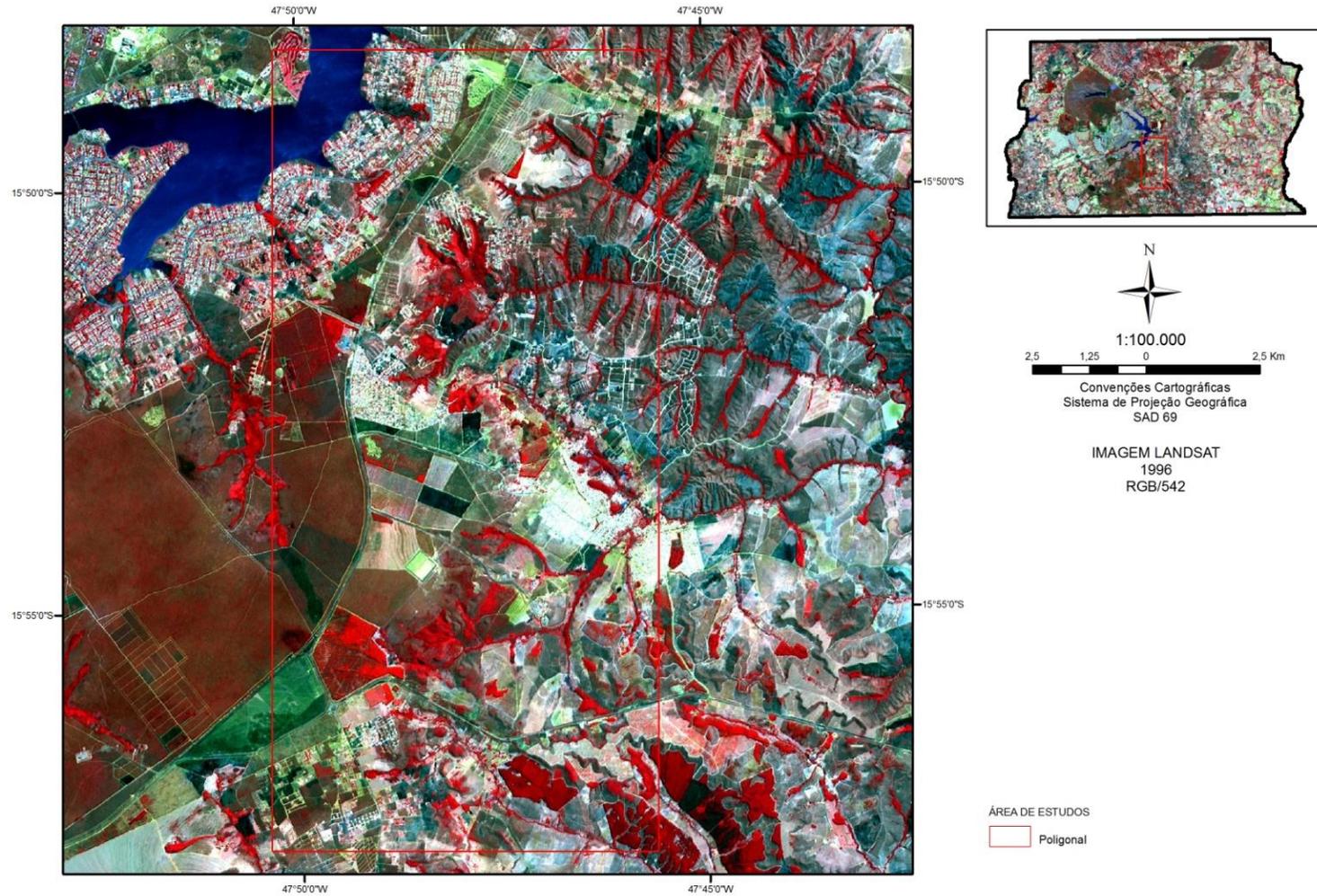


Figura 3.2: Imagem Landsat de 1996 mostrando que a região do Jardim Botânico naquela época já possuía grandes áreas relativas à ocupação urbana.

depois, em 2002, o Governo do Distrito Federal, através da Lei nº 2.786, criou a Gerência da Região dos Condomínios, ligada ainda à Administração Regional do Lago Sul.

Pouco tempo depois, o número de habitantes da região já havia dobrado. A imagem Landsat de 2003 (Fig. 3.3) mostra que a urbanização da região no pequeno período de 7 anos foi acentuadamente crescente e, devido à esta urbanização tão marcante, finalmente, em 2004, pela Lei 3.435, a Região Administrativa XXVII foi oficialmente constituída, englobando parte do então conhecido Setor Habitacional São Bartolomeu e dos chamados condomínios do Jardim Botânico.

Sua poligonal que envolve também uma parte da APA do Rio São Bartolomeu ainda está em fase de estudos e definições, mas atualmente possui quatro lados que se limitam da seguinte maneira: ao sul, com a DF-140, no trecho entre o balão de acesso a São Sebastião até o início da descida àquela cidade; a oeste com a DF-001, no trecho do balão de São Sebastião até o final da 2ª etapa do Condomínio Solar de Brasília, após balão de acesso à ponte JK; ao norte, do final da 2ª etapa do Solar de Brasília até o Condomínio Quintas do Sol; a leste, do Quintas do Sol até a descida para São Sebastião, fechando o quadrilátero.

A caracterização dos aspectos urbanísticos previstos para o Setor Habitacional Jardim Botânico segue os levantamentos obtidos no EIA/RIMA realizado pela empresa NCA engenharia, Arquitetura e Meio Ambiente Ltda para a TERRACAP, abrangendo as fases de análise de sítio e de proposição urbanística para o setor. Naquela época foram cadastrados 14 condomínios.

Hoje estão oficialmente implantados 25 condomínios, que empreenderam ações isoladas de ocupação sem critérios de planejamento bem definidos, ou seja, sem que houvesse uma configuração de um núcleo urbano. As áreas de uso comercial e de serviços ocorrem mais especificamente nos condomínios próximos à Estrada Parque Contorno – EPCT.

Além da área atualmente ocupada, foram identificadas outras 2 áreas passíveis de ocupação: a primeira contígua aos condomínios existentes, ou seja ao longo da DF-135 e a segunda situada mais ao norte, ao longo da DF-001 (Fig. 1.2). Este plano urbanístico foi formulado considerando como critérios básicos a incorporação da ocupação atual o máximo possível e a obtenção de integração dos loteamentos existentes e dos novos parcelamentos propostos.

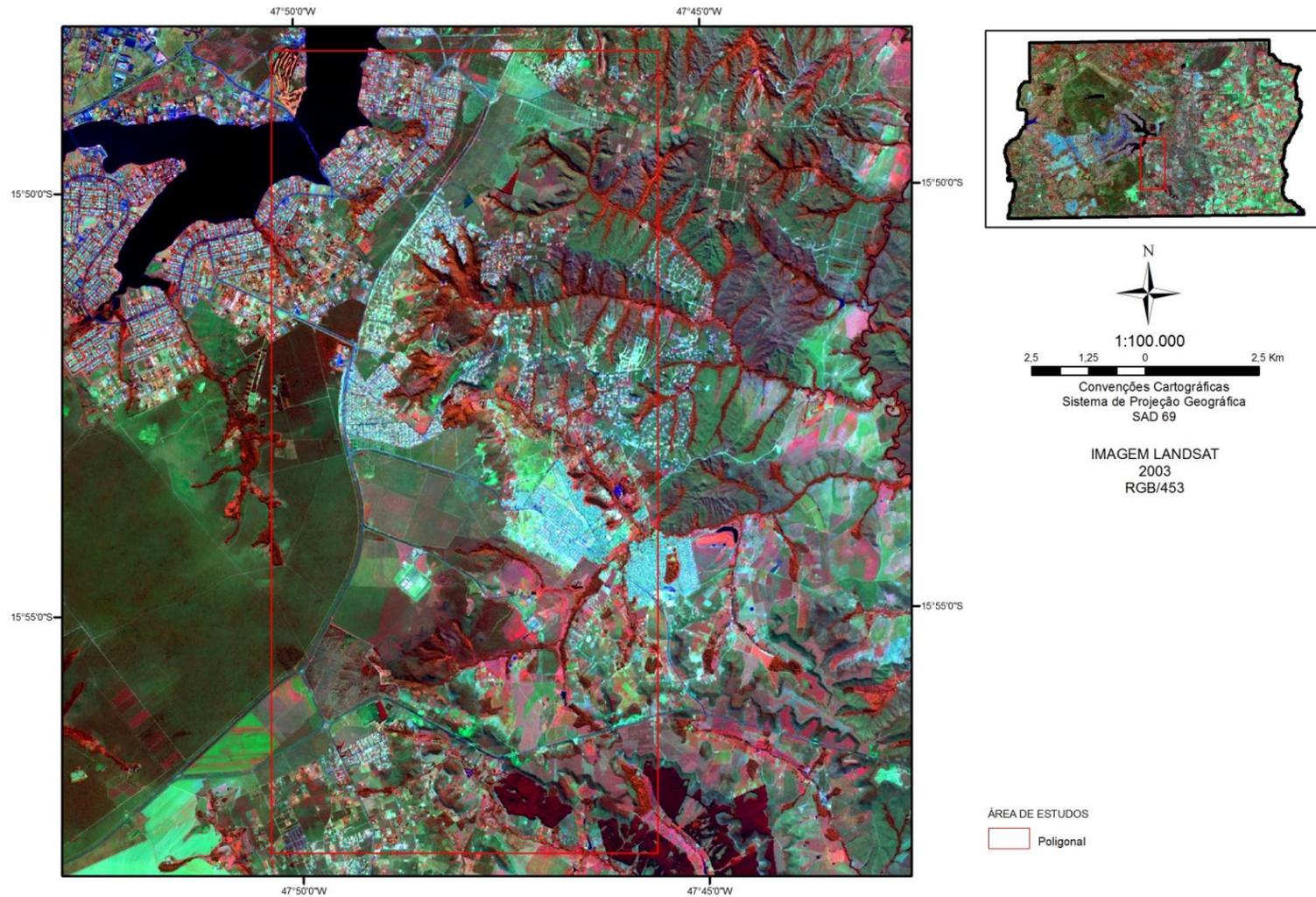


Figura 3.3: Imagem Landsat de 2003 mostrando a intensificação da urbanização da região do Jardim Botânico em relação aos anos anteriores.

Os condomínios atualmente implantados no Setor Habitacional Jardim Botânico são divididos em 2 grupos: 1. Parcelamentos do Solo no Meio Urbano: Village Alvorada I e II, Quintas Bela Vista I e II, Belvedere Green, Mansões Califórnia, Quintas Interlagos, Chácaras Itaipu, Jardim Botânico V e VI, Estância jardim Botânico, Jardins do Lago, Lago Sul, Portal do Lago Sul, Privê Mônaco, Privê Monte Palomar, Ouro Vermelho, Mirante das Palmeiras, Jardim Parque das Palmeiras, San Diego, Serrana, Quintas do Sol, Verde, Taboquinha, Village Ecológico III, Solar de Brasília, Ville de Montagne, Morada do Sul, Chapéu de Pedra, Jardim das Paineiras, Santa Mônica; 2. Parcelamentos do Solo no Meio Rural: Barreiros I e II, Itaipu, Mansões Mata da Anta, Mansões Santa Angela, Quintas Santa Bárbara, Mansões Santa Cecília, Mansões Santa Clara, Mansões Eulália, Mansões Santa Maria, Mansões Santa Thereza, Mansões Serrana, Santa Paula, Fazenda Santharen.

O número estimado de lotes existentes neste setor perfaz um total de 3.100 unidades, sendo que 40 % deste total encontram-se ocupados. O tamanho dos lotes varia de 400 a 900 m² de área, predominando lotes de 800 m².

A população estimada na época da realização do EIA/RIMA era de 5.384 habitantes (média de 4,2 pessoas por família), formada por pessoas com alto grau de escolaridade (mais que 50% da população tinha escolaridade superior ao 2º grau).

Segundo dados do mesmo estudo e relatório, no Setor Habitacional Jardim Botânico observa-se a predominância do sexo feminino (50,5 %) sobre o masculino (49,5 %), sendo que do total de habitantes 25% eram chefes de família, 19,8% eram cônjuges, 41,4% eram filhos, 8,9 % eram parentes e 4,9 % eram de empregados domésticos que residiam no local de trabalho permanentemente. A avaliação da faixa etária demonstra que a população era jovem, onde as faixas de maior representatividade eram de 8 a 14 anos (14,3%), 15 a 21 anos (12,7%), 22 a 30 anos (16,7%) e de 31 a 40 anos (17,8%). Quanto ao tempo de residência no local, 30,2 % moravam a menos de 1 ano, 42,8% moravam entre 2 e 5 anos, 26,6 % moravam entre 6 e 10 anos e 0,4 % moravam de 11 a 20 anos.

Ainda segundo o mesmo estudo e relatório, da população dos condomínios que compõe o Setor Habitacional Jardim Botânico, 47,5 % tinham trabalho remunerado, 6,2% eram aposentados e pensionistas; 46,3% eram inativos ou não pertenciam a população em idade ativa. Em ordem crescente de importância predominava a classe assalariada, e a seguir

estatutários, empresários, autônomos e profissionais liberais. Da população que exercia atividade remunerada, 32,5 % trabalhavam para Administração Pública Federal, 13,6 % para a Administração Pública do Governo do Distrito Federal, 24,1 % no comércio; 8,8 % em serviços autônomos, 3,1 % em estabelecimentos bancários, 3,5 % na rede de ensino particular e 14,4 % em outros setores da atividade. A renda média mensal familiar era de R\$ 4.350,00, o que correspondia a 29 salários mínimos vigentes.

Hoje, de maneira geral os condomínios não oferecem aos seus habitantes espaços públicos satisfatórios para o desenvolvimento da comunidade, não apresentando preocupações com áreas para lazer, praças, parques, equipamentos comunitários e mobiliários urbanos. Segundo Felizola (2009), a disponibilidade dos equipamentos públicos e comunitários não atende os parâmetros estabelecidos, tanto quantitativamente como qualitativamente à demanda atual do setor.

O entorno do Setor Habitacional Jardim Botânico é caracterizado pela presença de áreas ocupadas pela ESAF, reservatório da CAESB referente ao sistema Cabeça de Veado, Hospital Adventista e importantes unidades de conservação, dentre elas a ARIE do Cerradão, a Estação Ecológica do Jardim Botânico e a Reserva Ecológica do IBGE, sendo que estas duas últimas unidades compõem a área nuclear da Reserva da Biosfera do Cerrado. Na porção norte encontram-se condomínios em processo de regularização inseridos no Setor Habitacional São Bartolomeu e na porção sul reflorestamentos remanescentes da PROFLORA e a Cidade de São Sebastião.

O sistema viário estrutura-se por meio de importantes estradas, sendo que, apesar da malha viária ter sido configurada de forma desordenada, nota-se uma estrutura básica formatada por quatro vias principais a DF-001, a Estrada Parque Cabeça de Veado – EPCV, a DF-135 e a Estrada Parque Contorno – EPCT, facilitando a estruturação do setor em condomínios.

Em função do adensamento populacional no qual se encontram os Setores Habitacionais Jardim Botânico e São Bartolomeu já estão sendo registrados índices razoáveis de circulação de veículos, mais notadamente nos horários de pico. São registrados problemas no sistema viário relacionados à interrupção visual das vias por muros, cercas e portões. Outro aspecto é relacionado à geometria viária que dificulta a circulação de veículos pesados.

Com relação à infra-estrutura de abastecimento de água e esgotamento sanitário todos os condomínios são abastecidos por poços tubulares profundos, o esgotamento sanitário é feito por fossas individuais negras ou sépticas com drenos e sumidouros, e a drenagem pluvial apresenta soluções pontuais consistindo no simples direcionamento das águas para fora dos condomínios, geralmente descarregadas em córregos proximais.

Capítulo IV

Águas Subterrâneas

4.1 - Um Panorama do Uso das Águas Subterrâneas no Distrito Federal, no Brasil e no Mundo

Mais de 97% da água doce disponível na Terra encontra-se no subsolo e, portanto menos de 3% da água potável disponível no planeta provém das águas de superfície.

Segundo estimativas da UNESCO (1992), no período de 1970 a 1975 foram perfurados no **mundo** cerca de 300 milhões de poços, os quais fornecem água subterrânea suficiente para o abastecimento de mais de 50% da população do planeta e para a irrigação de aproximadamente 100 milhões de hectares.

Os Estados Unidos perfuram em média 400.000 poços por ano, com os quais garantem a irrigação de cerca de 15 milhões de hectares e o suprimento hídrico de 40% da população urbana e de 75% da população rural. A exploração de água subterrânea naquele país em 1990 foi de 300 milhões de metros cúbicos (Solley *et al.*, 1993).

Na cidade do México, a população de 18 milhões de habitantes tem suas necessidades hídricas atendidas por poços, com descarga total estimada em 50 metros cúbicos por segundo ou 1,5 bilhão de metros cúbicos por ano (Garduño e Arreguin-Cortes, 2000).

Na União Européia, 75% dos sistemas públicos de abastecimento de água utilizam água subterrânea, sendo que em alguns países como Dinamarca, Suécia, Bélgica e Alemanha, esse percentual supera 90% (OECD, 1989).

Na Austrália, estimativas de Habermehl (1985) indicavam a existência de 400.000 poços produzindo 3 bilhões de metros cúbicos por ano de água subterrânea para abastecimento público e irrigação.

No **Brasil**, estima-se que existam pelo menos 450.000 poços (Zoby e Matos, 2002). Embora os aproveitamentos de água subterrânea em grande escala sejam relativamente recentes e não possuam uma estrutura legal e institucional completamente satisfatória (SODF, 2007), a água subterrânea é intensamente explorada. A água de poços e fontes vem sendo utilizada para diversos fins, tais como abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer. 15,6% dos domicílios utilizam exclusivamente água subterrânea, dentre os quais 43% através de poços tubulares, 12% por fontes ou nascentes e 6% por poços escavados; 77,8% usam rede de abastecimento de água e 6,6% usam outras formas de abastecimento (IBGE, 2002). É importante destacar que, entre os domicílios que possuem rede de abastecimento de água, uma parte significativa usa água subterrânea (ANA, 2005).

No Estado de São Paulo, dos 645 municípios, 462 (71,6%) são abastecidos total ou parcialmente com águas subterrâneas, sendo que 308 municípios (47,7%) são totalmente abastecidos por este recurso hídrico (Silva *et al.*, 1998). 90% das cidades do Paraná e Rio Grande do Sul são abastecidos por água subterrânea; no Maranhão, mais de 70 % das cidades usam água de poços, e no Estado do Piauí este percentual supera 80% (Rebouças, 1996).

A água subterrânea é ainda responsável pelo turismo através das águas termais, em cidades como Caldas Nova em Goiás, Araxá, São Lourenço e Poços de Caldas, em Minas Gerais (ANA, 2005), sendo que em Caldas Novas, estão atualmente suspensos todos os alvarás de pesquisa para exploração do manancial subterrâneo devido à sobreexploração do recurso (DNPM).

Para o **Distrito Federal**, a estimativa da SEMARH em 2000 era de que existiam pelo menos 5000 poços profundos ou artesianos na região, dentro os quais somente 800 eram autorizados e cerca de 80% em áreas de condomínios. Os poços têm em média de 150 a 200 metros de profundidade e, em 90% dos casos, foram perfurados sem os cuidados técnicos exigidos pela lei para evitar danos à natureza, como a contaminação do próprio reservatório hidrogeológico. Destes 5000 poços, somente 198 estão cadastrados nos arquivos do SIAGAS da CPRM.

De acordo com o 6º Distrito do DNPM, em meados de 2010 existiam 33 títulos minerários para exploração de água mineral ou potável de mesa na capital, dentre as quais 17 estavam na fase de concessão de lavra. A água mineral tem sido cada vez mais usada pelas populações dos centros urbanos pela sua imagem de garantia de qualidade (ANA, 2005).

Dentro da área de estudos, a concessionária Calevi Mineradora e Comércio Ltda explora água potável de mesa da Fonte Jardim Botânico I e comercializa em garrafas e galões através do nome *Hydrate* (Anexo G). Com valores de 6,30 mg/L de nitrato e 4,07 mg/L de sódio – muito acima do esperado para águas subterrâneas não impactadas do Distrito Federal (Boaventura e Freitas, 2006) - , esta marca é amplamente comercializada e distribuída no Distrito Federal e Entorno, sendo até mesmo a ganhadora de licitações para o fornecimento de água para a UnB, incluindo aí o Instituto de Geociências.

São mais de 30 anos de exploração clandestina e a perfuração desordenada de poços ameaça o abastecimento por água subterrânea dos brasilienses num futuro próximo. Os condomínios do Distrito Federal retiram hoje do subsolo pelo menos 2 bilhões de litros de água por mês para abastecer 400 mil moradores, quantidade equivalente a 14% do volume que a CAESB usa para abastecer 1,9 milhão de habitantes do Distrito Federal (SODF, 2007).

4.2 - A Dinâmica das Águas Subterrâneas

Para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos e principalmente para a utilização de água subterrânea, deve-se considerar os aquíferos como um sistema dinâmico constituído por zonas de recarga, zonas de descarga e sistemas de fluxos subterrâneos.

Observações empíricas realizadas durante a construção de poços tubulares e a exploração dos aquíferos situados no Distrito Federal e Entorno serviram de base para que Campos e Freitas-Silva (1998) propusessem 4 modelos conceituais para a região, os quais mais tarde também foram abordados nos trabalhos de Campos e Tröger (2000), Souza e Campos (2001) e Cadamuro *et al.* (2002).

Dos modelos propostos, 2 se enquadram na área de estudos: o modelo de duas superfícies potenciométricas, que ocorre exclusivamente no interior das chapadas elevadas, onde os solos bem desenvolvidos e os regolitos espessos sobrepõem as rochas intensamente fraturadas com elevado grau de interconexão entre as fraturas e, o modelo de única superfície potenciométrica sem confinamento, que é observado em áreas de relevo suave ondulado com cotas intermediárias e em regiões próximas a quebras de relevo, onde o aquífero de natureza fissural é coberto por solos menos espessos.

O modelo que sugere a presença da **segunda superfície potenciométrica**, relacionada ao domínio fissural, em média a 50 metros de profundidade, a partir da qual as fraturas passam a transmitir significativos volumes d'água em poços tubulares profundos (Fig. 4.1), indica uma maior complexidade no processo de recarga nessa região (Souza e Campos, 2001).

A análise desse modelo sugere que a recarga dos aquíferos ocorre em duas etapas consecutivas: 1. Infiltração de parte da água de precipitação através do solo até alcançar a zona saturada do domínio poroso (recarga do domínio poroso); 2. Infiltração da água de base da zona saturada do domínio poroso até a superfície potenciométrica do domínio fissural (recarga do domínio fissural).

A estocagem ocorre principalmente por meio da recarga das chuvas, e as águas uma vez armazenadas no domínio fraturado, tornam-se menos vulneráveis às flutuações climáticas do que as águas sub-superficiais. O estoque de água na zona saturada do domínio poroso é redistribuído com o tempo, mediante processos de evapotranspiração, alimentação dos cursos d'água por fluxo de base e infiltração pelas fissuras até a superfície potenciométrica do domínio fissural, de onde a maior parte desse volume seguirá por fluxo subterrâneo regional (Souza e Campos, 2001).

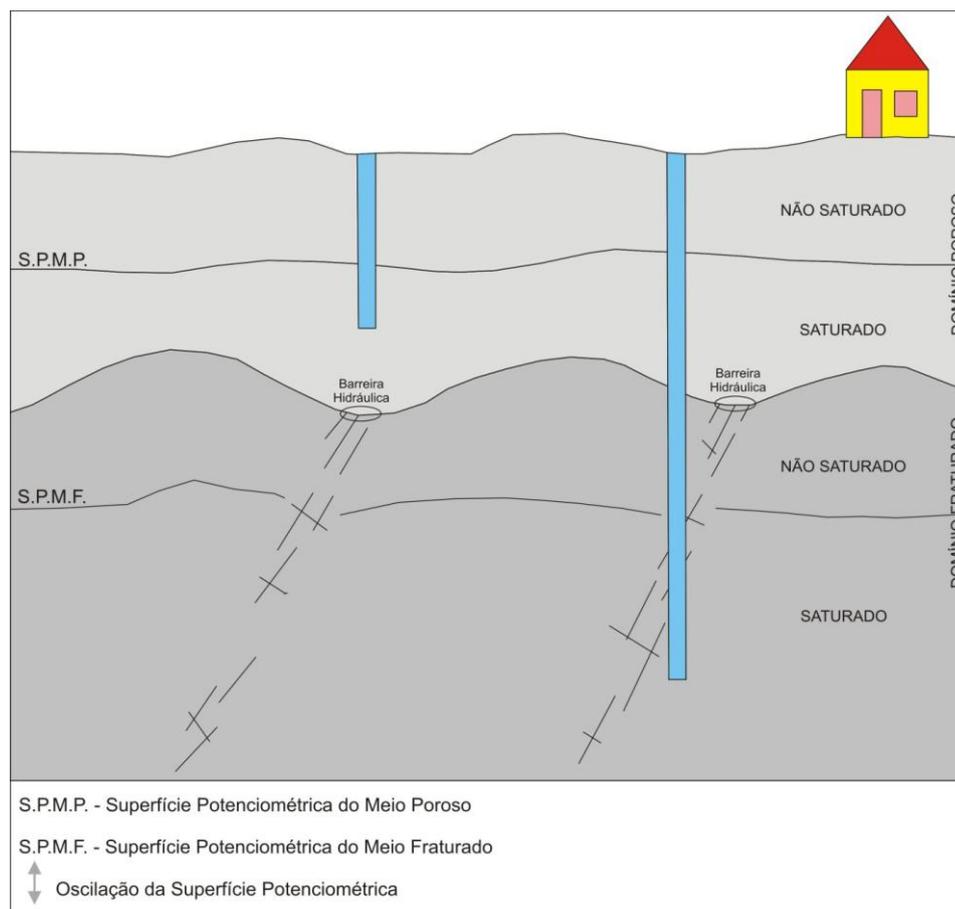


Figura 4.1: Modelo das duas superfícies potenciométricas. SPMP – superfície potenciométrica do meio poroso; SPMF - superfície potenciométrica do meio fraturado. Espessura média do regolito – 40 metros; profundidade média da SPMF – 70 metros; poço tubular com profundidade de 150 metros e poço escavado com profundidade de 20 metros. Modificado de Lousada e Campos, 2005.

Divergindo da abordagem de Campos e Freitas-Silva (1998), que caracterizaram os aquíferos intergranulares do Distrito Federal como homogêneos e isotrópicos, os estudos de Lousada (2005) mostraram que os mesmos são heterogêneos e em parte anisotrópicos. A anisotropia é vinculada ao controle de zonas de falhas e fraturas em profundidade, causando variação dos parâmetros dimensionais como condutividade hidráulica e transmissividade quando avaliados tridimensionalmente e a heterogeneidade é devida à estratificação dos solos em horizontes.

A recarga do meio fraturado se dá após uma elevação da carga hidráulica a qual condiciona a passagem da água do meio superior para as fraturas na rocha fresca. Nos meios mais chuvosos do ano, quando o nível freático alcança a máxima elevação, pode haver a junção das zonas saturadas dos domínios poroso e fraturado, entretanto, na maior parte do ano, há a separação (Lousada e Campos, 2005).

E em relação às descargas naturais por nascentes, Cadamuro *et al.* (2002), mostrou que as nascentes de contato no meio poroso apresentam aumento de vazão um mês após o início do período chuvoso, enquanto que as nascentes de fratura, resultantes do fluxo ascendente no período de superávit hídrico (Lousada, 2005), registram esse aumento de 45 dias a 2 meses após o início das chuvas. Esse comportamento sugere que a recarga do meio fraturado sofre um retardo em função da necessidade do aumento da carga hidráulica do meio poroso, para iniciar a transmissão de água.

Com a exploração de água, cada poço produz um cone de rebaixamento de nível freático em suas vizinhanças, podendo afetar a produção de água de outros poços, mas segundo Lousada e Campos (2005), no modelo de duas superfícies potenciométricas, o bombeamento de água no domínio poroso não sofre interferência de rebaixamento do nível freático do domínio fraturado, devido à falta de conexão hidráulica entre os dois.

No domínio fraturado, o cone de rebaixamento é completamente irregular e de difícil modelagem matemática. Estudos preliminares mostram que há poços a grandes distâncias (300 a 500 metros) que apresentam interferência de cone de depressão e há poços relativamente próximos (50 metros) que não têm interferência entre si (SODF, 2007).

No caso do modelo de **superfície potenciométrica única** sem confinamento a forma de circulação da água é mais simples, uma vez que todo o conjunto de porosidade intergranular e fissural permanece saturado de água desde a base do sistema aquífero até o nível freático (Lousada e Campos, 2005).

A única superfície potenciométrica deste modelo pode ocorrer permanentemente no domínio poroso (Fig. 4.2) ou migrar para o domínio fraturado no período da seca (Fig. 4.3).

A recarga se dá principalmente por fluxo vertical e lateral das águas de precipitação e a descarga ocorre em nascentes de contato e depressões difusas que alimentam diretamente a drenagem superficial, em áreas que geralmente estão associadas a gleissolos e outros solos hidromórficos, encontrados principalmente nas cabeceiras dos córregos (Lousada e Campos, 2005).

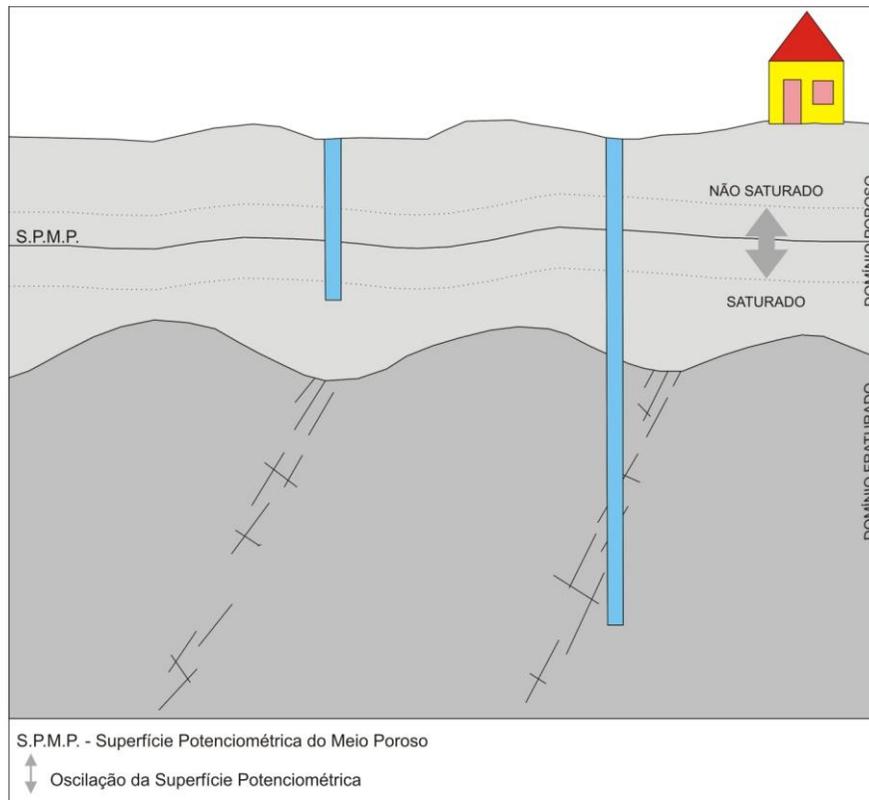


Figura 4.2: Modelo de única superfície potenciométrica sem confinamento, onde a superfície de saturação permanece no meio aquífero intergranular superior. SPMP – superfície potenciométrica do meio poroso. Modificado de Lousada e Campos, 2005.

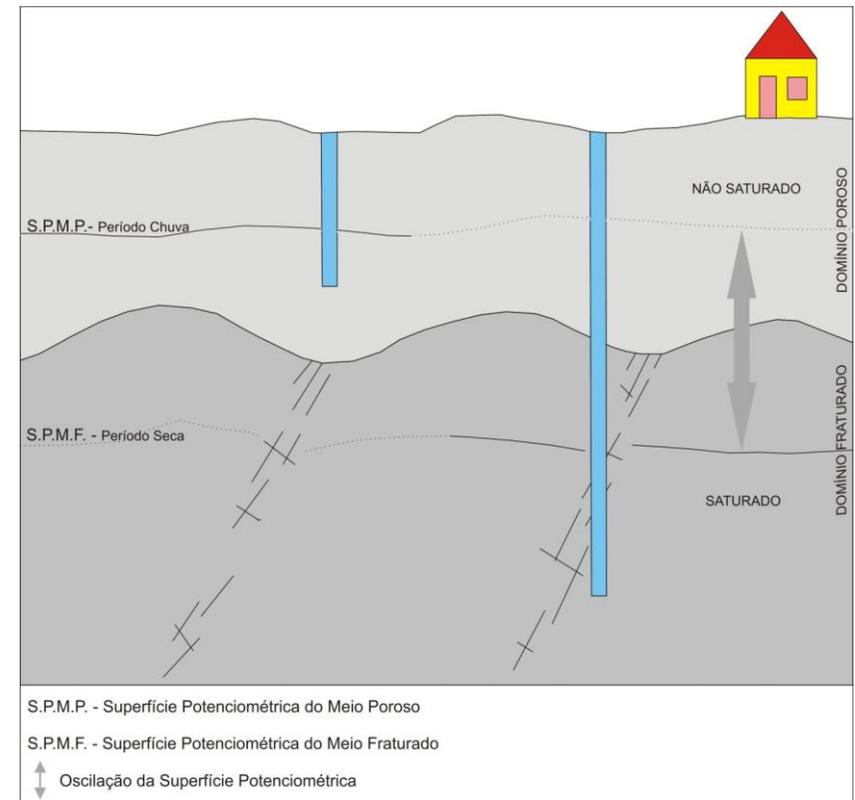


Figura 4.3: Modelo de única superfície potenciométrica sem confinamento. Nesse caso, o nível freático apresenta ampla oscilação anual e pode ser observado em solo ou rocha fresca. Condição comum quando ocorrem quartzitos em bordas de chapadas. Modificado de Lousada e Campos, 2005.

A eficiência do **fluxo** (Fig. 4.4) está relacionada às eficiências das condutividades hidráulicas dos sistemas. O fluxo vertical em zona não saturada é relativamente rápido, corroborado pelas variações dos níveis freáticos. Em meio poroso saturado o fluxo é mais lento associado ao gradiente hidráulico restrito. Nas zonas saturadas em regiões de relevo suave ondulado, a velocidade do fluxo é ainda menor, no entanto, nas áreas mais próximas às quebras de relevo, a eficiência do fluxo aumenta de forma diretamente proporcional ao gradiente hidráulico.

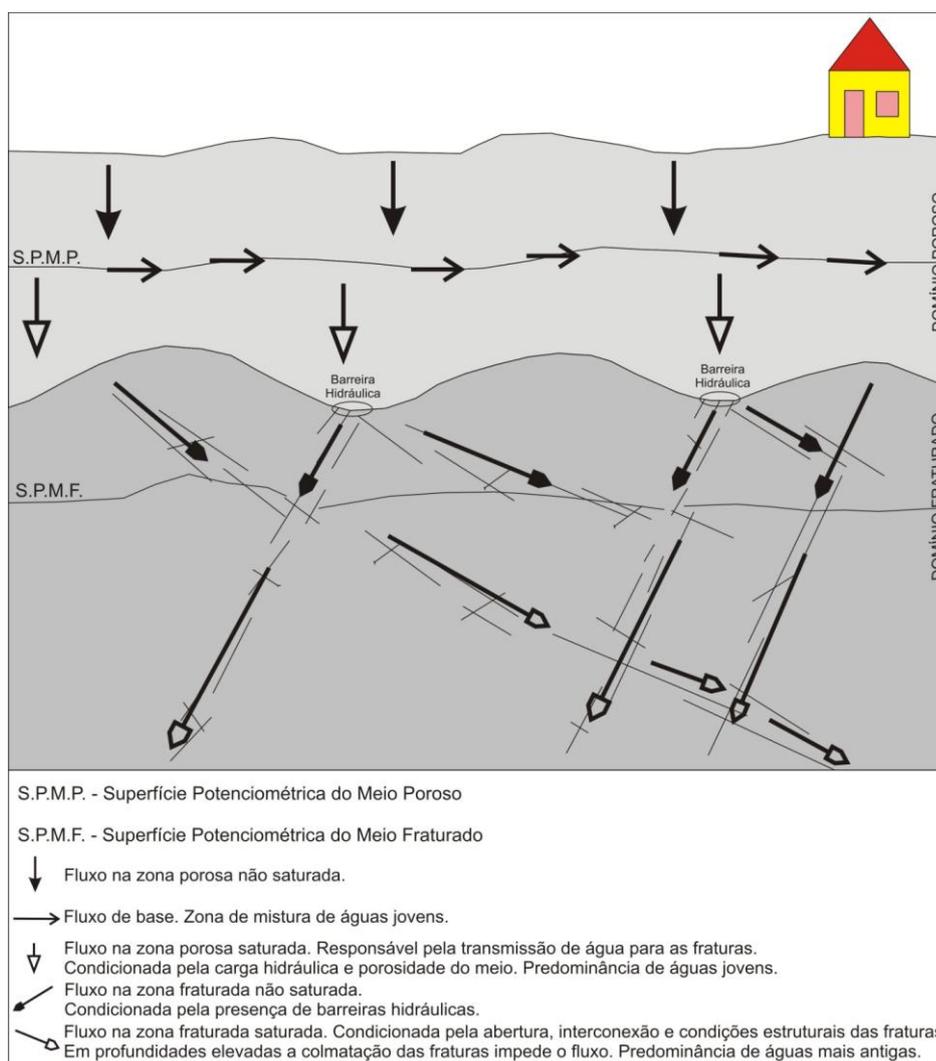


Figura 4.4: Modelo de condições de fluxo subterrâneo e transmissão de água entre os meios aquíferos dos domínios poroso e fraturado. Modificado de Lousada, 2005.

Desta forma, a porção das águas infiltradas para o meio poroso assume deslocamentos verticais para compor o fluxo de base, e sub-horizontais, compondo o fluxo interno, ambos com diferentes condutividades hidráulicas em decorrência das heterogeneidades do meio. A transmissão de água do domínio poroso para o domínio fraturado é lenta e condicionada pela

abertura e interconectividade das fraturas. Em meio fraturado não saturado o fluxo é mais eficiente, tornando-se mais lento próximo às fraturas saturadas. Nessas condições a condutividade hidráulica do meio é bastante restrita e condicionada pelas características hidrogeológicas e estruturais. O potencial do aquífero do meio fraturado está relacionado às condições de abertura e interconexão das fraturas, que assumem direções aproximadamente verticais e horizontais. Em ambas as situações o fluxo é lento, principalmente em fraturas sub-horizontais, onde é condicionado pelo gradiente hidráulico gerado pelo mergulho das estruturas (Lousada, 2005).

Os modelos propostos por Campos e Freitas-Silva (1998) são aplicados em diferentes áreas do Distrito Federal, associados principalmente aos solos, tipos de rocha e geomorfologia, entretanto, mesmo em locais com características semelhantes pode-se verificar divergências em consequência da anisotropia do meio (Lousada e Campos, 2005).

Estudos em escala de detalhe elaborados por Felizola (2009) na área de estudos mostram que a espessura da zona vadosa no período de chuvas é menor que 7 metros e que os solos da região apresentam condutividades hidráulicas elevadas a muito elevadas. Na superfície os latossolos apresentaram valores da ordem de 10^{-5} m/s a 10^{-4} m/s, o que é considerado um valor muito alto para solos do cerrado. Em sub-superfície os valores são mantidos em patamares considerados moderados de ordem de grandeza de 10^{-5} a 10^{-6} m/s com uma leve tendência de fraca diminuição em profundidade. Felizola (2009) considera ainda que o valor comum nos latossolos do Distrito Federal é da ordem de 10^{-7} m/s e interpreta os elevados valores médios de condutividade hidráulica da região como função da contribuição do material de intemperismo dos quartzitos da Unidade Q₃. Como esta unidade e seus solos derivados são arenosos a condutividade hidráulica de suas coberturas é elevada.

4.3 - Os Processos de Contaminação das Águas Subterrâneas

O Brasil ainda apresenta uma deficiência séria no conhecimento do potencial hídrico de seus aquíferos, de seus estágios de exploração e das qualidades e vulnerabilidade das suas águas. Os estudos regionais são poucos e encontram-se defasados. A maior parte dos estudos de qualidade das águas subterrâneas publicados recentemente têm caráter mais localizado. A questão da vulnerabilidade e da proteção dos aquíferos é ainda um tema pouco explorado e

necessita ser incorporado à gestão das águas subterrâneas e ao planejamento do uso e ocupação territoriais (ANA, 2005).

Genericamente, a **água contaminada** é aquela que possui organismos patogênicos e substâncias diversas em teores prejudiciais à saúde do homem.

Quanto à distribuição espacial, a contaminação pode ser **pontual**, quando a fonte está concentrada numa pequena superfície, como, por exemplo, um poço; **difusa**, quando a fonte de contaminação se estende, mesmo com baixa concentração, sobre uma grande superfície, como é o caso de áreas de agricultura ou áreas urbanas e; **linear**, quando a fonte de contaminação é um canal ou um rio (Filho, 2000, entre outros).

Em geral, as contaminações pontuais dão origem a concentrações elevadas, localizadas em plumas que podem permanecer estratificadas em aquíferos. As contaminações difusas tendem a criar uma estratificação regionalizada e desta forma os mananciais de superfície e poços produzem uma mistura contaminada e não contaminada, em proporções crescentes com o tempo (Filho, 2000, entre outros).

Devido às características intrínsecas de cada sistema aquífero, uma contaminação pode levar muito tempo até manifestar-se claramente. O grande poder de depuração dos aquíferos em relação a muitos contaminantes, e o grande volume de água armazenado, fazem com que as contaminações extensas se manifestem lentamente. Mas quando manifestada, a recuperação, a depender do tipo de contaminante, pode levar muitos anos (Filho, 2000, entre outros).

De um modo geral, as águas subterrâneas podem sofrer contaminação **direta**, sem diluição, quando o poluente atinge diretamente o aquífero, através de fossas, poços abandonados ou poços mal construídos, e contaminação **indireta**, quando o contaminante atinge o aquífero depois de passar por alterações a partir do ponto de origem (Filho, 2000, entre outros).

Através de um **poço mal construído**, os contaminantes podem ser injetados no aquífero e transportados de acordo com o padrão de fluxo local e/ou regional, podendo atingir áreas situadas a longas distâncias dos pontos de origem. Campos (2004) enumera diversas práticas que devem ser rigorosamente observadas na construção de um poço, como a

instalação do perímetro de proteção sanitária, o isolamento da zona vadosa e o controle da qualidade técnica das empresas construtoras e sugere o uso da recarga artificial dos aquíferos, que além de manter a recarga de água de boa qualidade para o aquífero, dilui os contaminantes que já façam parte do sistema.

A **deposição de resíduos sólidos** na superfície do solo é outro grande problema. Robertson *et al.* (1974) apud Feitosa e Filho (1997) identificaram mais de 40 compostos orgânicos em águas subterrâneas contaminadas por chorumes oriundos de plásticos e outros materiais sólidos.

Outra forma usual de contaminação do sistema aquífero é o **lançamento de esgotos**. Os esgotos podem ser lançados sobre ou abaixo da superfície do solo de várias maneiras. O uso generalizado de fossas sépticas ou negras (Fig. 4.5) é uma das principais causas de contaminação da água subterrânea no mundo (Filho, 2000, entre outros).

O uso de **fertilizantes e pesticidas** nas atividades agrícolas (Fig. 4.5) também é um grande responsável pela degradação da qualidade da água subterrânea. Nos países industrializados é mais frequente o uso de fertilizantes inorgânicos, quimicamente manufaturados, enquanto que nos países em desenvolvimento geralmente empregam-se dejetos humanos ou de animais como fertilizantes orgânicos (Filho, 2000, entre outros).

Lousada (2005) através de ensaios de traçadores no Distrito Federal verificou que as **plumas de contaminação** nem sempre seguem as orientações topográficas e seus declives e que os modelos matemáticos calculados a partir dos valores de condutividade hidráulica, gradiente hidráulico e porosidade efetiva nem sempre são satisfatórios.

Segundo o mesmo autor, a precipitação pluviométrica e a baixa concentração dos contaminantes facilitam o fluxo, uma vez que a solução com menor densidade sofre menor retardo e se desloca mais rapidamente seguindo o fluxo subterrâneo natural.

Nos meios fraturados, as distancias alcançadas pelas plumas de contaminação podem ser ainda maiores que nos meios intergranulares. Como nas fraturas a velocidade da água subterrânea pode ser bem elevada, o tempo é suficiente para produzir distancias de transporte

de vários quilômetros e, além disso, através dos componentes verticais de fluxo, os contaminantes podem atingir grandes profundidades.

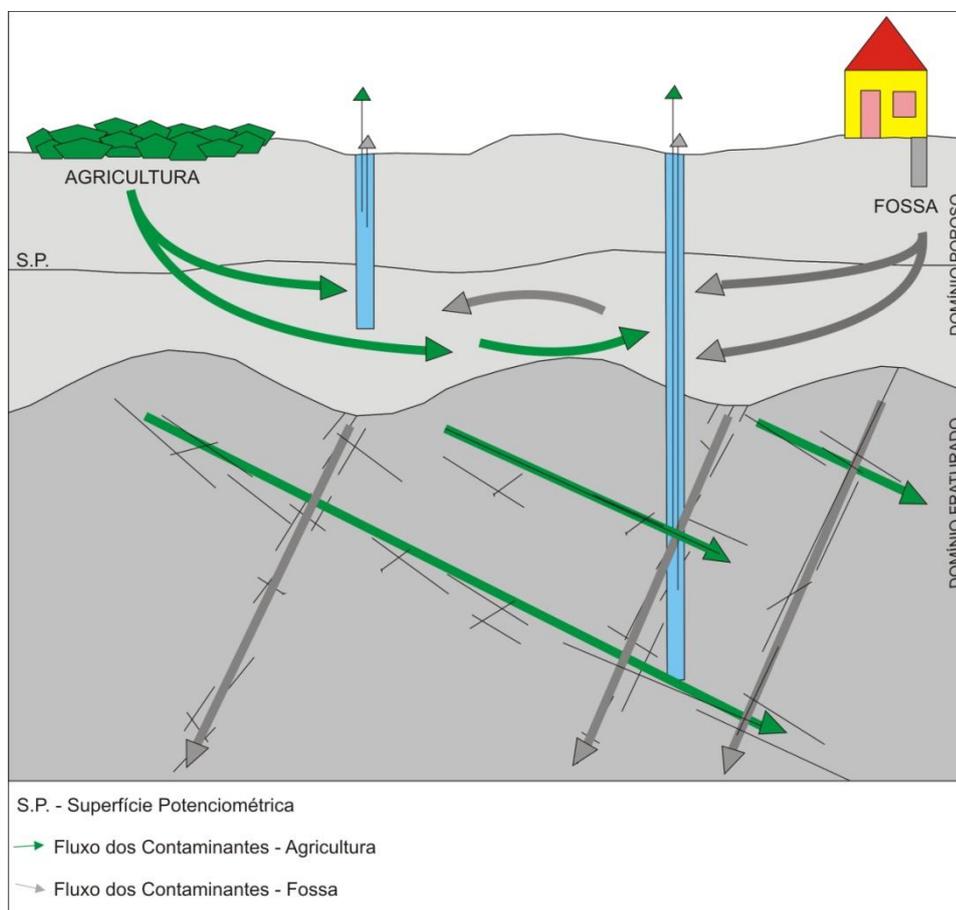


Figura 4.5: Contaminação do sistema aquífero por atividade agrícola e uso de fossa.

4.4 – Legislação Brasileira acerca da Qualidade da Água Subterrânea para Consumo Humano

A principal referência legal sobre a qualidade da água superficial e subterrânea para consumo humano no Brasil é a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

No sentido de preencher lacunas de responsabilidades perante a legislação, esta portaria introduziu uma melhor delimitação para as formas de abastecimento, fornecimento e consumo de água que deveriam estar sujeitas às ações de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. Procurou-se ainda fazer cumprir os princípios da universalidade de aplicação e da equidade, eliminando isenções por omissão. A regra geral é que toda água

destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade da água para consumo humano. Ou seja, sob a ótica da avaliação de riscos à saúde, mesmo as fontes individuais de abastecimento devem receber atenção das autoridades de saúde pública, sendo que somente sobre as formas coletivas de abastecimento incidem as diversas exigências de controle da qualidade da água para consumo humano. Dentre estas, cabe aos respectivos responsáveis manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, observar o preceito da promoção de boas práticas em todo o sistema de produção e abastecimento de água e prestar contas ao setor Saúde e ao público consumidor.

É importante destacar que a portaria avança no conceito de água potável para além do atendimento ao padrão de potabilidade. Ou seja, a fim de que uma determinada água para consumo humano seja considerada potável, é necessário que, além de respeitar o padrão de potabilidade, seja produzida e distribuída de forma que não implique em risco à saúde humana.

Esta portaria define ainda a diferença entre sistema de abastecimento de água e solução alternativa de abastecimento de água com a finalidade de diferenciar as exigências de controle da qualidade da água. Por sistema de abastecimento de água entendem-se as soluções clássicas, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão; e, por solução alternativa de abastecimento de água, toda modalidade de abastecimento coletivo, distinta dos sistemas, sendo que os respectivos responsáveis, sem exceção, deverão, obrigatória e sistematicamente, exercer o controle da qualidade da água para consumo humano. A diferença principal reside no fato de que, em todo sistema de abastecimento de água, o responsável pela prestação do serviço é o município, mesmo que a prestação dos serviços seja concedida a um ente público vinculado a outra esfera administrativa, como é o caso dos serviços prestados pelas companhias estaduais ou distrital, ou a um ente privado. Como solução alternativa individual, entende-se toda e qualquer solução alternativa de abastecimento de água que atenda a um único domicílio. Como essa diferenciação clara não existia na legislação anterior, as soluções alternativas não se viam obrigadas a exercer o controle da qualidade da água, e nem as autoridades sanitárias executavam a sua vigilância.

De acordo com o Artigo 14 desta portaria, a água potável deve estar em conformidade com o padrão de substâncias químicas que representam risco para a saúde, o qual está expresso na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde		
Parâmetro	Unidade	VMP₍₁₎
Inorgânicas		
Antimônio	mg/L	0,005
Arsênio	mg/L	0,01
Bário	mg/L	0,7
Cádmio	mg/L	0,005
Cianeto	mg/L	0,07
Chumbo	mg/L	0,01
Cobre	mg/L	2
Cromo	mg/L	0,05
Fluoreto ₍₂₎	mg/L	1,5
Mercurio	mg/L	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	10
Nitrito (como N)	mg/L	1
Selênio	mg/L	0,01
Orgânicas		
Acrilamida	µg/L	0,5
Benzeno	µg/L	5
Benzo[a]pireno	µg/L	0,7
Cloreto de Vinila	µg/L	5
1,2 Dicloroetano	µg/L	10
1,1 Dicloroetano	µg/L	30
Diclorometano	µg/L	20
Estireno	µg/L	20
Tetracloroeto de Carbono	µg/L	2
Tetracloroetano	µg/L	40
Triclorobenzenos	µg/L	20
Tricloroetano	µg/L	70
Agrotóxicos		
Alaclor	µg/L	20,0
Aldrin e Dieldrin	µg/L	0,03
Atrazina	µg/L	2
Bentazona	µg/L	300
Clordano (isômeros)	µg/L	0,2
2,4 D	µg/L	30
DDT (isômeros)	µg/L	2
Endossulfan	µg/L	20
Endrin	µg/L	0,6
Glifosato	µg/L	500
Heptacloro e Heptacloro epóxido	µg/L	0,03
Hexaclorobenzeno	µg/L	1
Lindano (γ-BHC)	µg/L	2
Metolacloro	µg/L	10
Metoxicloro	µg/L	20
Molinato	µg/L	6
Pendimetalina	µg/L	20
Pentaclorofenol	µg/L	9
Permetrina	µg/L	20
Propanil	µg/L	20

Simazina	µg/L	2
Trifluralina	µg/L	20
Cianotoxinas		
Microcistinas ₍₃₎	µg/L	1,0
Desinfetantes e produtos secundários da desinfecção		
Bromato	mg/L	0,025
Clorito	mg/L	0,2
Cloro livre	mg/L	5
Monocloramina	mg/L	3
2,4,6 Triclorofenol	mg/L	0,2
Trihalometanos Total	mg/L	0,1

Notas:

(1) Valor máximo permitido.

(2) Os valores recomendados para a concentração de íon fluoreto devem observar a legislação específica vigente relativa à fluoretação da água, em qualquer caso devendo ser respeitado o VMP desta tabela.

(3) É aceitável a concentração de até 10 µg/L de microcistinas em até 3 (três) amostras, consecutivas ou não, nas análises realizadas nos últimos 12 (doze) meses.

No estabelecimento do padrão de potabilidade para substâncias químicas, orgânicas e inorgânicas, que representam risco à saúde, são levados em consideração os efeitos crônicos resultantes de exposição prolongada, ou seja, da ingestão contínua de água com uma dada concentração de uma substância. O padrão para cada substância (VMP) é usualmente estabelecido a partir da aceitação de um nível de risco.

Na definição dos parâmetros a compor o padrão de potabilidade da água e de seus respectivos VMP, foram considerados os seguintes aspectos: potencial tóxico das substâncias químicas que podem estar presentes na água, naturalmente ou por contaminação; análise das evidências epidemiológicas e toxicológicas dos riscos de saúde associados às diversas substâncias; possibilidades analíticas de determinação das substâncias em amostras de água; intensidade de uso das substâncias químicas no País – uso industrial, agrícola e no tratamento da água. Salvo raras exceções, os VMP adotados são os sugeridos pela Organização Mundial da Saúde.

De acordo com o Artigo 16 desta norma, a água potável deve estar em conformidade com o padrão de aceitação de consumo expresso na Tabela 4.2

Tabela 4.2: Padrão de aceitação para consumo humano		
Parâmetro	Unidade	VMP₍₁₎
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como NH ₃)	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente	uH ₍₂₎	15
Dureza	mg/L	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2

Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Odor - Não objetável ⁽³⁾		
Gosto - Não objetável ⁽³⁾		
Sódio	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1.000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05
Surfactantes	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	UT ⁽⁴⁾	5
Zinco	mg/L	5
Xileno	mg/L	0,3

Notas:

- (1) Valor máximo permitido.
- (2) Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).
- (3) Critério de referência.
- (4) Unidade de turbidez.

O padrão de aceitação para consumo humano é estabelecido com base em critérios estéticos e organolépticos. Algumas das substâncias listadas na Tabela 4.2 também representam risco à saúde, porém, em concentrações acima daquelas suficientes para provocar rejeição ao consumo. Por exemplo, xileno seria considerado tóxico em concentrações superiores a 0,5 mg/L, porém, em 0,3 mg/L já confere odor à água o suficiente para a restrição ou rejeição de consumo. Nestes casos, uma determinada substância consta na Tabela 4.1 ou na Tabela 4.2, de acordo com o menor valor dentre as concentrações relacionadas a riscos à saúde e rejeição de consumo.

E, de acordo com o Artigo 29 desta portaria, sempre que forem identificadas situações de risco à saúde, o responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água e as autoridades de saúde pública devem estabelecer entendimentos para a elaboração de um plano de ação e tomada das medidas cabíveis, incluindo a eficaz comunicação à população, sem prejuízo das providências imediatas para a correção da anormalidade.

Sabe-se, entretanto, que esta é uma portaria do Ministério da Saúde de ordem geral para todo o Brasil. Desta forma, para uma avaliação mais eficaz da qualidade da água a ser consumida por uma determinada população, é necessário, além do conhecimento legal do padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam riscos à saúde humana e do padrão de aceitação para o consumo humano, o conhecimento das características hidroquímicas de cada subsistema aquífero, condicionadas pela disponibilidade de íons para a

solução aquosa, a qual está diretamente relacionada à pedologia e geologia local e ao padrão de fluxo das águas profundas e sub-superficiais.

4.5 – Caracterização Hidroquímica das Águas Subterrâneas do Distrito Federal

Em função das diferenças entre os meios armazenadores, no Distrito Federal, a composição química das águas dos domínios poroso e fissural é diferente. As águas do domínio intergranular são mais ácidas, com menor concentração de total de sólidos dissolvidos, menor condutividade elétrica e possivelmente mais jovens que as águas do domínio fraturado (Lousada e Campos, 2005).

Segundo Arraes *et al.* (2006) a análise hidroquímica geral do Distrito Federal a partir do Diagrama de Piper apresenta distribuição difusa em função da diversidade geológica presente na região, o que dificulta o agrupamento de todo o conjunto num único tipo químico. Entretanto, de maneira geral, no domínio fraturado, o cátion predominante é o cálcio, seguido do magnésio. Quanto aos ânions, predomina o bicarbonato, com concentrações maiores que a do cloro. Assim, as águas subterrâneas profundas do Distrito Federal podem ser classificadas principalmente como bicarbonatadas, sulfatadas ou cloretadas cálcicas e/ou magnesianas e, subordinadamente, como cloretadas, sulfatadas ou sódicas e bicarbonatadas sódicas.

O Subsistema **R₃/Q₃** é representado por águas cloretadas magnesianas com potencial hidrogeniônico inferior a 5,0. Geologicamente, as rochas deste subsistema são inertes ou pouco reativas e, portanto, a composição das águas subterrâneas pode indicar a composição original das águas de infiltração, comumente enriquecidas em cloreto (Arraes *et al.*, 2006).

Já o subsistema **R₄**, possui águas cloretadas cálcico-magnesianas, cloretadas cálcicas e bicarbonatadas cálcicas com potencial hidrogeniônico médio de 5,5. A presença dos cátions cálcio e magnésio e do ânion bicarbonato se devem à participação de carbonato nos pelitos desse subsistema. Já a presença do cloreto pode ter origem nas águas de infiltração (Arraes *et al.*, 2006).

O Subsistema **F** é representado por águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas com valores de potencial hidrogeniônico médio de 6,5. A alta concentração de magnésio

carbonatos e bicarbonatos é coerente com a natureza geológica do subsistema, que apresenta clorita filito a clorita carbonato filito como principais constituintes (Arraes *et al.*, 2006).

Com relação aos demais elementos os mesmos autores afirmam que as águas apresentam baixo conteúdo de metais pesados, sendo que o cobre ocorre com valores menores que 0,02 mg/L em toda a população de amostras estudada por eles e o cromo com valores menores que 0,05 mg/L. Titânio e zircônio são pouco representativos, o cádmio ocorre com valores inferiores a 0,03 mg/L e o níquel alcança 0,1 mg/L. Dos metais de transição apenas o chumbo ocorre com valores significativos, maiores que 0,4 mg/L e alcançando 0,94 em uma amostra do subsistema R₄. O silício ocorre em concentrações importantes, sendo o maior valor de 24,5 mg/L e a média de 9 mg/L. Esses valores são compatíveis com a natureza da mineralogia observadas nas rochas reservatórios essencialmente composta por silicatos.

Nos trabalhos de Arraes *et al.* (2006) o alumínio apresentou valor significativo apenas em uma amostra do subsistema F o que também representa a natureza da rocha rica em ilita. O ferro e o manganês ocorrem em baixas concentrações o que é coerente com os valores de potencial hidrogeniônico e com as condições oxidantes observadas nos meios fraturados, nas quais esses metais apresentam baixa solubilidade. Bário e estrôncio apresentam forte correlação com cálcio e magnésio, mas ocorrem de forma geral com baixas concentrações e o molibdênio apresenta valores maiores que 1 mg/L em 50% das amostras estudadas pelos autores e valores significativos nas demais.

Segundo Boaventura e Freitas (2006) o potássio aparece como um elemento importante nas águas subterrâneas do Distrito Federal e as inter-relações entre sódio e potássio são peculiares ao ambiente pedológico e geológico que circunscrevem os sistemas aquíferos. Em muitos estudos geoquímicos de água, o potássio não costuma ser determinado, pois sua abundância relativa, quando comparada ao sódio e a outros elementos, é baixa. Para os subsistemas **Q₃/R₃**, **R₄** e **F**, as relações entre estes elementos são reflexo da natureza geológica dos aquíferos do domínio fraturado e das reações típicas do extenso manto de intemperismo. Nas regiões onde a influência antrópica é mínima ou nula, o potássio é um elemento importante nas águas do domínio fraturado, em virtude da existência de filossilicatos que contenham potássio em sua estrutura, como a ilita. No domínio poroso, por outro lado, sódio e cálcio são mais abundantes, em virtude da proximidade com a superfície. Dois fatores são responsáveis por este fenômeno: 1. Ausência ou mínimas quantidades de

minerais primários que contenham potássio e magnésio em sua composição; 2. Sódio e cálcio são elementos importantes no metabolismo de seres vivos, sendo disponibilizados mais prontamente para a solução em sub-superfície.

Para estes autores, as águas do domínio fraturado, que não apresentem sinais de alteração por atividades antrópicas, possuem condutividade elétrica maior e potencial hidrogeniônico menor que as águas do domínio poroso, que também não tenham sido atingidas pelos efeitos de tais atividades. Este fato está relacionado à exposição das águas do domínio fraturado à diversas reações que ocorrem no manto de intemperismo, que propiciam a redução do potencial hidrogeniônico. Estas águas mais profundas estiveram em contato com o solo e com as rochas por tempo suficiente para sofrerem os efeitos das reações de intemperismo (ferrólise, deslocamento de alumínio, etc.), responsáveis pela diminuição do potencial hidrogeniônico do meio. Em seguida, entraram em contato com minerais primários nas fraturas da rocha menos alterada, iniciando, ou dando prosseguimento, ao processo de intemperismo. Minerais como ilita e clorita, são alterados, liberando potássio, magnésio, ferro, manganês, entre outros elementos para a solução.

Em suma, Boaventura e Freitas (2006) definem como **discriminantes geoquímicos** para as águas não alteradas do domínio fraturado dos subsistemas **Q₃/R₃, R₄ e F**, os baixos valores de potencial hidrogeniônico (inferiores a 5, com média de 4,4) de condutividade elétrica (inferiores a 18 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo que a maioria dos valores encontra-se na faixa de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$), soma das concentrações de sódio e potássio sempre superior à soma das concentrações de cálcio e magnésio. As regiões cuja soma das concentrações de sódio e potássio seja menor que a soma das concentrações de cálcio e magnésio são correlacionadas pelos autores a áreas onde haja aplicação de corretivos de solo, calagem e lodo de esgoto. Nestes locais há mudança nas condições físico-químicas e a relação entre os elementos se altera. Segundo os mesmos, nestas áreas, as águas pertencentes ao domínio poroso são enriquecidas em cálcio, magnésio, nitrato, zinco e manganês. Estes elementos indicam o uso de fertilizantes, adubos orgânicos entre outros insumos. Neste caso, o potencial hidrogeniônico é superior, assim como a concentração de cromo, pois este elemento forma um óxido cuja solubilidade aumenta com o potencial hidrogeniônico. À medida que o potencial hidrogeniônico sobe, as concentrações dos elementos de transição caem.

Logo são discriminadores geoquímicos para as áreas cuja ocupação esteja relacionada a atividades agrícolas, a inversão da relação sódio, potássio, cálcio e magnésio, tanto para o domínio poroso, quanto para o domínio fraturado, altos valores de alcalinidade, potencial hidrogeniônico superior a 6 e, nas áreas cujo potencial hidrogeniônico seja inferior a 6, maiores concentrações relativas de zinco e manganês (Boaventura e Freitas, 2006).

Boaventura e Freitas (2006) também sugerem que nos locais onde há intensa **ocupação urbana**, com largo uso de fossas negras e valas para a destinação de águas residuárias, a elevação dos valores de potencial hidrogeniônico é um reflexo da entrada de efluentes no domínio poroso e sua posterior diluição e infiltração no domínio fraturado. Os efluentes também contribuem com a entrada de metais (cádmio, cobre, ferro e zinco), nitrato, amônia, sulfato, cloreto, sódio, potássio, magnésio e cálcio no sistema. Segundo os autores, nestes casos ocorrem ótimas correlações de potencial hidrogeniônico com cromo, cádmio e cobre e uma correlação média com o alumínio. Estes elementos, com exceção do cromo, tendem a precipitar em ambientes cujo potencial hidrogeniônico é superior a 4. Fica claro que as condições naturais destes sítios hidrogeológicos foram alteradas, fazendo com que o potencial hidrogeniônico atinja valores médios da ordem de 5,5 e elementos como zinco, ferro, cádmio, cobre e alumínio permaneçam em solução.

Ainda segundo estes autores, a formação de complexos com a matéria orgânica proveniente dos esgotamentos sanitários individuais aumenta a mobilidade de metais em água e concentrações de amônia muito superiores às médias de áreas não impactadas são típicas para as áreas alteradas por infiltração de efluentes, pois esta é a forma mais comum de nitrogênio liberada por este tipo de fonte.

Estas características hidroquímicas devem nortear a utilização e a adaptação da legislação acerca da qualidade da água subterrânea para consumo humano, uma vez que águas alteradas no Distrito Federal podem possuir concentrações legalmente toleráveis para determinados elementos.

Capítulo V

Tratamento Estatístico

5.1- Estatística Descritiva e Comparações

Para organizar, analisar e descrever os dados fornecidos pela CAESB recorreu-se ao emprego de técnicas estatísticas descritivas, que através de médias, desvios padrões, porcentagens, máximos, mínimos (Anexo B), gráficos e tabelas condensam as informações, facilitando a sua visualização e interpretação.

A confecção de **histogramas de frequência** (Anexo C) permite a análise da distribuição de cada elemento no conjunto de amostras. O padrão consiste na maior concentração de dados em valores menores relacionados ao background dos elementos na natureza, e uma sequência de menores concentrações de valores progressivamente maiores. Este padrão assimétrico do tipo Lognormal é comum em levantamentos geoguímicos. Alguns elementos podem apresentar concentrações bimodais ou trimodais.

Transformando os histogramas de frequência de padrão Lognormal para o padrão Normal através de cálculo do logaritmo na base 10 para cada elemento, observa-se que as

distribuições assimétricas tornam-se distribuições simétricas, nas quais a maioria das medidas está agrupada próxima de um valor central e a frequência de ocorrência declina a partir deste ponto para valores menores e maiores. Apresentam concentrações dispersas, diferentes do modelo padrão, elementos anômalos de ambientes alterados.

Comparações (Anexo B) com valores de background (Arraes *et al.*, 2006) e com parâmetros de qualidade de água subterrânea sugeridos para Distrito Federal (Boaventura e Freitas, 2006) subsidiaram as interpretações das concentrações de vários elementos no conjunto de amostras da área de estudos. Neste trabalho considerou-se estatisticamente anômalos, os valores 2 vezes maiores que os valores do background da região, enquanto o background da região, por sua vez, permitiu avaliar a eficácia dos parâmetros de qualidade da água outrora sugeridos para o Distrito Federal (Capítulo 6).

5.2- Correlação Bivariável

A correlação é uma ferramenta importante quando se deseja avaliar a relação entre 2 medidas quantitativas. Ela avalia o grau de associação linear entre as medidas através do **coeficiente de Pearson** (Anexo D), que varia entre +1 e -1, sendo que esses valores sugerem uma relação perfeita direta e indiretamente. O valor 0 indica ausência de relação linear entre as variáveis (Davis, 2002). Quando este coeficiente é maior que + 0,7 ou menor que - 0,7 considera-se que a correlação é forte, direta ou indiretamente respectivamente.

5.3- Principais Componentes

A análise de principais componentes é uma técnica usada para reduzir a dimensão de problemas multivariados e detectar os parâmetros mais significativos que descrevam o conjunto estudado com a mínima perda de dados originais. Essa técnica permite reconhecer padrões que expliquem a variância de um grande grupo de variáveis inter-correlacionadas, transformando-as em variáveis lineares independentes, não-correlacionadas, chamadas de principais componentes, que nada mais são que uma combinação linear das variáveis originais (Chen *et al.*, 2007).

O resultado da análise de principais componentes pode ser resumido em um autovetor, também denominado de componente principal, e um autovalor, que expressa o quanto da variância dos dados é explicada pelo autovetor correspondente (Strapasson *et al.*,2000).

Neste trabalho, os **coeficientes de correlação** foram calculados de acordo com a rotação varimax (Anexo E), que resulta na maximização da variância dos pesos (Kaiser, 1958) e foram usadas as 5 primeiras principais componentes para explicar a variância dos dados. Os pesos dos coeficientes formam praticamente uma classificação do grau de similaridade entre eles e as componentes (Harman, 1960). As 5 primeiras principais componentes obtiveram autovalores maiores que 1, e por isso ficaram à esquerda da inflexão da curva de autovalores *versus* autovetores (Fig. 5.1).

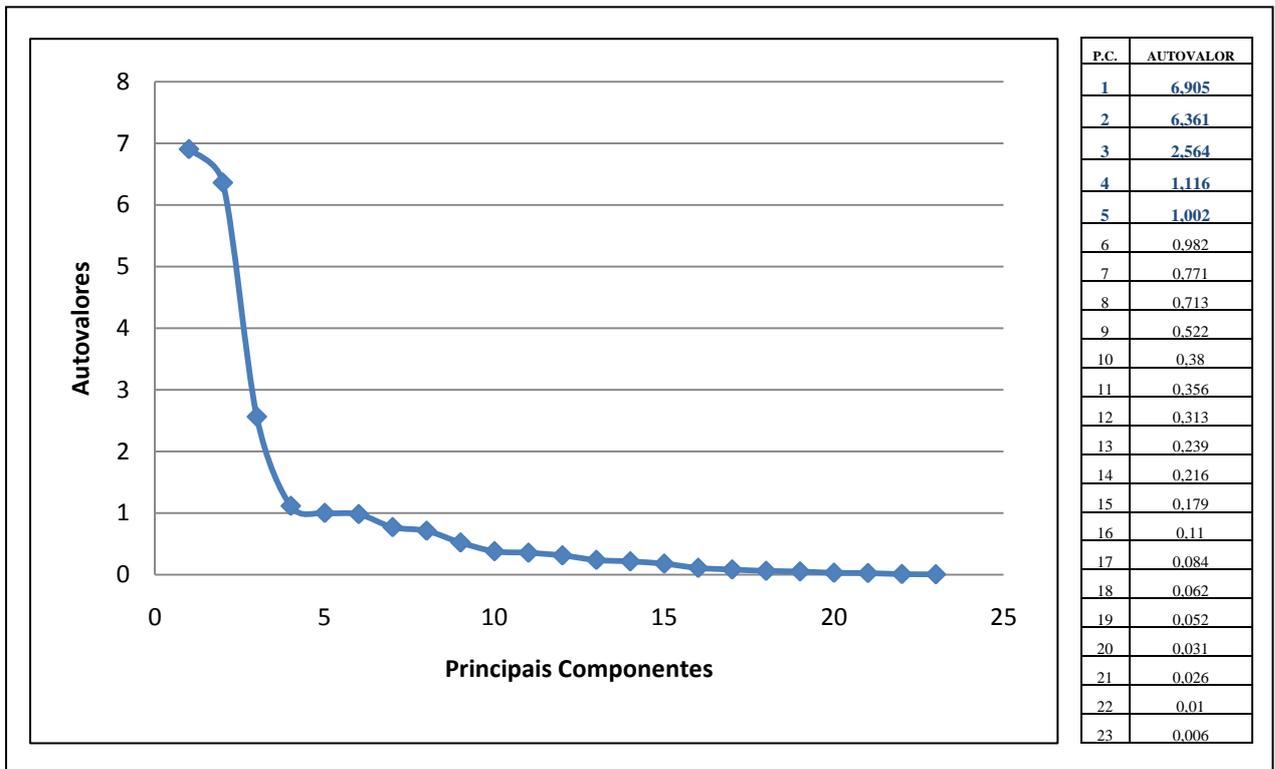


Figura 5.1: Curva de autovetores versus autovalores e coeficientes de correlação por rotação varimax.

5.4- Análise de Grupos

A análise de grupos é um conjunto de técnicas de análise multivariada que tem como objetivo reunir as observações similares na mesma classe e as dissimilaridades em classes

diferentes (Chen *et al.*, 2007). Segundo Vega *et al.* (1998), a análise de grupos usa toda a variância ou informação disponível nos dados originais na classificação.

Um dos métodos de classificação não hierárquico por repartição é o **k-médias** (McQueen, 1967), através do qual o próprio usuário, por tentativa e erro, determina o número de grupos a serem diferenciados, com a maior distinção possível entre eles. Os grupos são formados de modo a ter a menor e a maior variabilidade dentro e entre eles, respectivamente.

Neste trabalho as amostras foram distribuídas em 5 grupos (Anexo F), cada grupo com uma influencia diferente do meio (Capítulo 6). Observou-se migração entre grupos para águas de um mesmo poço de acordo com a sazonalidade e com o passar dos anos, o que sugere a influencia de um fator externo ao sistema.

Capítulo VI

Resultados & Discussão

O **resumo dos dados** de qualidade de água fornecidos pela CAESB estão dispostos no Anexo A. O Anexo B apresenta as tabelas com a **estatística descritiva** total para as 120 amostras da área de estudos e a estatística descritiva por subsistema aquífero (das 120 amostras da área de estudos, 25 representam as águas do Subsistema F, 66 do Subsistema R₄ e 29 do Subsistema Q₃/R₃), além dos valores encontrados na literatura que foram usados como **Background** (Arraes *et al.*, 2006) e como **parâmetros inorgânicos para avaliação da qualidade da água subterrânea no Distrito Federal** (Boaventura e Freitas, 2006).

A análise da **relação entre os valores de Background** (Arraes *et al.*, 2006) e os **valores de alerta dos parâmetros de qualidade da água** (Boaventura e Freitas, 2006) foi o primeiro passo para se chegar ao entendimento dos dados da área de estudos, uma vez que, para avaliar a ocorrência de alteração na qualidade da água da área de estudos se faz necessário o prévio conhecimento e entendimento de valores de referencia para a composição de águas inalteradas dos mesmos subsistemas aquíferos.

Como mostra a Figura 6.1, para os subsistemas **F** e **R₄**, os valores de background de condutividade elétrica obtidos através dos poços EPO-AI e Poço EPO-CG2 (Arraes *et al.*,

2006) mostram que o valor de alerta de 13 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Boaventura e Freitas, 2006) não deve ser aplicado de maneira geral para todo o Distrito Federal. As águas do subsistema **F** são bicarbonatadas cálcico-magnesianas, com alta concentração de magnésio e bicarbonato, coerentes com a natureza geológica do subsistema, que apresenta clorita filito a clorita carbonato filito como principais constituintes, enquanto as do subsistema **R₄** são bicarbonatadas cálcicas, nas quais a presença de cálcio, magnésio e bicarbonato se devem à participação de carbonatos nos pelitos (Arraes *et al.*, 2006). Já para o subsistema **Q₃/R₃**, o qual possui águas cloretadas magnesianas que estão em contato com rochas inertes ou pouco reativas (Arraes *et al.*, 2006), o mesmo valor de alerta se mostra bastante eficaz.

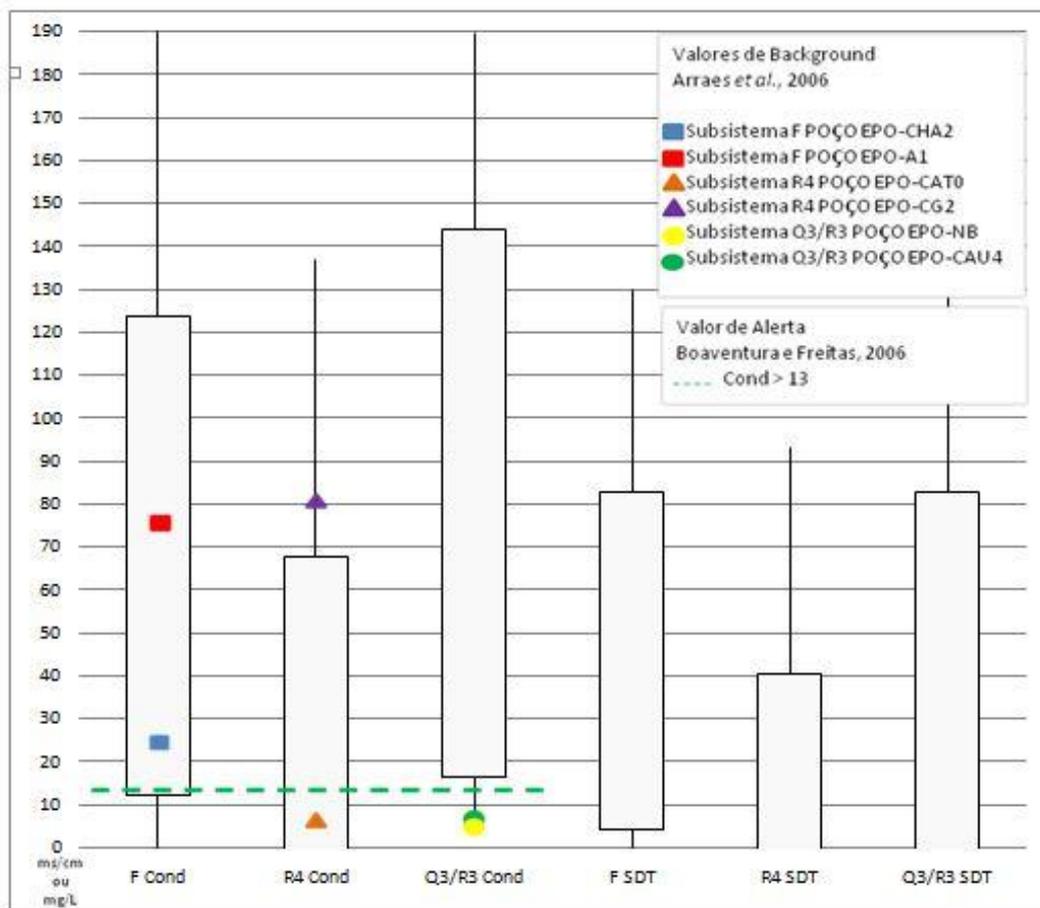


Figura 6.1: Distribuição das concentrações dos valores de condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais por subsistema aquífero na área de estudos (barras) e comparações com valores de background (Arraes *et al.*, 2006) e com valor de alerta (Boaventura e Freitas, 2006).

Já a Figura 6.2 mostra que, quanto ao valor de alerta de 0,45 mg/L para o sódio (Boaventura e Freitas, 2006), o parâmetro é eficaz para os 3 subsistemas, uma vez que todas

as amostras de background apresentam valores inferiores a este. O sódio é um elemento comum em águas residuais, frequentemente associados à entrada de esgotos domésticos (Matinelli *et al.*, 2004), presente, porém não abundante nas águas subterrâneas preservadas destes 3 subsistemas. Este elemento, associado ao cloreto e ao potássio, é introduzido nos sistemas aquosos principalmente sob a forma de sais dissolvidos. A mesma figura mostra que o contrário ocorre com o valor de alerta de 2 mg/L de cloreto (Boaventura e Freitas, 2006), o qual foi ultrapassado pelas amostras de background dos mesmos 3 subsistemas. Como nenhuma amostra apresentou mais de 3 mg/L de cloreto, pode-se indicar um ajuste ao parâmetro outrora sugerido. O cloreto é um íon comum nas águas de infiltração e nas próprias águas subterrâneas do Distrito Federal (Arraes *et al.*, 2006).

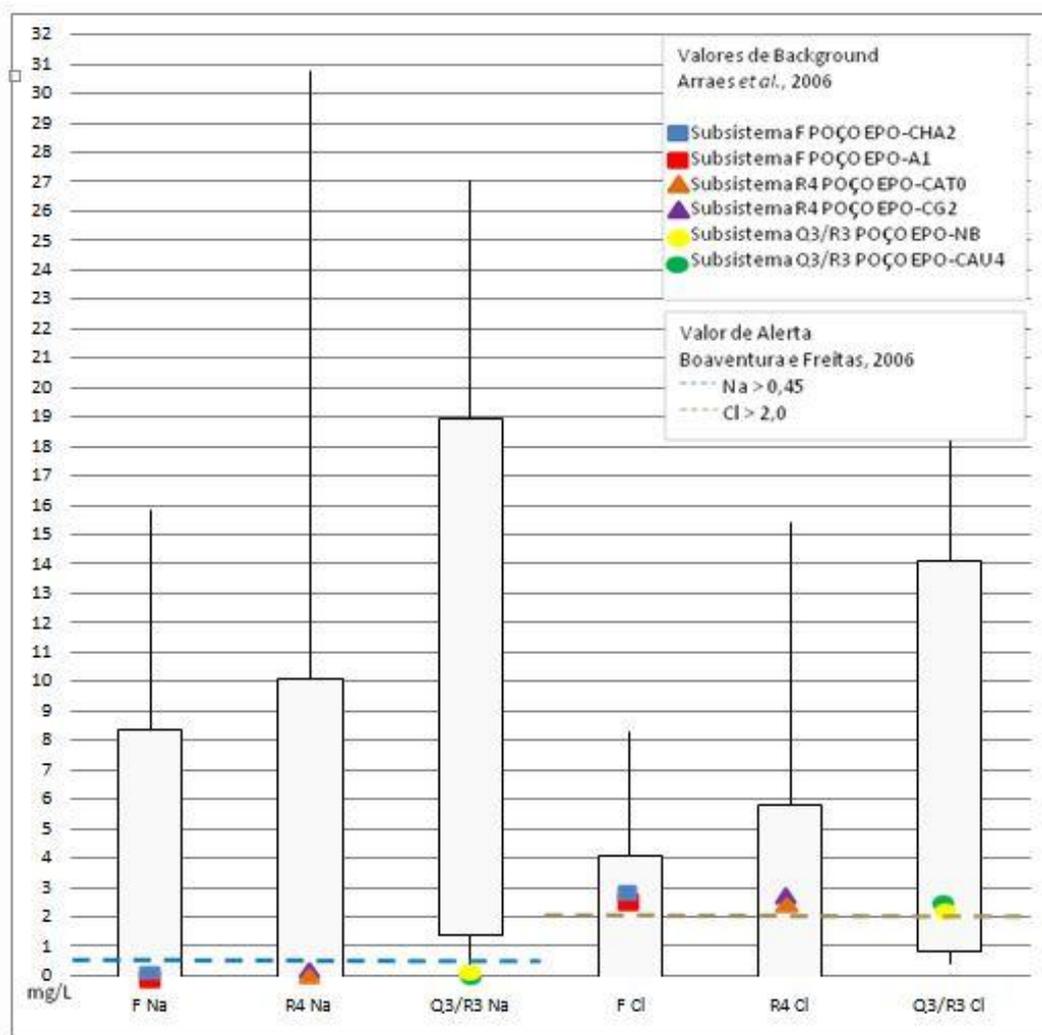


Figura 6.2: Distribuição das concentrações dos valores de sódio e cloreto por subsistema aquífero na área de estudos (barras) e comparações com valores de background (Arraes *et al.*, 2006) e com valor de alerta (Boaventura e Freitas, 2006).

Em todas as amostras de background dos 3 subsistemas, os valores de cálcio ultrapassaram os valores de sódio, ao contrário do sugerido por Boaventura e Freitas (2006). A Figura 6.3 mostra que as maiores concentrações de cálcio nas amostras de background foram observadas nas águas bicarbonatadas cálcicas do subsistema **R₄**. Enquanto isso, as maiores concentrações de magnésio nas amostras de background foram observadas nas águas bicarbonatadas magnesianas do subsistema **F**.

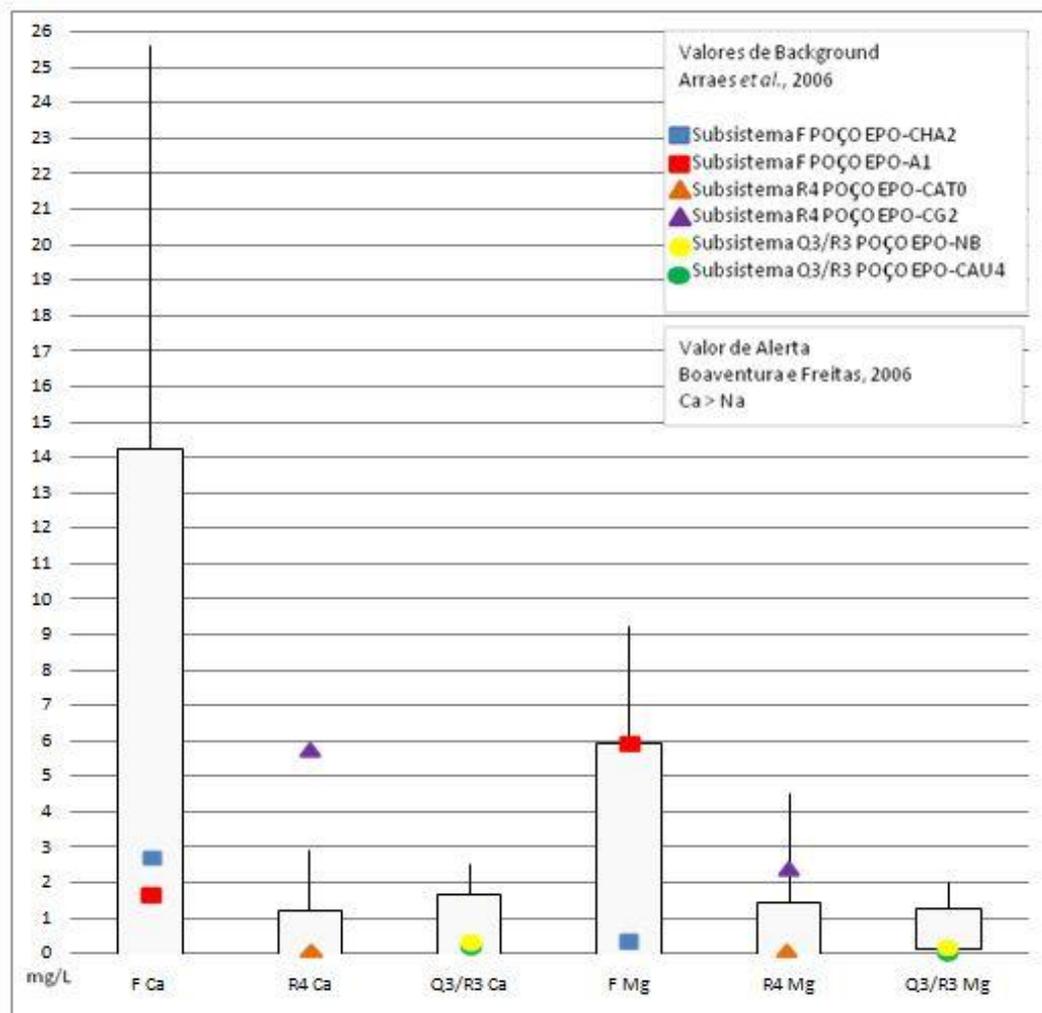


Figura 6.3: Distribuição das concentrações dos valores de cálcio e magnésio por subsistema aquífero na área de estudos (barras) e comparações com valores de background (Arraes et al., 2006) e com valor de alerta (Boaventura e Freitas, 2006).

Em relação aos compostos nitrogenados, como mostra a Figura 6.4, a maior parte da população de 120 amostras da área de estudos possui valores elevados para o Distrito Federal

e, quanto ao nitrato, possui valores maiores que o valor de alerta sugerido por Boaventura e Freitas, 2006.

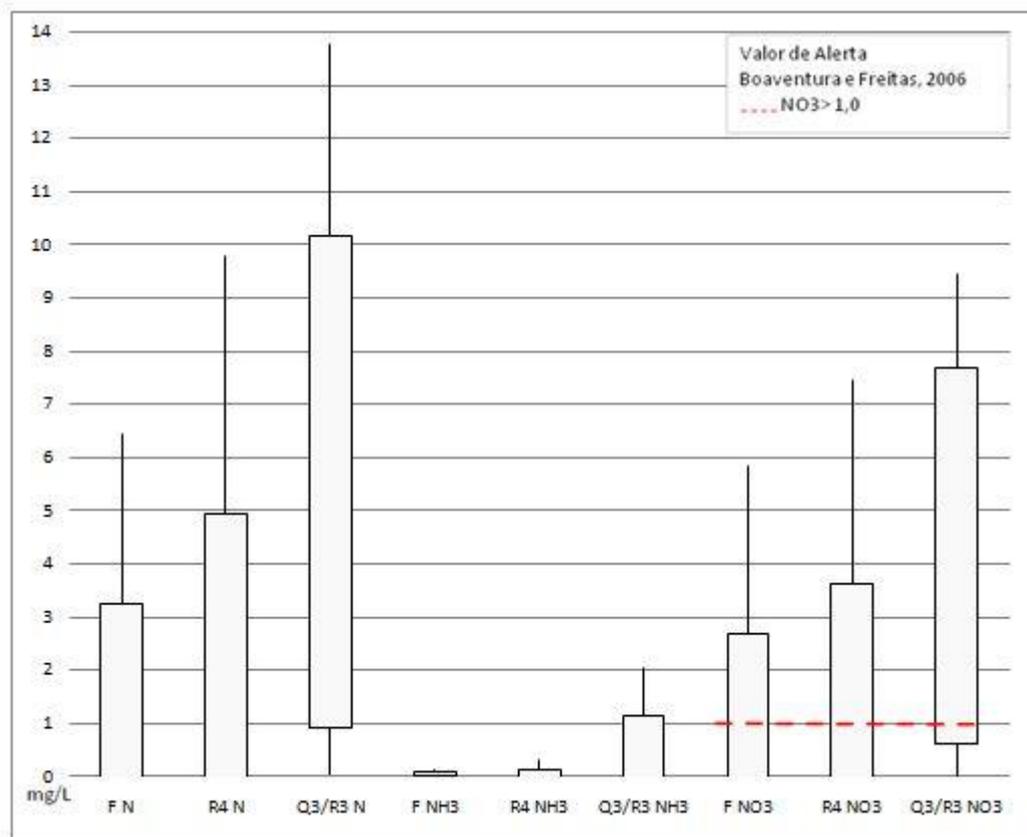


Figura 6.4: Distribuição das concentrações dos valores de nitrogênio total, amônia e nitrato por subsistema aquífero na área de estudos (barras) e comparações com valor de alerta (Boaventura e Freitas, 2006).

As 29 amostras da área de estudos do subsistema **Q₃/R₃** apresentaram valores médios de ferro total, alumínio e fosfato equivalentes aos valores das amostras de background, sendo que para os parâmetros ferro total e alumínio ocorreram valores máximos 4 vezes maiores que o valor de background do subsistema. Os valores médio e máximo de condutividade elétrica foram respectivamente 12 e 27 vezes maiores que o background do subsistema; cloreto e magnésio, 3 e 8 vezes; cálcio 4 e 12 vezes; bicarbonato 2 e 30 vezes; e sódio, 112 e 300 vezes.

As 66 amostras da área de estudos do subsistema **R₄** apresentaram valores médios de ferro total, alumínio, manganês, magnésio, sulfato e cloreto equivalentes aos valores das amostras de background do subsistema. Entretanto seus valores máximos estiveram acima do background 7 vezes, 3 vezes, 2 vezes, 2 vezes, 3 vezes e 6 vezes respectivamente. Os valores

médio e máximo de sódio estiveram acima dos valores de background do subsistema 11 e 86 vezes, respectivamente.

As 25 amostras da área de estudos do subsistema F apresentaram valores médios de alumínio, manganês, bicarbonato e cloreto equivalentes aos valores das amostras de background, mas seus valores máximos estiveram acima do background 2 vezes, 5 vezes, 3 vezes e 3 vezes respectivamente. Os valores médios e máximos de ferro total estiveram acima do background 2 e 28 vezes; de cálcio, 2 e 10 vezes; de sódio, 18 e 71 vezes, de sulfato, 2 e 6 vezes; e de fosfato, 2 e 5 vezes.

As Figuras 6.5, 6.6 e 6.7 mostram a distribuição dos valores de ferro total e alumínio, bicarbonato e alcalinidade e manganês, potássio, sulfato e fosfato por subsistema aquífero na área de estudos e comparações com valores de background (Arraes et al., 2006) e com valor de alerta para o Distrito Federal (Boaventura e Freitas, 2006).

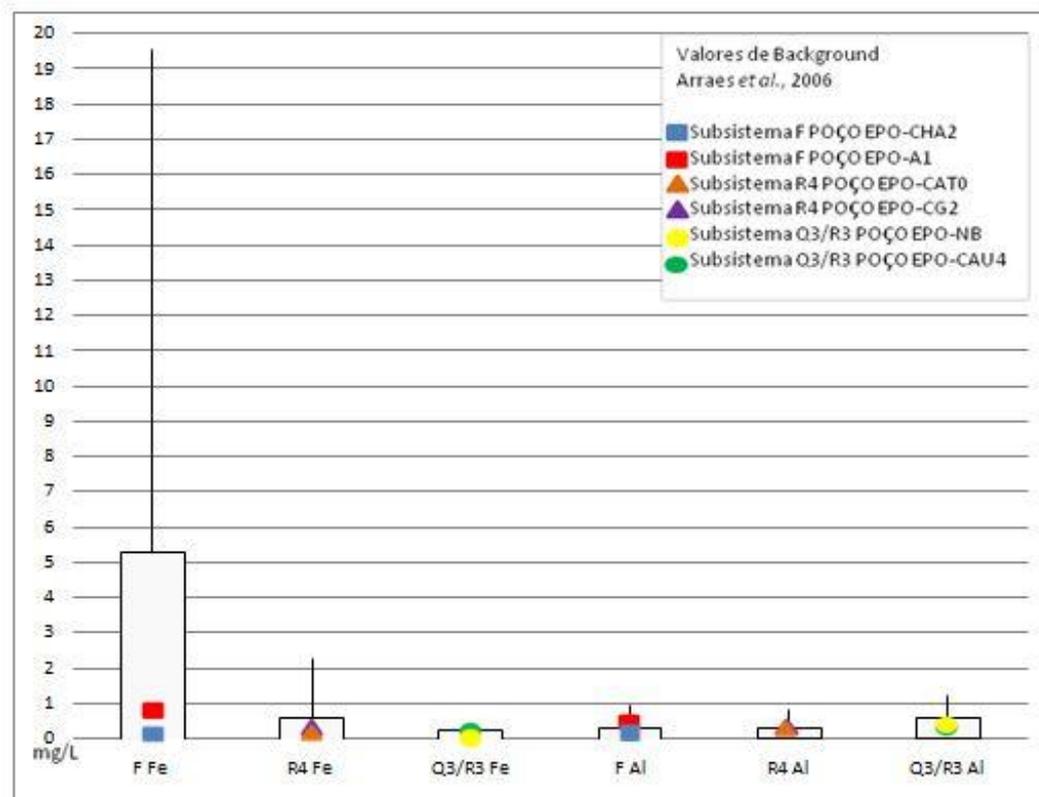


Figura 6.5: Distribuição das concentrações dos valores de ferro total e alumínio por subsistema aquífero na área de estudos (barras) e comparações com valor de background (Arraes et al., 2006).

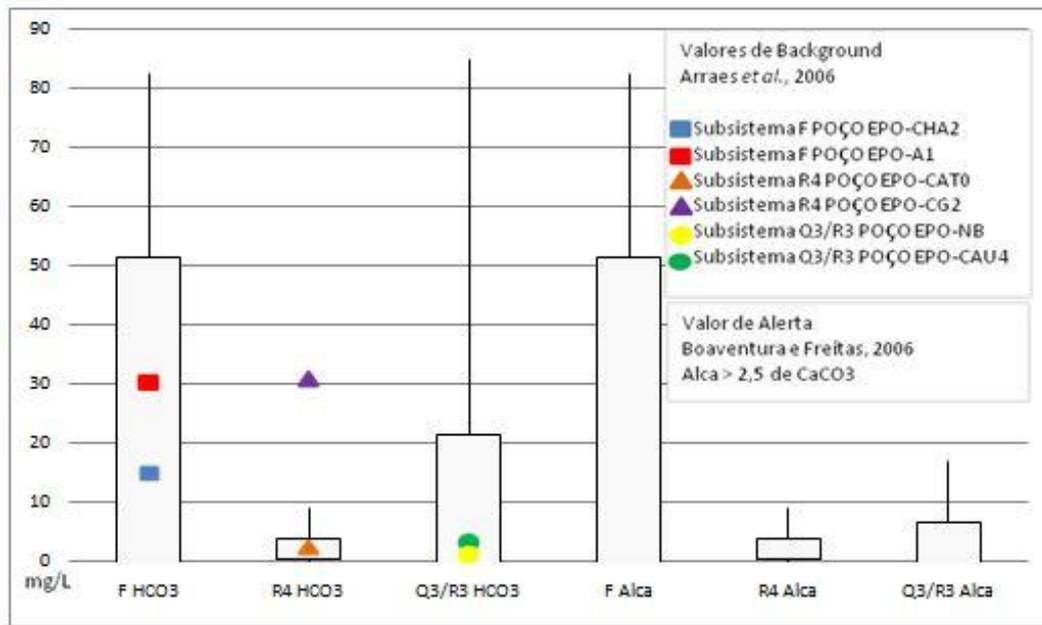


Figura 6.6: Distribuição das concentrações dos valores de bicarbonato e alcalinidade por subsistema aquífero na área de estudos (barras) e comparações com valores de background (Arraes et al., 2006) e com valor de alerta (Boaventura e Freitas, 2006).

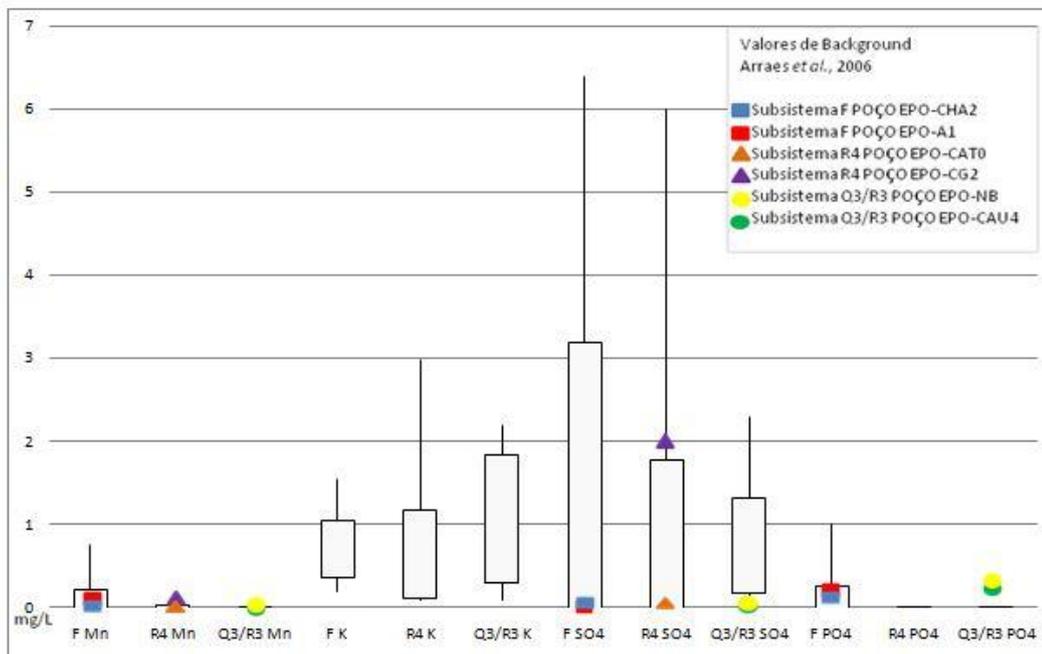


Figura 6.7: Distribuição das concentrações dos valores de manganês, potássio, sulfato e fosfato por subsistema aquífero na área de estudos (barras) e comparações com valores de background (Arraes et al., 2006) e com valor de alerta (Boaventura e Freitas, 2006).

A **correlação bivariável** (Tab. 6.1) avaliou o grau de associação linear entre as medidas através do coeficiente de correlação de Pearson.

A forte correlação ente alcalinidade, dureza cálcio, magnésio e bicarbonato indica que o método é eficaz para o conjunto de amostras da área de estudos, confirmando a esperada ocorrência de águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas na região.

A ausência de correlação entre ferro e sulfato e entre ferro e potencial hidrogeniônico indica que o processo de oxidação do sulfeto de ferro é restrito ou pouco importante nos subsistemas aquíferos estudados (Boaventura e Freitas 2006).

A forte correlação entre compostos nitrogenados, condutividade elétrica, cloreto e sódio sugere a alteração da qualidade das águas do aquífero pela entrada de águas residuais urbanas enquanto a ocorrência da correlação dos mesmos compostos nitrogenados com condutividade elétrica, potássio e cloreto indica a alteração das águas do aquífero pela entrada de insumos agrícolas.

Já a forte correlação entre turbidez, sólidos em suspensão e ferro total sugere deficiências nos perfis construtivos dos poços, com entrada de material terrígeno, rico em óxidos e hidróxidos de ferro. Os particulados entram nos poços devido à má isolamento da zona vadosa ou em profundidade devido ao mau planejamento dos filtros e à sobreexploração de água.

A **análise de principais componentes** foi aplicada para avaliar a correlação conjunta dos parâmetros analisados, determinando um agrupamento entre eles, de forma a facilitar a compreensão de suas origens. Este método resumiu todos os parâmetros analisados em 5 principais componentes (PCs), representando 73 % da variância total dos dados (Tab. 6.2).

Tabela 6.1: Correlação bivariável

	Forte Correlação (>0,7)
pH	Dur
Turb	SS, Fe
SS	Turb, Fe
Cond	SDT, Na, K, Cl, N, NO ₃
SDT	Cond
Alca	Dur, Ca, Mg, HCO ₃
CO ₂ LC	
DQO	
Dur	Alca, Ca, Mg, pH
Fe	Turb, SS
Al	NO ₃
Mn	
Ca	Alca, Dur, Mg, HCO ₃
Mg	Alca, Dur, Ca
Na	Cond, K, Cl, N, NO ₃
K	Cond, Cl, N, NO ₃ , Na
HCO ₃	Alca, Ca
SO ₄	
Cl	Cond, N, NH ₃ , NO ₃ , Na, K
N	Cond, Na, K, Cl, NO ₃
NH ₃	Cl
NO ₃	Cond, Al, Na, K, Cl, N
PO ₄	

Tabela 6.2: Principais componentes

P.C.	Forte Peso (>0,7)	% Variância
1	Cond, Na, K, Cl, N, NO ₃	28,2
2	Alca, Dur, Ca, Mg, HCO ₃	23,4
3	Turb, SS, Fe	12,4
4	CO ₂ LC	4,5
5	PO ₄	4,4

A principal componente (PC) 1 obteve elevados pesos (> 0,7) de condutividade elétrica, sódio, potássio, cloreto, nitrogênio total e nitrato, representando 28,2% da variância total dos dados. A principal componente 2 obteve

elevados pesos de alcalinidade, dureza, cálcio, magnésio e bicarbonato, representando 23,4% da variância. A principal componente 3 obteve elevados pesos de turbidez, sólidos em suspensão e ferro total, representando 12,4% da variância. A principal componente 4 obteve elevado peso somente de dióxido de carbono livre calculado, representando 4,5 % da variância; e a principal componente 5 obteve elevado peso somente de fosfato, representando 4,4% da variância total dos dados.

As principais componentes 1, 4 e 5 evidenciam a contribuição antrópica para a composição das águas com participação do dióxido de carbono, entrada de fosfato, compostos nitrogenados, sódio, potássio e cloreto e consequente aumento da condutividade elétrica. Juntas, elas explicam 37,1% da variância total dos dados.

Segundo Pieterse *et al.* (2003), os efluentes das áreas urbanas são as principais fontes de nitrogênio e fosfato para os sistemas aquíferos e segundo Boaventura e Freitas (2006), no Distrito Federal, em locais onde há intensa ocupação urbana, com largo uso de fossas negras e valas para a destinação de águas residuais, a elevação dos valores de ferro, nitrato, amônia, sulfato, cloreto, sódio, potássio, magnésio e cálcio é um reflexo da entrada de efluentes urbanos no domínio poroso e sua posterior infiltração no domínio fraturado.

A formação de complexos com a matéria orgânica proveniente das fossas aumenta a mobilidade de metais na água (Boaventura e Freitas, 2006) e, os processos microbiológicos de decomposição desta matéria orgânica são fontes importantes de dióxido de carbono nos sistemas aquíferos. Mais, condições de baixo oxigênio dissolvido e alto dióxido de carbono livre favorecem o acúmulo de nitrito na água (CETESB, 2008).

Os fertilizantes agrícolas são outra importante via de entrada de compostos nitrogenados, fosfato e potássio nos sistemas aquíferos por contribuição antrópica. Segundo Boaventura e Freitas (2006), no Distrito Federal, as atividades agrícolas alteram as condições

físico-químicas do meio e introduzem nitrato, sulfato, cálcio, magnésio, potássio, sódio, elementos traço e matéria orgânica nos aquíferos. Quando o potencial hidrogeniônico das águas é inferior a 6, os metais zinco e manganês são indicadores destas atividades, entretanto, quando o potencial hidrogeniônico é superior a este valor, as cargas negativas passam a ser preponderantes e os metais tendem a ser adsorvidos ou precipitados (Boaventura e Freitas, 2006).

Por sua vez, as principais componentes 2 e 3 confirmam os resultados da análise da correlação bivariável. A PC 2 representa o processo de dissolução de níveis de margas do subsistema **R₄** ou de clorita carbonato filitos do subsistema **F**, responsável pela geração de águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas na região e, a PC 3, as deficiências nos perfis construtivos dos poços, com entrada de material terrígeno, rico em óxidos e hidróxidos de ferro ou sobreexploração de água com entrada de particulados no poço através das fraturas das rochas ou de filtros mal posicionados

Desta forma, a análise de principais componentes permitiu a identificação de 3 grupos com assinaturas geoquímicas diferentes: 1. Grupo com contribuição de efluentes domésticos e de compostos agrícolas; 2. Grupo com dissolução de rochas carbonáticas e; 3. Grupo de poços mal construídos ou com sobreexploração de água. Os gráficos da soma das principais componentes 1, 4 e 5 *versus* as principais componentes 2 e 3 (Fig. 6.8) mostram campos bem definidos para cada um destes grupos, de acordo com suas assinaturas geoquímicas particulares.

A aplicação da **análise de grupos** permitiu a classificação das amostras em 5 grupos conforme a Tabela 6.3. e evidenciou a ocorrência de variações sazonais e anuais na qualidade das águas de alguns dos poços da área de estudos. Este fato contraria o que se espera para poços preservados de influências antrópicas de aquíferos fraturados cujas águas são um reflexo permanente das rochas com as quais estão em contato.

No Grupo 1 (influência agrícola forte) ocorreram 13 amostras que foram agrupadas por possuírem em média os maiores valores de condutividade elétrica, sódio, alumínio, cálcio, cloreto, sulfato, magnésio, manganês, nitrato e nitrogênio total. No Grupo 4 (influência agrícola fraca) ocorreram 4 amostras com, em média, os maiores valores de fosfato e altos valores de condutividade elétrica, sódio, cloreto, potássio, nitrato e nitrogênio total.

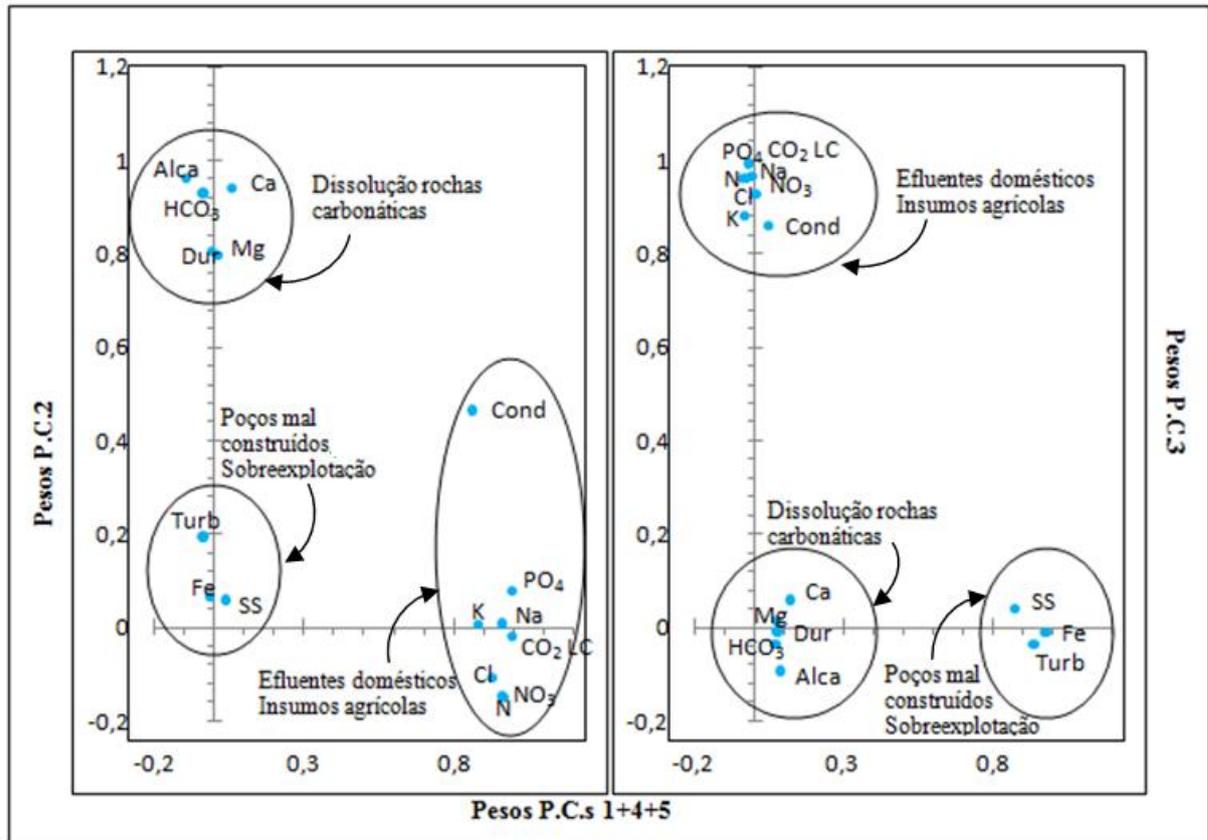


Figura 6.8: Soma das principais componentes 1, 4 e 5 versus as principais componentes 2 e 3.

No Grupo 2 (ocupação urbana) ocorreram 5 amostras com, em média, os maiores valores de potássio, altos valores de dióxido de carbono livre, cloreto, sódio, fosfato, nitrato e nitrogênio total. No Grupo 5 (ocupação urbana com alteração recente) ocorreram 2 amostras com, em média, os maiores valores de amônia e dióxido de carbono livre, altos valores de nitrato, nitrogênio total, sódio, cloreto, sulfato e condutividade elétrica. Concentrações de amônia superiores às médias de áreas não impactadas são típicas para as áreas alteradas por infiltração de efluentes urbanos, pois esta é a forma mais comum de nitrogênio liberada por este tipo de fonte (Boaventura e Freitas, 2006).

No Grupo 3 (influência mínima ou nula) ocorreram 64 amostras agrupadas por possuírem em média os menores valores de condutividade elétrica, alcalinidade, sódio, alumínio, cálcio, potássio, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, nitrogênio total e amônia. As águas deste grupo são as mais preservadas da área de estudos, embora satisfaçam somente em parte os parâmetros inorgânicos de qualidade de água subterrânea para o Distrito Federal sugeridos por Boaventura e Freitas (2006), apresentando o valor limite de condutividade elétrica (13,1 μ S/cm) e, em média, valores inferiores aos de alerta de alcalinidade (< 2,5 mg/L CO₃),

Tabela 6.3: Análise de grupos e interpretação das influências

Grupo	Casos	Parâmetros Característicos	Valores Médios	Influência
1	13	Maiores valores de pH Maiores valores de condutividade elétrica Maiores valores de alcalinidade Maiores valores de dureza Maiores valores de SDT Maiores valores de Na Maiores valores de Al Maiores valores de Ca Maiores valores de Cl Maiores valores de SO ₄ Maiores valores de Mg Maiores valores de Mn Maiores valores de nitrato Maiores valores de nitrogênio total	5,2 153,0 24,3 31,9 104,2 16,16 0,39 8,2 10,5 1,9 2,8 0,09 5,37 6,96	Agrícola Forte
2	5	Maiores valores de K Altos valores de CO ₂ livre Calculado Altos valores de condutividade elétrica Altos valores de SDT Altos valores de Al Altos valores de Cl Altos valores de Na Altos valores de PO ₄ Altos valores de nitrato Altos valores de nitrogênio total	1,60 265,84 72,3 49,2 0,26 5,4 8,71 0,003 3,84 4,71	Ocupação Urbana
3	64	Menores valores de condutividade elétrica Menores valores de alcalinidade Menores valores de Na Menores valores de Al Menores valores de Ca Menores valores de K Menores valores de Cl Menores valores de SO ₄ Menores valores de PO ₄ Menores valores de nitrato Menores valores de nitrogênio total Menores valores de amônia Maiores valores de pH	13,1 2,4 0,92 0,09 0,3 0,40 0,8 0,8 0,001 0,40 0,68 0,04 5,2	Mínima ou Nula
4	34	Maiores valores de Fe Maiores valores de PO ₄ Altos valores de condutividade elétrica Altos valores de Na Altos valores de Cl Altos valores de K Altos valores de nitrato Altos valores de nitrogênio total	0,98 0,03 83,4 9,44 5,4 1,06 3,51 4,91	Agrícola Fraca
5	2	Maiores valores de Amônia Altos valores de nitrato Altos valores de nitrogênio total Altos valores de condutividade elétrica Altos valores de SDT Altos valores de Na Altos valores de Cl Altos valores de SO ₄ Menores valores de Mg Menores valores de Mn Maiores valores de CO ₂ livre Calculado Menores valores de pH	0,74 4,45 6,64 92,9 63,1 11,67 9,6 1,2 0,2 0,01 1400 4,4	Ocupação Urbana com Alteração Recente

cloreto (< 2 mg/L), nitrato (< 1 mg/L) e potencial hidrogeniônico ($< 5,5$). O valor médio do grupo para sódio está acima do valor de alerta ($> 0,45$ mg/L), contrariando os parâmetros de qualidade de água subterrânea do Distrito Federal (Boaventura e Freitas, 2006) e o background da região ($< 0,45$ mg/L). Mais, a soma dos valores médios de alumínio e ferro total está acima do valor de alerta ($Al + Fe + Cu > 0,05$), mesmo sem somar o valor de cobre. Todavia, o caso do ferro total e do alumínio merecem maiores avaliações devido ao fato de não se conhecer se estes elementos estavam presentes na água em solução ou em forma de particulados que foram digeridos acidentalmente ou propositalmente durante a conservação e análise das amostras.

Dos 34 poços da área de estudos, 22 **não apresentaram variação sazonal ou anual na qualidade de suas águas**. A Figura 6.9 e os parágrafos seguintes ilustram a posição e as principais características destes poços que permaneceram no mesmo grupo desde o ano 2006 até o ano 2009.

O poço OV-4 esteve permanentemente no grupo 1 (influência agrícola forte) e os poços OV-1, OV-5, OV-6, JB-1, JB-3 e JP estiveram permanentemente no grupo 4 (influência agrícola fraca). Safras após safras e chuvas após chuvas mantiveram o incremento dos insumos agrícolas.

A vídeo inspeção realizada pela empresa *Fluxor – Poços Artesianos Ltda*, em 2007, a pedido da CAESB, mostrou que o poço OV-1 possuía soldagem em apenas metade da circunferência do revestimento de aço carbono aos 6,50 metros, na zona vadosa do aquífero. Antes do reparo pela soldagem, o defeito no perfil construtivo deste poço pode ter sido a porta de entrada para muitos compostos externos ao aquífero. Enquanto isso, os resultados das análises físico-químicas mostraram que o poço OV-6 possuía altos valores de sódio, cálcio, magnésio e coliformes totais naquele mesmo período.

Enquanto isso, os poços QI-1A, QI-2B, SB-1, SB-6 e VM-1 estiveram permanentemente no grupo 3 (influência mínima ou nula).

As vídeo inspeções realizadas pela mesma empresa mostraram que os poços QI-1A e QI-2B, em 2008, possuíam emendas normais nos revestimentos de aço carbono e que, todavia, o poço QI-1A apresentava falha no encravamento do revestimento na rocha. Já os resultados das análises físico-químicas mostraram que o poço SB-6 possuía alto valor de

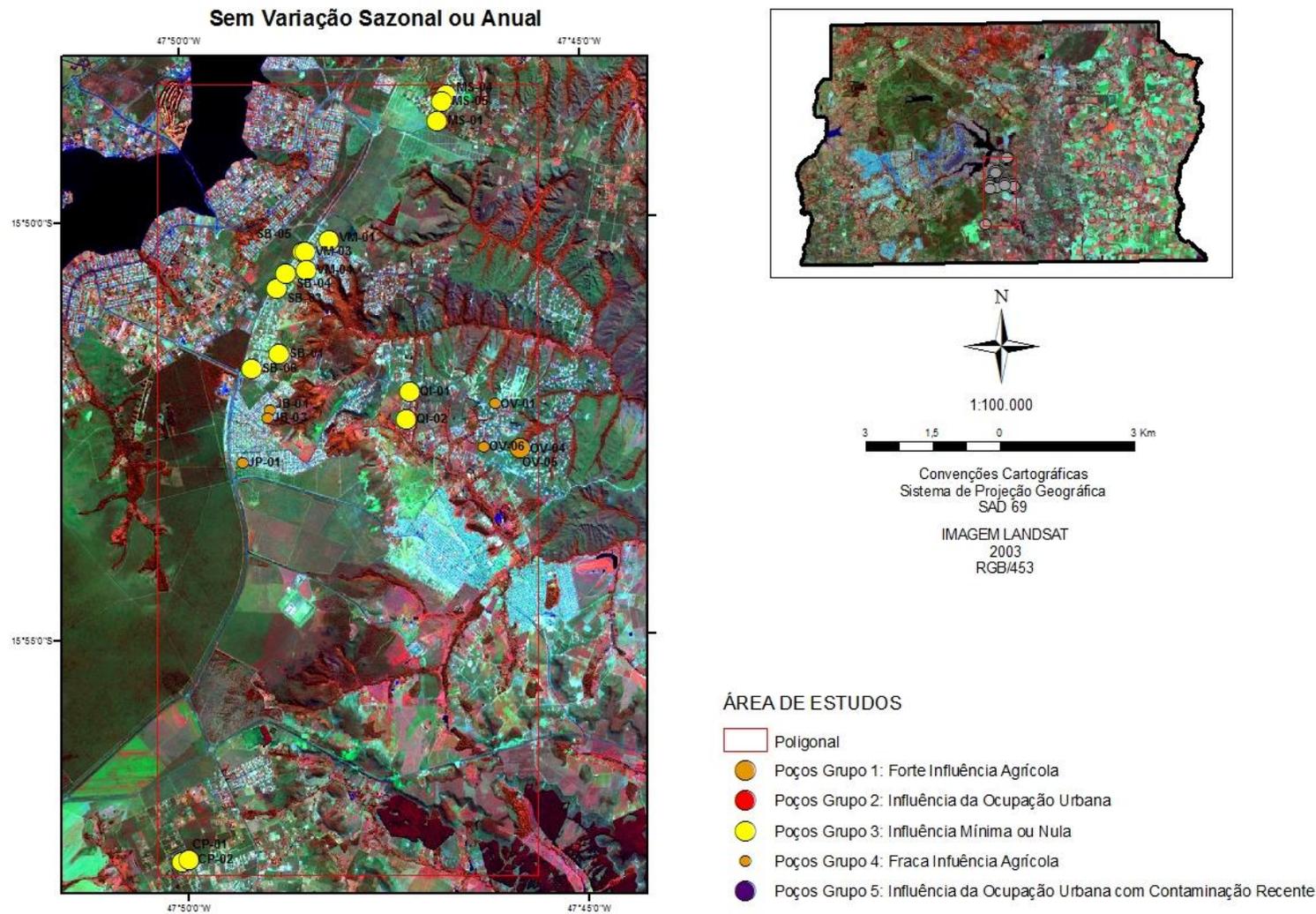


Figura 6.9: Imagem Landsat e localização dos poços sem variação na qualidade de suas águas. Convenções cartográficas e legenda comuns às Figuras 6.10, 6.11 e 6.13.

nitrato e muito alto de coliformes totais, mesmo pertencendo ao grupo 3 (influência mínima ou nula).

As Figuras 6.10 e 6.11, por sua vez, ilustram as posições dos 11 poços que apresentaram **variação anual** na qualidade de suas águas.

As águas dos poços OV-2 em 2007 estiveram no grupo 3 (influência mínima ou nula). Em 2008 migraram para o grupo 4 (influência agrícola fraca) e nele permaneceram. Embora a urbanização seja um forte fenômeno na região, as atividades agrícolas nunca cessaram, influenciando continuamente a qualidade das águas dos aquíferos locais.

Em 2006 as águas dos poços SD-1, SD-2, SD-3, SD-4, SD-6 e JB-2 estiveram no grupo 4 (influência agrícola fraca). Em 2007 as águas dos poços SD-6 e JB-2 permaneceram no grupo 4 (influência agrícola fraca) enquanto as demais migraram para o grupo 1 (influência agrícola forte) indicando o aumento do aporte dos compostos externos ou a concentração dos mesmos nos aquíferos. Em 2008, as águas do poço SD-3 migraram para o grupo 3 (influência mínima ou nula), ao contrário das águas do poço SD-4, que permaneceram no grupo 1 (influência agrícola forte) e, as águas do poço JB-2 migraram para o grupo 2 (influência urbana) enquanto as águas do poço SD-6 migraram para o grupo 5 (influência urbana com alteração recente), o que evidencia o incremento dos compostos externos de origem urbana. A Figura 6.12 ilustra parâmetros selecionados para o poço SD-03, com destaque para os valores de condutividade elétrica e compostos nitrogenados.

Por sua vez, dos 34 poços da área de estudos, 3 apresentaram **variação sazonal** na qualidade de suas águas. A Figura 6.13 e os parágrafos seguintes ilustram suas posições e suas principais características.

No período de chuva de 2007 o poço OV-03 esteve no Grupo 4 (influência agrícola fraca) e no período de seca do mesmo ano as águas do poço se enquadraram no Grupo 1 (influência agrícola forte). Durante o período de seca houve aumento de turbidez, sólidos suspensos, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica, concentração de cálcio, sódio, sulfato e diminuição de fosfato, dióxido de carbono livre, cloreto e compostos nitrogenados. O incremento de compostos nitrogenados no período da chuva pode estar relacionado à entrada no poço, devido a deficiências no seu perfil construtivo, de águas superficiais que

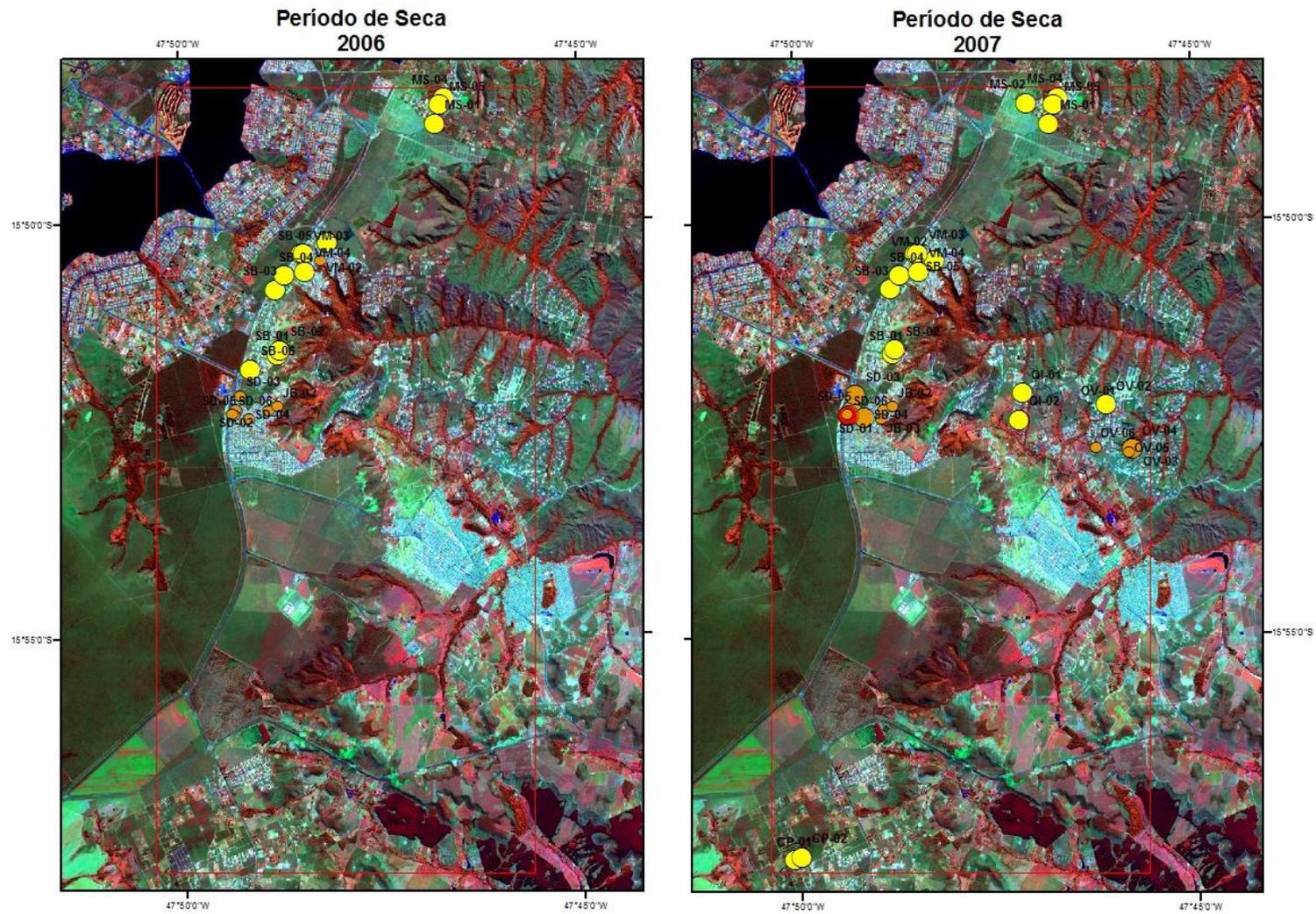


Figura 6.10: Imagem Landsat e localização dos poços com variação anual na qualidade das suas águas. Períodos de seca dos anos de 2006 e 2007.

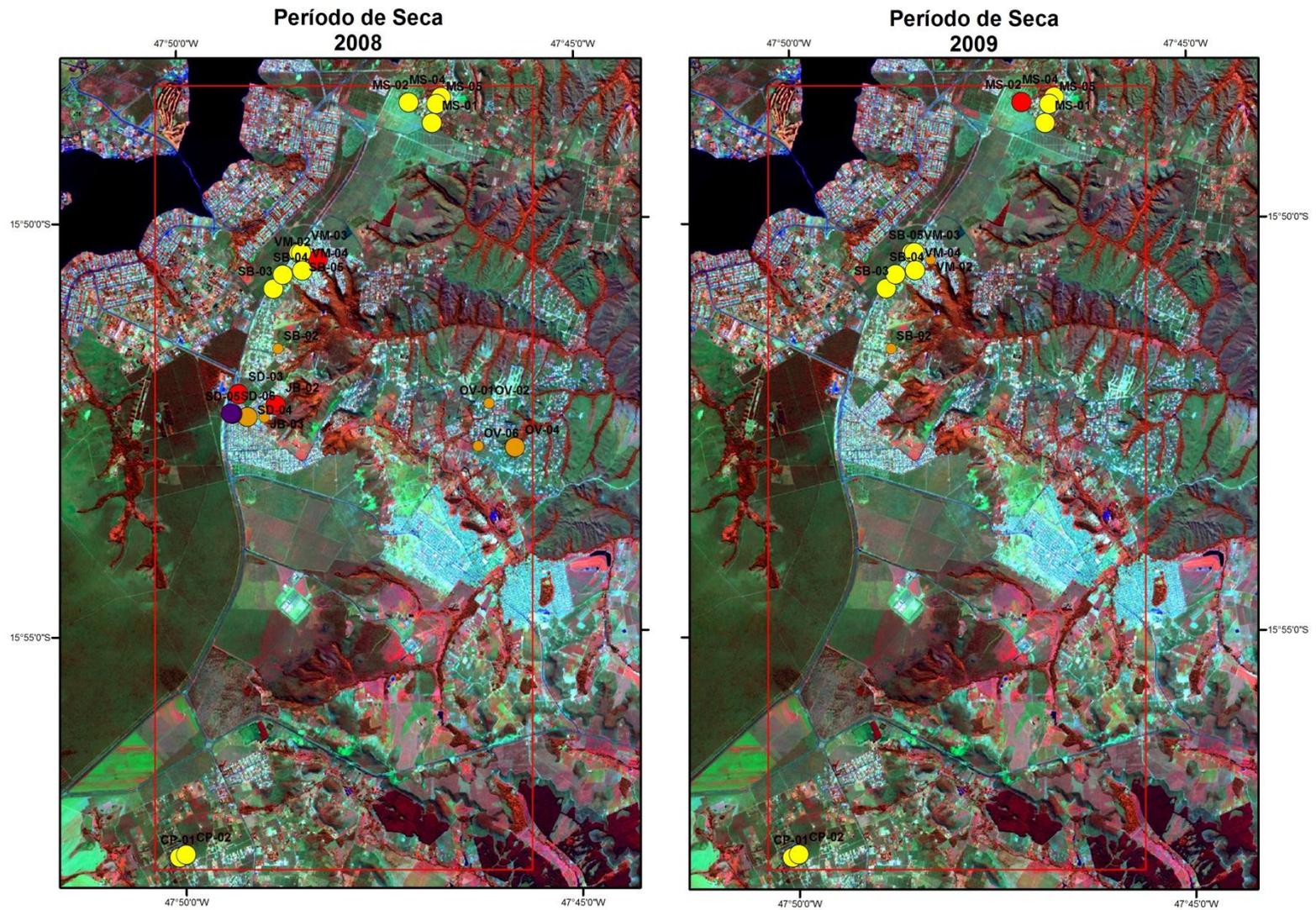


Figura 6.11: Imagem Landsat e localização dos poços com variação anual na qualidade das suas águas. Períodos de seca dos anos 2008 e 2009.

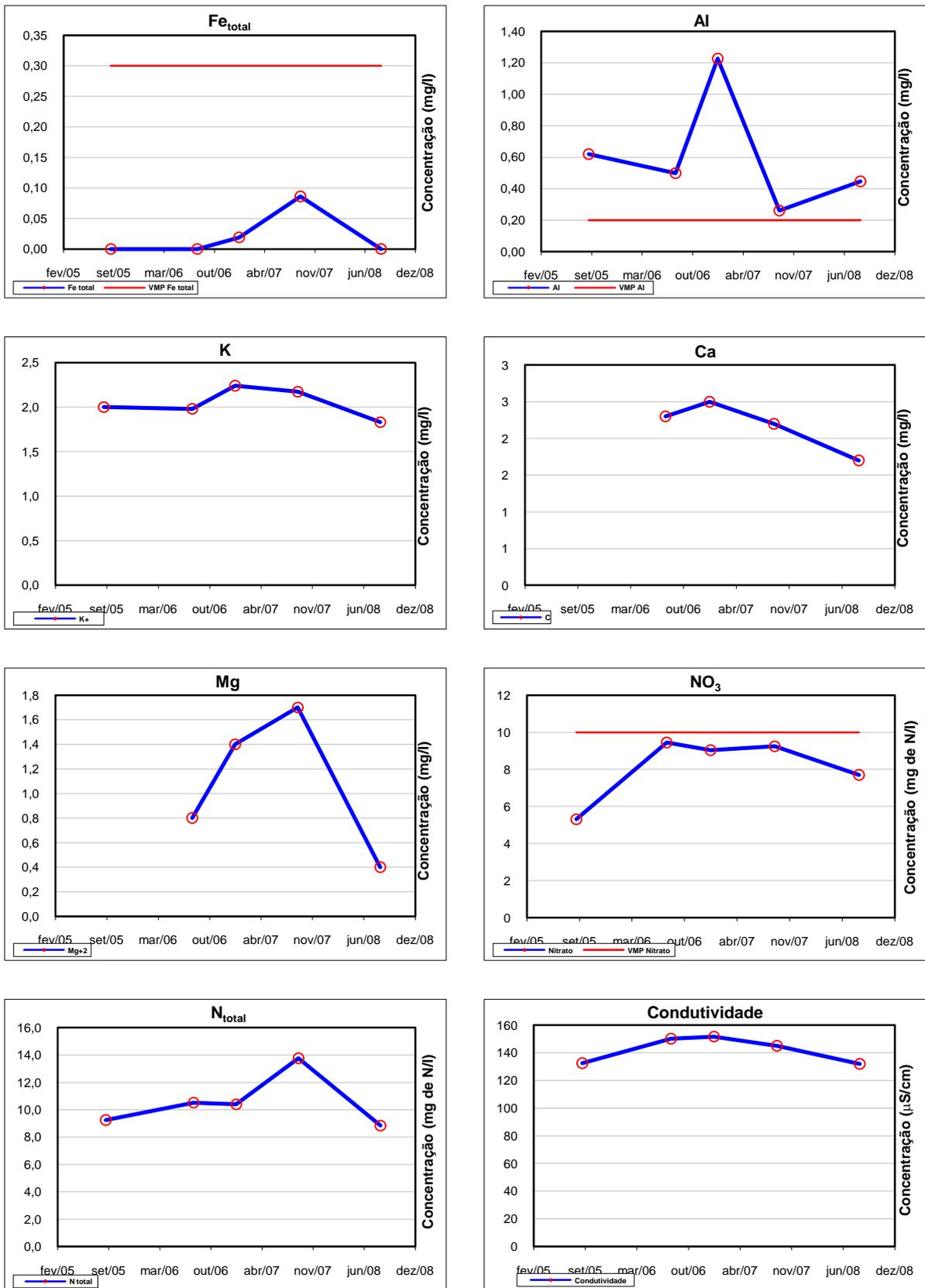


Figura 6.12: Valores de parâmetros selecionados do poço SD-03 ao longo do tempo de amostragem. VMP: valor máximo permitido pela Portaria 518/2004, adotado como referência pela CAESB.

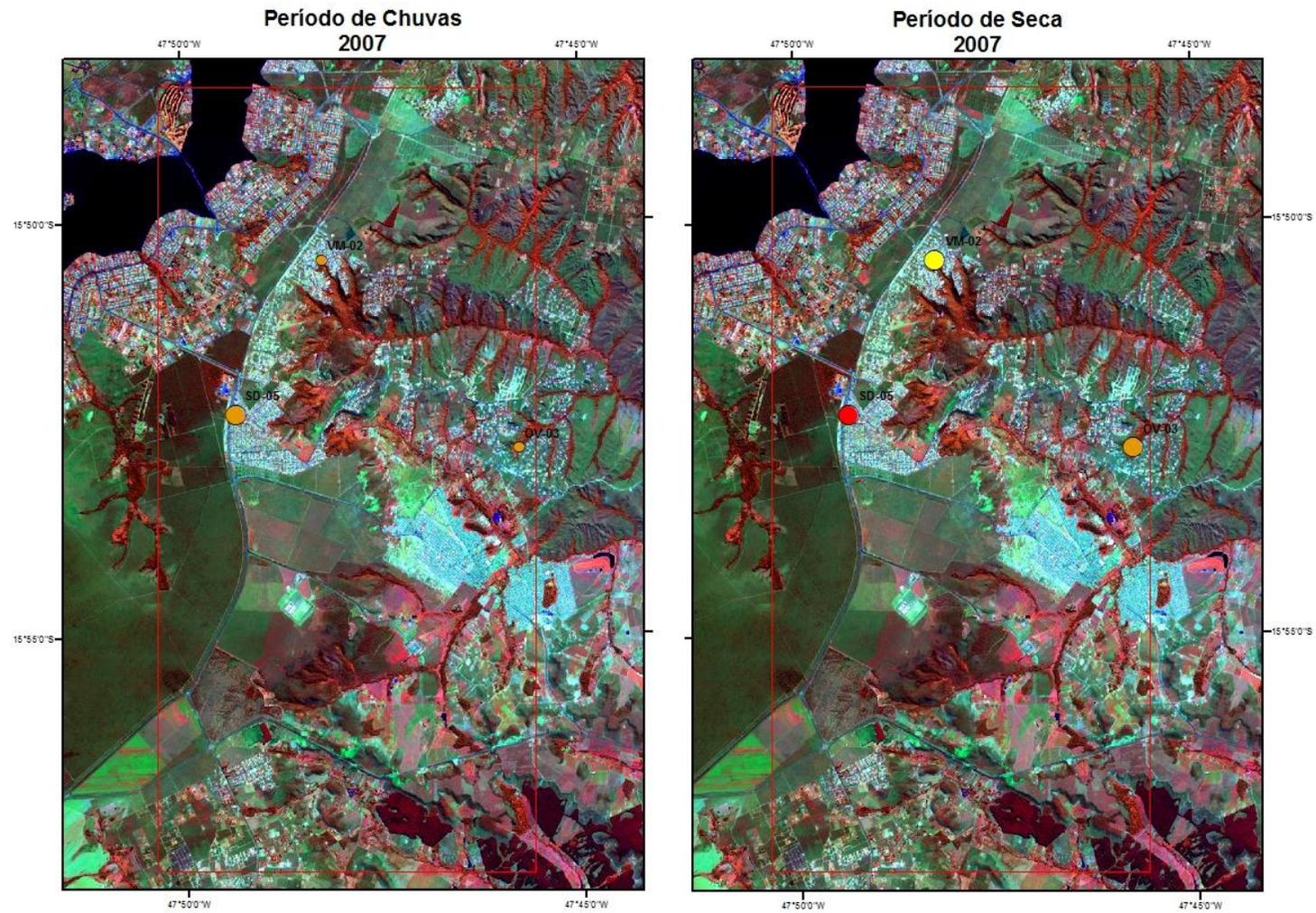


Figura 6.13: Imagem Landsat e localização dos poços com variação sazonal na qualidade das suas águas. Períodos de chuvas e seca do ano de 2007.

percolaram terras agricultadas. O aumento de turbidez e sólidos suspensos, principalmente compostos por partículas de ferro e alumínio, no período de seca, sugere a sobreexploração de água. A Figura 6.14 ilustra a oscilação sazonal dos valores de parâmetros selecionados para este poço.

O poço SD-05 apresentou não somente variação sazonal na qualidade de suas águas, mas também anual. Em 2006, no período de seca, o poço pertencia ao Grupo 4 (influência agrícola fraca). Em 2007 esteve no Grupo 1 (influência agrícola forte) durante o período da chuva e depois migrou para o Grupo 2 (ocupação urbana) no período da seca. Durante as chuvas, em relação ao ano 2006, houve aumento de condutividade elétrica, ferro, alumínio, cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloreto, sulfato e compostos nitrogenados. Assim como sugerido para o poço OV-03, neste poço pode ter havido a entrada de águas superficiais vindas de áreas agricultadas, com conseqüente incremento dos compostos externos, dos sólidos suspensos e da turbidez. No período de seca de 2007 as águas possuíam mais cálcio, sódio, cloreto, fosfato e nitrogênio, mesmo em relação ao período de seca de 2006, o que indica a ligação direta com uma nova fonte de alteração da qualidade da água, desta vez, de origem urbana. Em 2008, no período de seca, o poço pertencia ao Grupo 5 (influência urbana com alteração recente) com altos valores de dióxido de carbono livre, sódio, cloreto, sulfato e compostos nitrogenados, com destaque para a presença de amônia. A Figura 6.15 ilustra a oscilação sazonal e anual dos valores de parâmetros selecionados para este poço.

Em 2008 (Fig. 6.11), devido ao comprometimento da qualidade de suas águas, os poços OV-01, OV-02, OV-04, OV-06, JB-01, JB-02, JB-03, SD-03, SD-04, SD-05, SD-06 e JP foram interditados pela CAESB. As posições dos 13 poços que **continuaram em operação no ano de 2009** estão ilustradas na Figura 6.11, seus históricos em relação à análise de grupos estão na Tabela 6.4, o resumo dos dados de qualidade de suas águas referentes ao ano de 2009 está na Tabela 6.5 e suas principais características serão descritas a seguir.

As águas dos poços MS-2 e SB-2 apresentaram variação anual de qualidade. Em 2007 ambos estiveram no grupo 3 (influência mínima ou nula). Em 2008 o poço MS-2 continuou no grupo 3 (influência mínima ou nula) enquanto o poço SB-2 migrou para o grupo 4 (influência agrícola fraca) e nele permaneceu. Em 2009 o poço MS-2 outrora com as águas preservadas, migrou para o grupo 2 (influência urbana), o que evidencia a influência do crescimento urbano sobre a qualidade das águas da região. A Figura 6.16 ilustra valores de

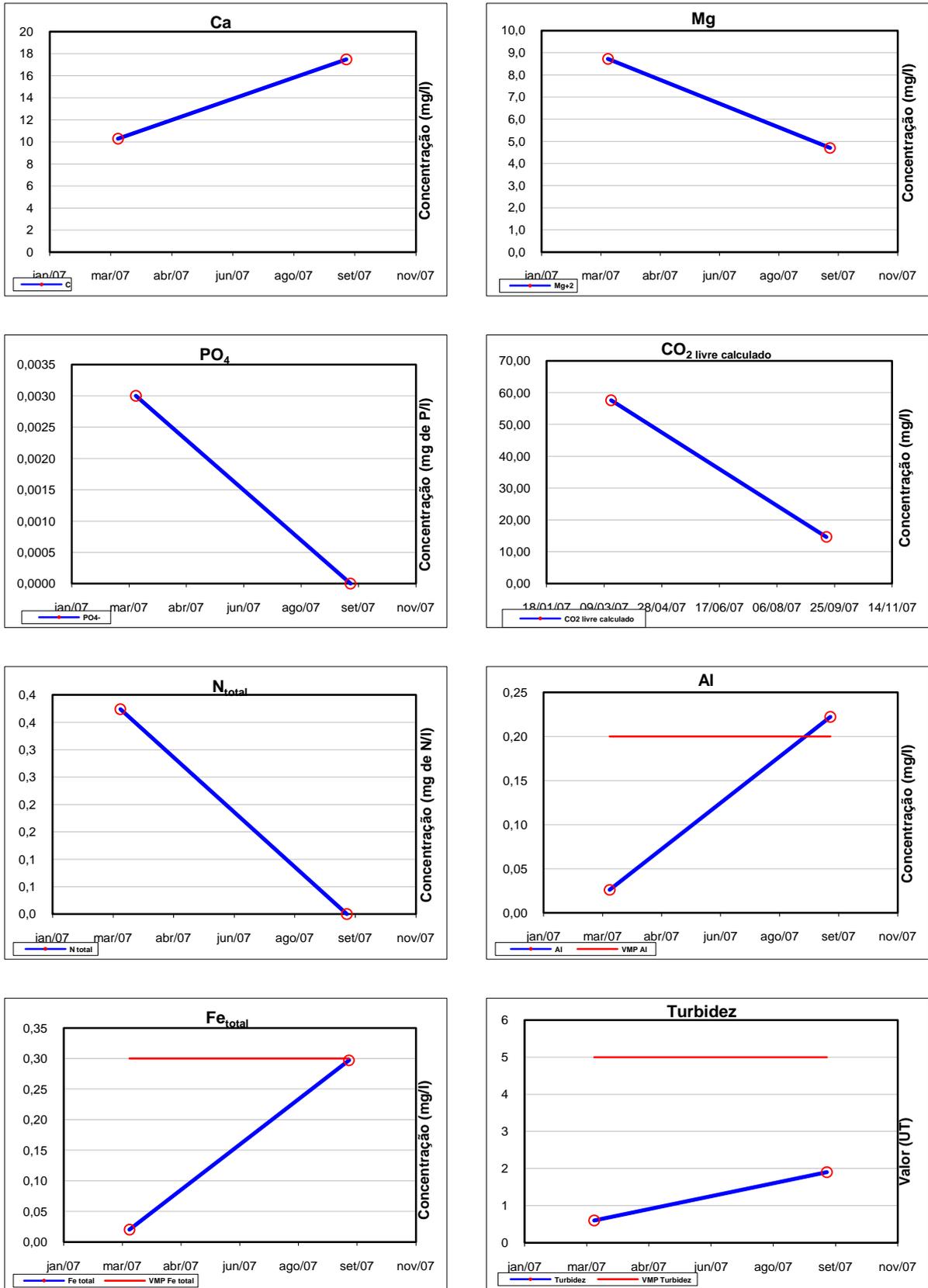


Figura 6.14: Valores de parâmetros selecionados do poço OV-03 ao longo do tempo de amostragem. VMP: valor máximo permitido pela Portaria 518/2004, adotado como referência pela CAESB.

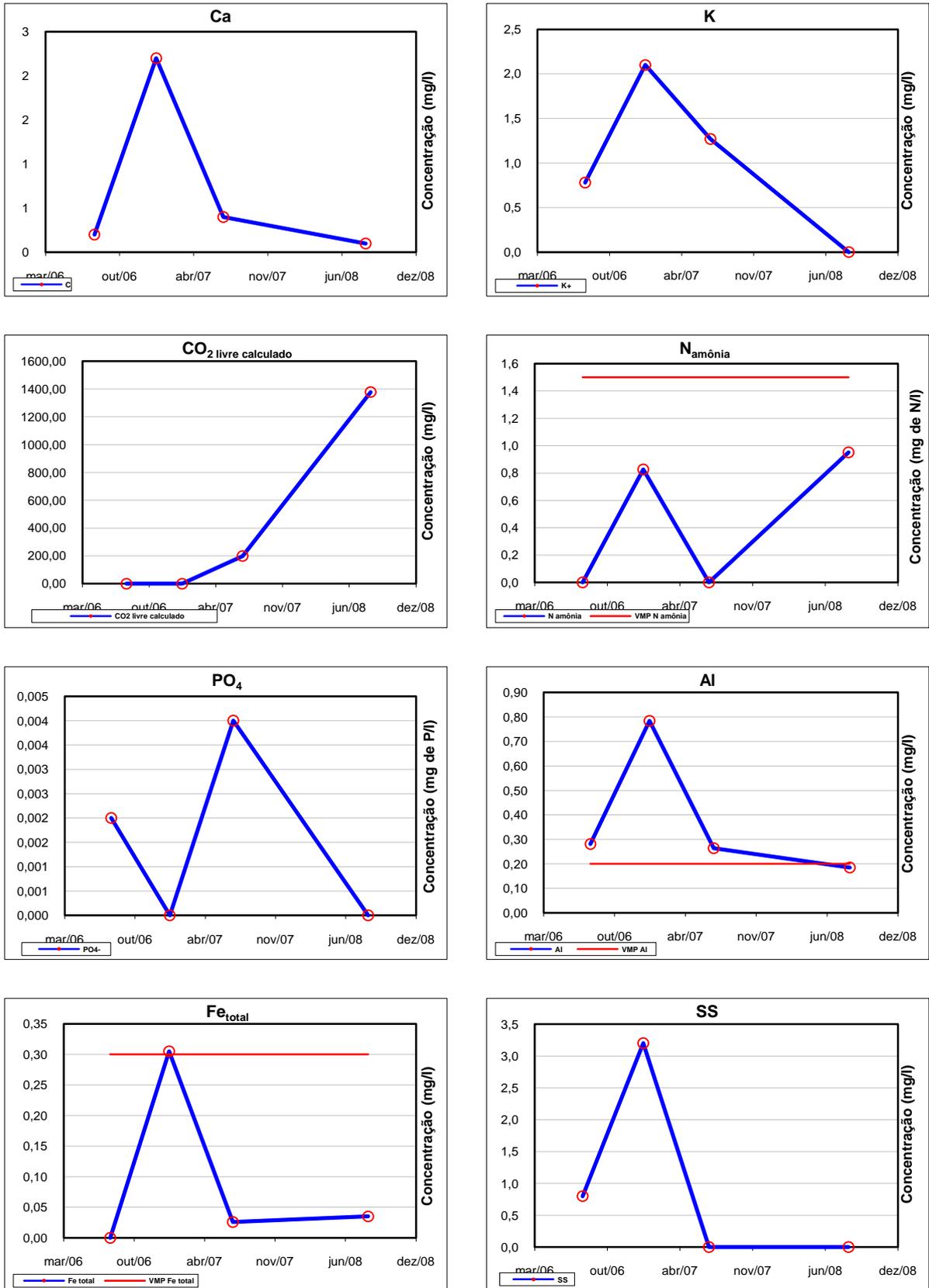


Figura 6.15: Valores de parâmetros selecionados do poço SD-05 ao longo do tempo de amostragem. VMP: valor máximo permitido pela Portaria 518/2004, adotado como referência pela CAESB.

parâmetros selecionados para o poço SB-02 com destaque para compostos nitrogenados, sódio e magnésio.

Assim como as águas do poço SD-05, as águas do poço VM-02 apresentaram variação sazonal e anual de qualidade. No período de seca de 2006, o poço esteve no Grupo 4 (influência agrícola fraca). Em 2007 continuou no Grupo 4 (influência agrícola fraca) durante o período da chuva e depois migrou para o Grupo 3 (influência mínima ou nula) no período da seca. Durante o período de seca de 2007, em relação ao ano de 2006, houve diminuição de condutividade elétrica, ferro total, cálcio, magnésio, sódio e sulfato. No período de seca de 2008, o poço voltou ao Grupo 4 (influência agrícola fraca), com aumento, mesmo em relação à seca de 2006, de condutividade elétrica, alumínio, sódio, potássio, cloreto e compostos nitrogenados, e diminuição de cálcio magnésio e ferro total. A oscilação indica aportes diversos de compostos externos ou estratificação da pluma de alteração da qualidade da água. A Figura 6.17 mostra esta oscilação nos valores de parâmetros selecionados para este poço, com destaque para cálcio, potássio, magnésio e nitrato.

Por sua vez, as águas dos poços SB-03, SB-04, SB-05, VM-03, VM-04, MS-01, MS-04, MS-05, CP-01 e CP-02 permaneceram no grupo 3 (influência mínima ou nula), e foram isentas de variações sazonais e anuais de qualidade.

Tabela 6.4: Histórico da classificação pela análise de grupos dos poços dos poços em operação em 2009. Destaque em vermelho para os poços cujas águas apresentaram variações sazonais e/ou anuais.

	Histórico				2009
	2006	2007 chuva	2007 seca	2008	
SB-02	3		3	4	4
SB-03	3	3	3	3	3
SB-04	3	3	3	3	3
SB-05	3	3	3	3	3
VM-02	4	4	3	2	4
VM-03	3	3	3	3	3
VM-04	3	3	3	3	3
MS-01	3	3	3	3	3
MS-02			3	3	2
MS-04	3	3	3	3	3
MS-05	3	3	3	3	3
CP-01	3	3	3	3	3
CP-02	3	3	3	3	3

Tabela 6.5: Resumo dos dados fornecidos pela CAESB para os poços em operação em 2009.

	pH	Turb	SS	Cond	SDT	Alca	CO ₂ LC	DQO	Dur	Fe	Al	Mn	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	N	NH ₃	NO ₃	PO ₄
SB-02	4,6	0,4	0,0	55,6	37,9	1,5	76,1	0,4	2,0	0,036	0,090	0,0105	0,4	0,3	6,68	0,5	1,5	0,5	3,5	3,653	0,01	3,355	0,001
SB-03	4,7	0,4	0,0	13,7	9,3	2,9	116,9	0,6	0,0	0,019	0,077	0,0105	0,0	0,0	0,5	0,5	2,9	0,5	0,8	0,574	0,01	0,248	0,001
SB-04	4,7	5,5	0,6	14,3	10,0	1,9	76,6	0,7	1,7	1,113	0,088	0,0105	0,0	0,4	0,5	0,5	1,9	0,5	1,1	0,898	0,01	0,144	0,001
SB-05	4,9	0,5	0,0	11,9	8,1	1,9	48,3	0,1	0,0	0,011	0,080	0,0105	0,0	0,0	0,5	0,5	1,9	0,5	0,6	0,412	0,01	0,139	0,001
VM-02	4,6	0,5	0,0	76,8	52,3	0,8	40,6	0,8	6,5	0,016	0,216	0,0105	1,3	0,8	7,10	1,26	0,8	0,5	3,9	5,272	0,01	4,679	0,001
VM-03	5,0	0,5	0,0	23,5	16,1	1,4	28,3	0,9	1,4	0,015	0,143	0,0105	0,2	0,2	1,80	0,5	1,4	0,5	1,4	1,296	0,01	1,078	0,001
VM-04	5,0	0,5	0,0	15,8	10,8	1,7	34,3	0,2	0,0	0,011	0,057	0,0105	0,0	0,0	1,52	0,5	1,7	0,5	0,9	0,883	0,01	0,796	0,001
MS-01	4,7	0,3	0,0	9,6	6,5	3,6	145,1	0,5	0,0	0,018	0,056	0,0105	0,0	0,0	0,5	0,5	3,6	0,5	0,6	0,250	0,01	0,106	0,008
MS-02	4,7	0,5	0,0	13,7	9,3	9,1	362,7	0,8	0,8	0,003	0,061	0,0105	0,0	0,2	0,5	0,5	9,1	0,5	0,8	0,739	0,01	0,173	0,006
MS-04	5,0	0,2	0,0	11,6	7,9	2,3	46,5	2,1	1,1	0,003	0,053	0,0105	0,0	0,3	0,5	0,5	2,3	0,5	0,6	0,134	0,01	0,047	0,001
MS-05	5,2	0,7	0,0	9,3	6,3	3,2	40,8	0,9	2,2	0,030	0,038	0,0105	0,0	0,6	0,5	0,5	3,2	0,5	0,4	0,186	0,039	0,106	0,004
CP-01	5,4	0,3	0,0	6,9	4,7	2,5	20,1	1,1	0,0	0,020	0,082	0,0105	0,0	0,0	0,5	0,5	2,5	0,5	0,7	0,134	0,01	0,090	0,001
CP-02	5,4	2,3	0,0	7,0	4,7	3,2	25,7	1,1	1,3	0,415	0,101	0,0105	0,3	0,1	0,5	0,5	3,2	0,5	1,1	0,050	0,01	0,005	0,001

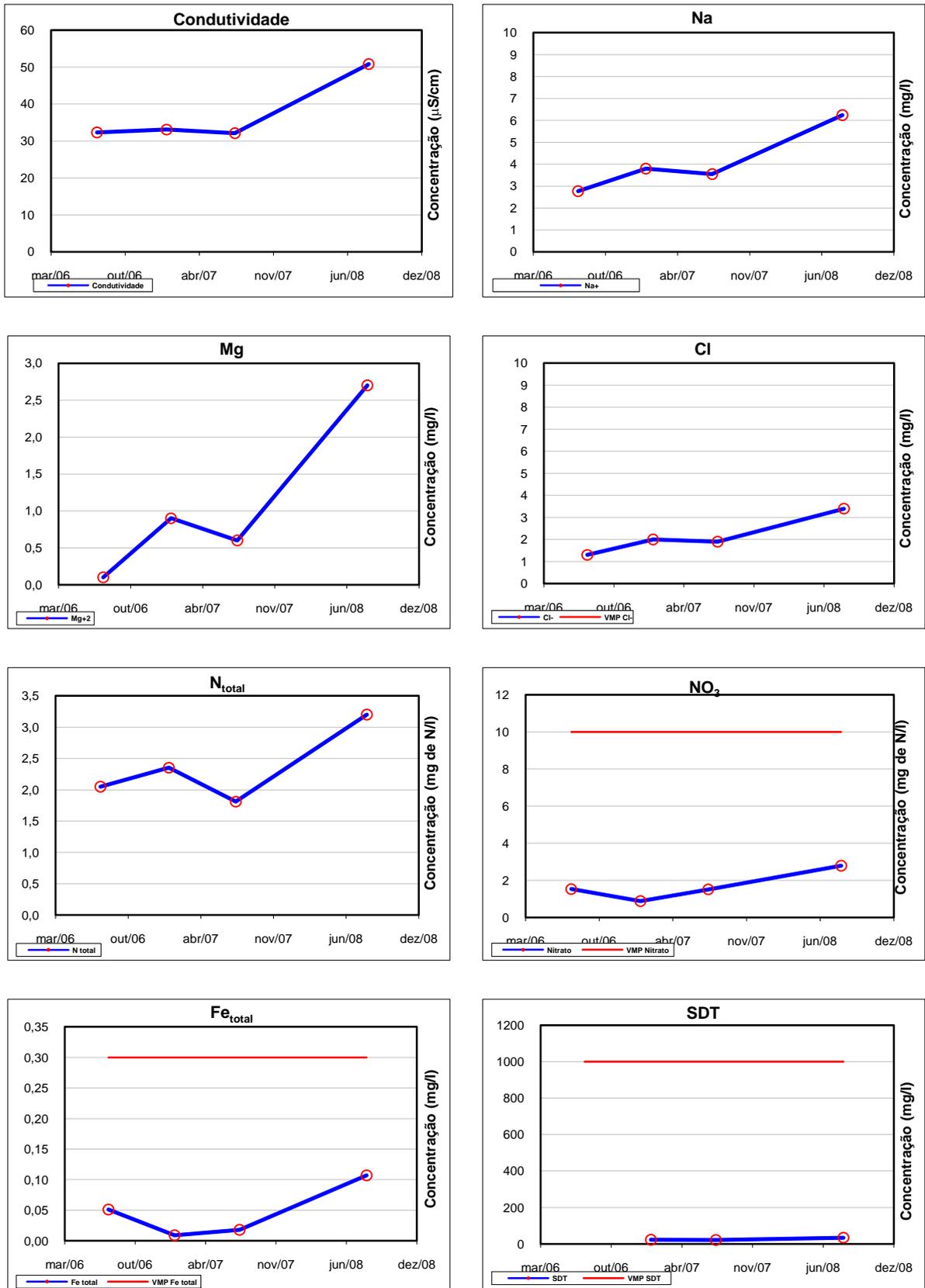


Figura 6.16: Valores de parâmetros selecionados do poço SB-02 ao longo do tempo de amostragem. VMP: valor máximo permitido pela Portaria 518/2004, adotado como referencia pela CAESB.

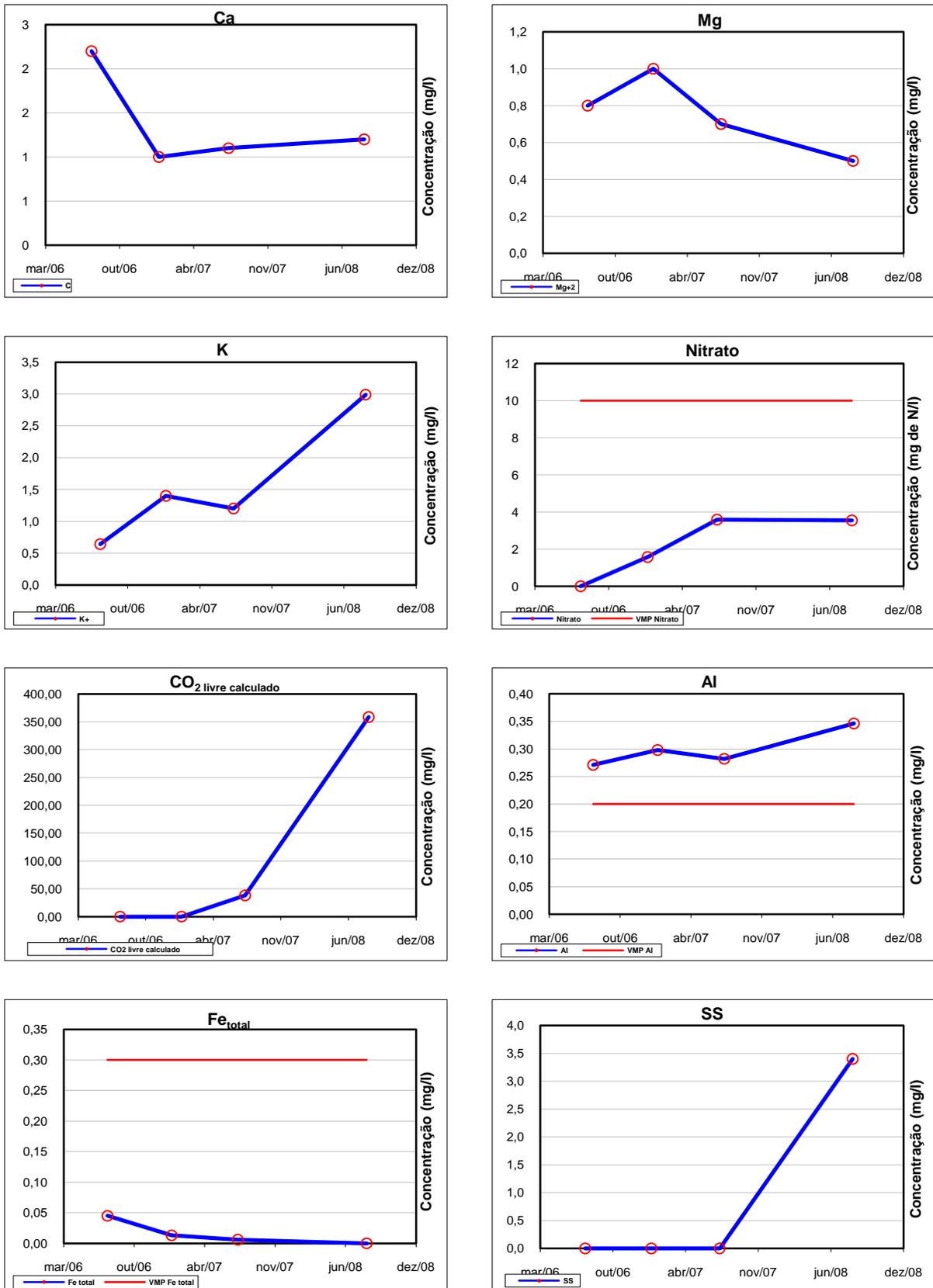


Figura 6.17: Valores de parâmetros selecionados do poço VM-02 ao longo do tempo de amostragem. VMP: valor máximo permitido pela Portaria 518/2004, adotado como referência pela CAESB.

Entretanto, a vídeo inspeção realizada pela empresa *Fluxor – Poços Artesianos Ltda* do poço VM-03, em 2006, a pedido da CAESB, mostra o final do revestimento e intensa infiltração de águas sub-superficiais em toda a circunferência do poço na zona vadosa, a 3,80 metros de profundidade, enquanto o nível freático estava a 5,00 metros (Fig. 6.18). Esta imperfeição construtiva ajuda a explicar o fato das águas do poço apresentarem altos valores de condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, sódio, cloreto e compostos nitrogenados, mesmo estando no grupo 3 (influência mínima ou nula).

Quanto aos poços CP-01 e CP-02, ambos pertencem ao subsistema **Q₃/R₃** e possuem águas com características físico-químicas semelhantes. Entretanto, em 2009, o poço CP-02 possuía valores maiores de turbidez, ferro total e bicarbonatos que o poço CP-01 e valor de cálcio maior que o valor de magnésio contrariando o background do subsistema.

Em relação aos poços MS-01, SB-03, SB-04, SB-05, VM-04, MS-04 e MS-05, todos pertencem ao subsistema **R₄**.

As vídeo inspeções do poço MS-01, realizadas pela mesma empresa mostram que, em 2006, o poço possuía emendas normais e oxidação generalizada no revestimento. Já em 2009, as análises físico-químicas mostraram resultados compatíveis aos de background do subsistema **R₄**, entretanto com alto valor de dióxido de carbono livre calculado, o que pode indicar atividade bacteriana, associada à alta disponibilidade de ferro. Naquele mesmo ano, as águas do poço SB-04 apresentaram altos valores de turbidez, sólidos suspensos, ferro total e condutividade elétrica enquanto as águas do poço VM-04 apresentaram altos valores de condutividade elétrica e sódio.

Embora as águas dos poços MS-01 e SB-03 tenham altos valores de dióxido de carbono livre calculado e as águas do poço MS-04 tenham demanda química de oxigênio mediana, essas águas, junto com as águas dos poços SB-05 e MS-05 são as que melhor representam as características do background do subsistema ao qual pertencem. Já as águas dos poços VM-03, MS-02, SB-02 e VM-02, embora respeitem os Valores Máximos Permitidos na legislação brasileira acerca da qualidade da água para consumo humano (Capítulo 4) não devem continuar sendo utilizadas para o abastecimento local, pois estão alteradas físico-quimicamente em relação aos valores de background.

Os poços MS-01, MS-04, CP-02, SB-03 e VM-04 precisam ser reavaliados para possíveis tomadas de decisão, com repetição das amostragens e análises dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos de qualidade da água, e se necessário, vídeo-inspeções para análise do perfil construtivo e identificação de possíveis imperfeições.

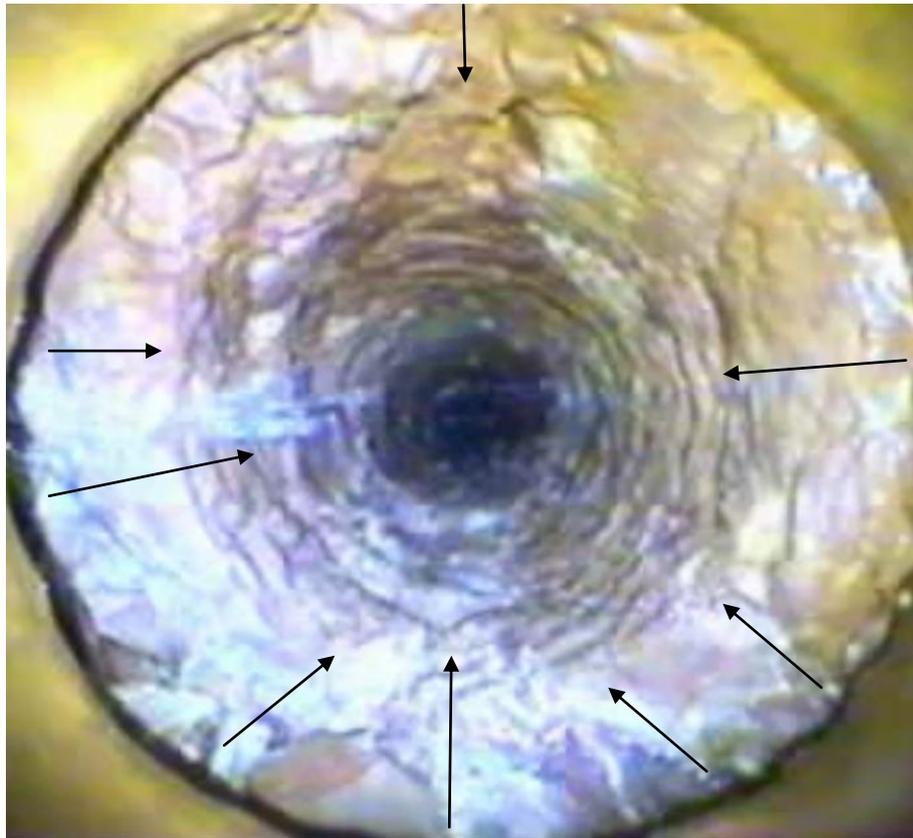


Figura 6.18: Final do revestimento do poço VM-03 e infiltração de águas sub-superficiais em toda a circunferência a 3,80 metros. Imagem extraída da vídeo inspeção encomendada pela CAESB.

E, de fato, somente as águas dos poços CP-01, SB-05 e MS-05 estão físico-quimicamente inalteradas em relação aos valores de background, e por isso, somente estas águas poderiam estar sendo utilizadas para o abastecimento humano, embora o ideal para a região não seja o abastecimento por poços tubulares profundos, visto a existência do saneamento *in situ* já instalado.

Capítulo VII

Proposta de Gestão para os Aquíferos Locais

7.1 - Sistemas de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário

Muito se comenta sobre a incompatibilidade do uso de poços e de fossas numa mesma região. Entretanto, o erro persiste e o descaso de cunho político e social das autoridades prevalece sobre a qualidade de vida da população.

Na área de estudos, os tipos litológicos e as coberturas pedológicas com condutividade hidráulica acima da média na zona vadoza inviabilizam completamente a adoção do esgotamento sanitário individual e conferem um alto risco de contaminação ao manancial hídrico subterrâneo.

Uma vez que as fossas já foram implantadas no setor habitacional, o abastecimento de água da região, completamente subterrâneo, deve ser modificado. Por mais que os poços tenham seus defeitos construtivos reparados, ou por mais que as fossas sejam concretadas, o aquífero está comprometido e o foco de contaminação está instalado. Uma única fossa negra,

ou séptica associada a drenos e sumidouros, pode ser o foco de contaminação de um aquífero inteiro durante décadas, mesmo que já esteja desativada (Campos, comunicação verbal). Desta forma, tanto as opções de abastecimento de água como de esgotamento sanitário devem ser revistos.

A utilização de mananciais superficiais locais não é indicada, em função das baixas vazões e do elevado risco de variação das características físico-químico-bacteriológicas das águas ao longo do ano. Para aproveitar as águas do rio São Bartolomeu seria necessária a implantação de um sistema de abastecimento completo, além da superação dos obstáculos naturais, como as longas distâncias e os grandes desníveis geométricos desenhados pelo vale do rio. Essa alternativa apresenta custos muito elevados.

Economicamente mais viáveis e cientificamente mais corretas seriam as interligações dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário dos condomínios da região aos sistemas operacionados pela CAESB.

O sistema de abastecimento de água da CAESB mais próximo da área de estudos é o Cabeça do Veado, a cerca de 1 km do limite da poligonal do setor habitacional. O Ribeirão Cabeça do Veado abastece o Lago Sul, possuindo quatro captações, uma estação de tratamento de água, um reservatório de 4.500 m³ e uma rede de distribuição que atende as áreas do Lago Sul e do Setor de Mansões Dom Bosco. Mas atualmente, esse sistema possui oferta de água insuficiente, exigindo complementação do sistema Santa Maria/Torto que, por sua vez, recebe auxílio do sistema Descoberto (Felizola, 2009).

Outro sistema operado e mantido pela CAESB próximo à área de estudos é o que é responsável pelo abastecimento da cidade de São Sebastião e de aproximadamente 2,2% das áreas regularizadas e parcelamentos em fase de regularização no Distrito Federal. O abastecimento de água é feito por poços tubulares profundos, distribuídos ao longo da cidade. Toda a água produzida pelos poços é desinfetada por cloração e introduzida na rede de distribuição. Entretanto o sistema possui alguns problemas de abastecimento, como pressões baixas e insuficiência de água em alguns setores, principalmente, no período de seca. Como solução, a CAESB prevê a ampliação do sistema, com a implantação de mais 2 reservatórios, 2 elevatórias de água tratada e linhas adutoras que conduzirão as águas captadas dos poços até os centros de reservação, onde receberão tratamento em suas entradas (Felizola, 2009).

Outras opções muito viáveis seriam as implantações dos sistemas Taquara e Bananal.

O Taquara está em fase de estudo de concepção pela CAESB, e tem por objetivo atender a região do Aeroporto e a parte oeste do Lago Sul, com possibilidade de destinação de uma parcela da vazão para o Setor Habitacional Jardim Botânico. Estão previstas a construção de barragem de nível, a implantação de adutora de água bruta, a construção da estação de tratamento de água, a execução de reservatórios, e a implantação da rede de distribuição. Entretanto, deve-se ressaltar que a implantação plena do sistema Taquara não será inferior a três anos, a contar de 2009 (Felizola, 2009).

O Bananal também vem sendo estudado pela CAESB e é objetivado para reforçar o abastecimento do Plano Piloto, com uma captação na saída do Parque Nacional de Brasília (Felizola, 2009).

O aproveitamento destes 2 novos mananciais adicionaria ao sistema de Brasília e adjacências uma vazão de cerca de 650 L/s. Ao se considerar um consumo per capita de 300 L/hab por dia, esta vazão seria suficiente para abastecer aproximadamente 156.000 habitantes (Felizola, 2009).

Outra alternativa de manancial possível de ser implementado para atender a população da bacia hidrográfica do Lago Paranoá e parte da bacia hidrográfica do Rio São Bartolomeu seria a captação no próprio Lago Paranoá, junto à barragem. A água nessa área do reservatório, segundo resultados de análises efetuadas pela CAESB, tem apresentado bons níveis de qualidade e é perfeitamente potabilizável mediante tratamento convencional. Entretanto, o consumo da água do Lago ainda é um tabu para a sociedade.

Quanto ao esgotamento sanitário, o sistema da CAESB mais próximo é o que está sendo implantado no Lago Sul. Todavia, para a adoção dessa alternativa existiria a necessidade da transposição dos esgotos para a bacia hidrográfica do Lago Paranoá, o que geraria diversos inconvenientes como a dependência permanente de energia elétrica e de sistemas eletromecânicos, o lançamento de esgotos a montante do próprio rio São Bartolomeu, no lago Paranoá, e a sobrecarga da Estação de Tratamento de Esgotos Sul (Felizola, 2009).

Outro sistema de esgotamento sanitário existente, operado e mantido pela CAESB nas proximidades da área de estudos, é o de São Sebastião, constituído de redes coletoras, interceptores, estação elevatória, linha de recalque, estação de tratamento de esgotos e emissário final até o Ribeirão Papuda. Este sistema foi projetado para atender a população urbana da cidade de São Sebastião, equivalente a cerca de 75 mil habitantes. De acordo com a CAESB, em 1999 a estação de tratamento de esgotos atendia a menos da metade da população prevista pelo projeto. Entretanto, mesmo com disponibilidade operacional de 52% de sua capacidade, a interligação ao sistema de São Sebastião seria pouco favorável devido às condições topográficas inadequadas e à distância dos interceptores implantados (Felizola, 2009).

Outra opção seria a construção do sistema de esgotamento sanitário conjunto aos setores habitacionais Jardim Botânico, São Bartolomeu e Dom Bosco, como citado no EIA/RIMA do Setor Habitacional Jardim Botânico. Com a execução deste sistema, a CAESB contemplaria a implantação de um sistema coletor de esgotos, interceptores, emissário, estação de tratamento com capacidade para depurar os efluentes em nível adequado e emissário final no Ribeirão Taboca. Contudo, o desenvolvimento do projeto, a viabilização dos recursos financeiros e a execução das obras implicam num grande período de espera para a população local.

Talvez, em virtude desta demora e pela situação desfavorável ao uso contínuo do esgotamento sanitário individual, a alternativa imediata seria a implantação de sistemas coletivos independentes de coleta e tratamento dos esgotos, com níveis de depuração secundários, condições de adoção de um complemento em nível terciário e um emissário final, conduzindo os efluentes até as drenagens mais próximas (Felizola, 2009).

A estação de tratamento de esgotos poderia utilizar lodos ativados, reatores anaeróbio de fluxo ascendente, lagoas de estabilização ou outro processo que forneça um nível de depuração secundário, com possível alcance para terciário. A escolha pelo processo de lodos ativados possui a vantagem de ser um método bem conhecido no mercado e exigir pequena área para a sua implantação e operação e as suas desvantagens estariam no consumo de energia elétrica e nos procedimentos para disposição do lodo produzido, além dos elevados custos de implantação e operação (Felizola, 2009).

O método de depuração por lagoas de estabilização possuiria a vantagem da exigência de poucos serviços de manutenção e operação e da oferta de boa qualidade de efluentes, exigindo, entretanto grandes áreas para a sua implantação, o que a tornaria desfavorável (Felizola, 2009).

Todavia, não se pode deixar de comentar que o fenômeno de eutrofização deve ser evitado a todo custo, pois elevaria a carga de nutrientes na água, com conseqüente favorecimento ao crescimento de algas e, por conseqüente, de outros organismos vivos, o que implicaria em conseqüências diretas sobre o meio ambiente.

7.2 - Sistemas de Drenagem Pluvial e Recarga Artificial do Aquífero

O escoamento das águas pluviais corresponde ao excedente do volume de precipitação depois de eliminadas as perdas por evaporação direta, interceptação, infiltração e armazenamento natural ou artificial.

A ocupação urbana da área de estudos trouxe a impermeabilização parcial da superfície, com a retirada da cobertura vegetal e o recobrimento do solo por residências, calçadas e pavimentos diversos. Com isso o volume que naturalmente infiltraria na porção superior do solo foi reduzido sensivelmente. Logo estima-se que houve um aumento de 10 a 15% de escoamento superficial em conseqüência da urbanização (Felizola, 2009).

Qualquer tipo de ocupação urbana desenvolvida sem a adoção de medidas adequadas de contenção de fluxo superficial conta com o risco iminente de erosões, seja na área habitada ou nas cabeceiras das drenagens que recebem as águas superficiais. O aumento do fluxo superficial pode iniciar um processo erosivo no fundo e nas margens do córrego receptor da descarga; com isso o leito natural sofreria a pressão de enchentes esporádicas que também causariam impactos sobre a flora e fauna locais. Este impacto seria mais significativo na porção oeste da área de estudos, nas áreas com maior declividade natural, onde a energia potencial é elevada.

Deve-se considerar ainda que o córrego receptor das águas pluviais e dos efluentes domésticos, mesmo que tratados, passaria por uma mudança de qualidade de suas águas. Uma

vez adotados os sistemas independente de coleta e tratamento de esgotos e de drenagem pluvial este impacto não poderia ser evitado, sendo necessárias medidas de manejo adequado para a mitigação de seus efeitos. Dentre os parâmetros químicos e biológicos que poderiam ser afetados destacam-se os coliformes fecais e totais, possíveis vírus e bactérias, aumento da demanda bioquímica do oxigênio, aumento de fosfatos, nitratos, nitritos, mudança brusca no potencial hidrogeniônico e desaparecimento de organismos como pequenos peixes, algas e fauna bentônica.

O ideal seria a implantação de um sistema de drenagem pluvial com sarjetas, canaletas, bocas de lobo, galerias, poços de visitas e bacias de dissipação nos pontos finais das galerias, como indicado pela NOVACAP.

Além disso, para o tipo de solo encontrado na área de estudos, os dispositivos de recarga artificial de aquíferos fraturados são fortemente sugeridos (Felizola, 2009) e sua correta implementação diminuiria o escoamento superficial e diluiria a concentração dos contaminantes nas águas subterrâneas.

Para recarregar os aquíferos do Distrito Federal Cadamuro (2002) propôs a utilização de caixas ou sumidouros cilíndricos, preenchidos por cascalho lavado ou brita, com paredes de concreto, sem furos nos primeiros metros, evitando-se possíveis problemas com fundações, e perfurados em profundidade, para favorecer a infiltração lateral. Estas caixas ou sumidouros devem ser ligadas diretamente às calhas dos telhados das residências, para evitar o aporte de partículas sólidas, o que pode reduzir sensivelmente a capacidade de infiltração.

Outra forma de aproveitamento inteligente e responsável das águas pluviais seria a captação destas em poços escavados para reutilização doméstica. As águas das chuvas podem ser utilizadas para irrigação, lavagem de calçamentos e veículos, promovendo uma grande economia dos recursos hídricos e financeiros e ao mesmo tempo a recarga do aquífero e a minimização dos danos causados pelo escoamento superficial.

Também seria interessante se as áreas pavimentadas destinadas a estacionamentos fossem, sempre que possível, descontínuas, e que os calçamentos fossem pavimentados com blokets, pisos intertravados ou similares de forma a aumentar a permeabilidade do solo. Pisos do tipo asfalto devem ser evitados devido ao seu grande potencial impermeabilizador.

Sugere-se ainda que sejam respeitadas as áreas verdes de cada condomínio e que sejam criados parques coletivos gramados, de grandes extensões, para o favorecimento da infiltração natural das águas das chuvas.

7.3 - Monitoramento da Qualidade da Água e Análise dos Níveis Estático e Dinâmico dos Aquíferos

Em 2007 havia 30 poços tubulares profundos em operação na área de estudos. Em 2008 as análises de qualidade de água feitas pela CAESB dos 24 poços que permaneceram em operação mostraram uma série de anomalias em relação aos valores de background da região, e denunciaram o consumo de água imprópria para abastecimento humano. Em 2009, após a intervenção da CAESB, restaram apenas 13 poços para o fornecimento de água no setor habitacional.

Destes 13 poços este trabalho considera que 4 (SB-02, VM-02, MS-2 e VM-3) apresentam águas alteradas físico-quimicamente por ações antrópicas em relação aos valores de background, embora atendam aos Valores Máximos Permitidos pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, 6 (MS-01, MS-04, CP-02, SB-03, SB-4 e VM-4) devem ser melhor estudados para tomadas de decisões e que apenas 3 (CP-01, MS-05 e SB-05) possuem águas físico-quimicamente inalteradas em relação aos valores de background.

Se for tomada a decisão de continuar usando este 3 últimos poços como fonte de água para abastecimento humano, eles devem ser rigorosamente avaliados semestralmente, visto a possibilidade de interceptação de plumas de contaminação a qualquer momento, dada a instalação pretérita dos potenciais focos contaminantes e a anisotropia e a heterogeneidade do aquífero fraturado.

Sugere-se ainda, que os poços que contenham águas alteradas físico-quimicamente, embora devam ser desativados pela CAESB, não sejam concretados, o que possibilitaria o monitoramento do uso e recuperação do aquífero, com amostragens a cada 6 meses, avaliações da evolução dos níveis dinâmicos e estáticos do aquífero e análises dos parâmetros físico-químicos e biológicos de qualidade da água.

Capítulo VIII

Conclusões

8.1 - Quanto à Qualidade das Águas

A análise **estatística descritiva** das amostras da área de estudos e a comparação com os valores de background da região (Arraes *et al.*, 2006) revela que as águas dos 3 subsistemas aquíferos ocorrentes na área de estudos (**Q₃/R₃**, **R₄** e **F**) estão alteradas físico-quimicamente.

Nos 3 subsistemas ocorrem anomalias de sódio e cloreto. A média da condutividade elétrica das amostras do subsistema **Q₃/R₃** está acima do background, condicionada principalmente pela ocorrência das anomalias de cálcio, magnésio, sódio, cloreto e bicarbonato. E, nos subsistemas **R₄** e **F** se destacam além das anomalias de sódio e cloreto, as anomalias de manganês, sulfato e fosfato.

A **comparação** dos valores de background (Arraes *et al.*, 2006) com os parâmetros inorgânicos para avaliação da qualidade da água subterrânea no Distrito Federal (Boaventura e Freitas, 2006) mostrou que o valor de alerta de condutividade elétrica de 13

$\mu\text{S}/\text{cm}$ não deve ser aplicável de maneira geral para todo o Distrito Federal, que o valor de alerta de 0,45 mg/L para o sódio é eficaz para os 3 subsistemas aquíferos ocorrentes na área de estudos e, que o valor de alerta de 2 mg/L de cloreto, uma vez ultrapassado por todas as amostras de background, poderia ser ajustado para 3 mg/L de cloreto.

A forte **correlação** entre compostos nitrogenados, condutividade elétrica, cloreto e sódio em amostras da área de estudos sugere influencia de águas residuais urbanas sobre a qualidade das águas dos poços estudados enquanto a ocorrência de correlação dos mesmos compostos nitrogenados com condutividade elétrica, potássio e cloreto em amostras da área de estudos indica influencia de insumos agrícolas.

Já a forte correlação entre turbidez, sólidos em suspensão e ferro total indica deficiências nos perfis construtivos dos poços, com entrada de material terrígeno, rico em óxidos e hidróxidos de ferro. Os particulados entram nos poços devido à má isolamento da zona vadosa ou em profundidade devido ao mau planejamento dos filtros e à sobreexploração de água.

A análise de **principais componentes** permitiu a identificação de 3 grupos com assinaturas geoquímicas diferentes.

O primeiro grupo envolve as principais componentes 1, 4 e 5, explica 37,1% da variância dos dados e possui contribuição de efluentes domésticos e compostos agrícolas com entrada de fosfato, compostos nitrogenados, sódio, potássio e cloreto e consequente aumento da condutividade elétrica. O segundo grupo representa a principal componente 2, explica 23,4% da variância dos dados e possui contribuição da dissolução de rochas carbonáticas, com elevados pesos de alcalinidade, dureza, cálcio, magnésio e bicarbonato. O terceiro grupo equivale à principal componente 3, explica 12,4% da variância total dos dados, com elevados pesos de turbidez, sólidos em suspensão e ferro total e reúne os poços mal construídos ou com sobreexploração de água, confirmando o resultado da correlação bivariável.

A **análise de grupos** permitiu a classificação das 120 amostras coletadas nos poços da área de estudos em 5 grupos com influências distintas.

No grupo 1 (influência agrícola forte) ocorreram 13 amostras que foram agrupadas por possuírem em média os maiores valores de condutividade elétrica, sódio, alumínio, cálcio, cloreto, sulfato, magnésio, manganês, nitrato e nitrogênio total. No grupo 4 (influência agrícola fraca) ocorreram 4 amostras com, em média, os maiores valores de fósforo e altos valores de condutividade elétrica, sódio, cloreto, potássio, nitrato e nitrogênio total.

No grupo 2 (ocupação urbana) ocorreram 5 amostras com, em média, os maiores valores de potássio, altos valores de dióxido de carbono livre, cloreto, sódio, fósforo, nitrato e nitrogênio total. No grupo 5 (ocupação urbana com contaminação recente) ocorreram 2 amostras com, em média, os maiores valores de amônia e dióxido de carbono livre, altos valores de nitrato, nitrogênio total, sódio, cloreto, sulfato e condutividade elétrica.

No grupo 3 (influência mínima ou nula) ocorreram 64 amostras agrupadas por possuírem em média os menores valores de condutividade elétrica, alcalinidade, sódio, alumínio, cálcio, potássio, cloreto, sulfato, fósforo, nitrato, nitrogênio total e amônia. As águas destes poços são as mais preservadas da área de estudos, entretanto, nem todas possuem qualidade para o abastecimento humano.

Dos 34 poços, 22 não apresentaram **variações sazonais ou anuais** na qualidade de suas águas. 11 apresentaram variações anuais e 3 apresentaram variações sazonais, o que não seria esperado para poços bem construídos, no domínio fraturado.

As análises das **vídeo inspeções** realizadas pela empresa *Fluxor – Poços Artesianos Ltda*, a pedido da CAESB, mostraram defeitos construtivos em 3 poços, sendo que 2 deles foram desativados em 2008, e 1, com infiltração de águas sub-superficiais, continuou em operação durante o ano de 2009.

Dos 13 poços que continuaram em **operação em 2009**, este trabalho considera que 4, embora respeitem os Valores Máximos Permitidos pela legislação brasileira, apresentam águas alteradas físico-quimicamente por ações antrópicas em relação aos valores de background da região, 6 devem ser melhor estudados, com repetição das amostragens, análises dos parâmetros físico-químicos e contratação de vídeo inspeções para tomadas de decisões, e que apenas 3 possuem águas correspondentes aos valores de background da região. De fato, somente as águas desses 3 últimos poços deveriam estar sendo utilizadas para

o abastecimento da população local, uma vez que a ingestão de águas alteradas provoca inúmeros males e em alguns casos até mesmo a morte, a depender do elemento de alteração e de sua concentração (Anexo H).

8.2 - Quanto às Recomendações

Sugere-se que as avaliações de qualidade de água para consumo humano respeitem a **legislação brasileira** sem, contudo deixar de considerar as características locais dos sistemas e subsistemas aquíferos avaliados, condicionadas principalmente pela geologia, pedologia e uso e ocupação dos solos, e que sempre que possível, sejam tomados como referência os valores disponíveis de **background** para águas não alteradas físico-quimicamente dos mesmos sistemas ou subsistemas aquíferos avaliados.

Recomenda-se que os sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário sejam revistos devido à incompatibilidade do saneamento *in situ* e do uso de água subterrânea em uma mesma região, principalmente associado a solos de muito alta condutividade hidráulica. As **interligações dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário dos condomínios da área de estudos aos sistemas operacionados pela CAESB** são a melhor opção para a região.

Se for tomada a decisão de continuar usando os 3 poços que ainda possuem águas não alteradas físico-quimicamente como fonte para abastecimento humano, eles devem ser avaliados semestralmente, visto a possibilidade de **interceptação de plumas de contaminação** a qualquer momento, dada a instalação pretérita dos potenciais focos contaminantes e a anisotropia e a heterogeneidade do aquífero fraturado.

Caso o bombeamento seja cessado, estudos futuros podem contemplar a **modelagem do fluxo** do aquífero através de **técnicas computacionais** e matemáticas e de **ensaios de traçadores**.

Sugere-se também que os poços que contenham águas alteradas físico-quimicamente embora devam ser desativados pela CAESB, **não sejam concretados**, o que possibilitaria o monitoramento do uso e recuperação do aquífero, com amostragens a cada 6 meses, avaliação

da evolução dos níveis dinâmicos e estáticos do aquífero e análises dos parâmetros físico-químicos e biológicos da qualidade da água da região.

Recomenda-se ainda que seja implantado o sistema de **drenagem pluvial de acordo com o indicado pela NOVACAP** e que sejam incentivadas a instalação de **pavimentos alternativos** com menor potencial impermeabilizador, de **caixas para recarga artificial** do aquífero em todos os lotes e de grandes **áreas verdes coletivas** para a recarga por meio da infiltração natural das águas das chuvas.

Incentivos fiscais e financeiros por parte do governo para a implementação destas medidas seriam importantes engrenagens para a recuperação dos aquíferos locais, fomentando a mobilização social e interesses empresariais.

Capítulo IX

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M. Observações sobre o Pré-Cambriano da região central de Goiás. In: CONGR. BRAS. GEOL. 21. Curitiba, 1967. Programa, resumo das comunicações, roteiro das excursões...Curitiba, **Sociedade Brasileira de Geologia**, p.19-22. 1967.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). **Water quality and treatment: a handbook of community water supplies**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1990.

ANA. **Estudo de Consolidação dos Procedimentos Metodológicos na Elaboração do Relatório de Conjuntura de Recursos Hídricos / Relatório Final – RF / Estruturação da Base de Dados**. Estudos realizados pela empresa TC/BR Tecnologia e Consultoria Brasileira S.A. – Brasília: SPR, 2005. 118p.

ARRAES, T. M. ; MAIA JR., F. J. P. ; COSTA, P. N. ; CAMPOS, J. E. G. **Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas profundas do Distrito Federal**. In: XLIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, ARACAJÚ, 2006. 16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação – Elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2.ed. 2005. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12244**: Construção de Poço tubular para Captação de Água Subterrânea. Rio de Janeiro, 2006. 10p.

AZEVEDO NETTO, J.M.; ALVAREZ, G.A. **Manual de Hidráulica**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1991. 2 v.

BAPTISTA, G.M.M. Caracterização climatológica do Distrito Federal. In: **IEMA/SEMATEC/UnB, Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal**. Brasília.. v.1, p.187-208. 1998.

BARBOSA, O. **Guia das Excursões**. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Araxá, 1955, Not. 3. Soc. Bras. Geol., São Paulo, p.3-5. 1955.

BARROS, J.C.B. Geologia e hidrogeologia do Distrito Federal. In: **GDF/CAESB Inventário hidrogeológico do Distrito Federal**. Brasília DF. p.79-330. 1987.

BARROS, J.C.B. **Características geológicas e hidrogeológicas do Distrito Federal**. In: UnB/SEMATEC Cerrado, caracterização, ocupação e perspectivas - O caso do Distrito Federal, 1994. 657p.

BOAVENTURA, G. R.; FREITAS, A. L. S. Inorganic parameters as water quality indicators in acidic groundwater in a tropical region – Brasilia DF (Brazil). **Water, Air, and Soil Pollution**, p.135-151. 2006.

BOUCHARD, D. C.; WILLIAMS, M. K.; SURAMPALLI, R. Y. Nitrate contamination of round water: sources and potential health effects, **Journal of American Water Works Association**, Denver, v.84, p.85-90, 1992.

BRASIL. Congresso Nacional. Decreto Federal nº 88.940, de 07 de novembro de 1983. Dispõe sobre a criação das áreas de proteção ambiental das bacias dos rios São Bartolomeu e Descoberto, e da outras providências. Disponível em: <https://legislacao.planalto.gov.br/LEGISLA/Legislacao.nsf/fraWeb?OpenFrameSet&Frame=frmWeb2&Src=%2FLEGISLA%2FLegislacao.nsf%2FviwTodos%2F23adda75067413cd032569fa0067f42a%3FOpenDocument%26Highlight%3D1%2C%26AutoFramed> Alterado pela Lei Federal nº 9.262, de 12 de janeiro de 1996. **Diário oficial da União**.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981. Dispõe sobre a criação de Estações Ecológicas, Áreas de Proteção Ambiental e dá outras providências. **Diário oficial da União**, Brasília, 28 de abr de 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6902.htm: Acesso em: 22 de jan. 2010.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei nº 9.262, de 12 de janeiro de 1996. Dispõe sobre a administração da Área de Proteção Ambiental (APA) da Bacia do Rio São Bartolomeu, localizada no Distrito Federal, e dá outras providências. **Diário oficial da União**, Brasília 15 de jan de 1996. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19262.htm > Acesso em: 22 de jan. 2010.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário oficial da União**, Brasília, 19 de jul de 2000. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm > Acesso em: 22 de jan. 2010.

CAESB 1990. Plano Diretor de Água, Esgotos e Controle de Poluição Hídrica do Distrito Federal. Brasília.

CAESB 1998. Sinopse do Sistema de Abastecimento de Água do Distrito Federal. Brasília. 3ª ed.

CAESB 1999. Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal. Brasília.

CADAMURO, A.L.M. 2002. **Proposta, avaliação e aplicabilidade de técnicas de recarga artificial em aquíferos fraturados para condomínios residenciais do Distrito Federal. Brasília.** 126p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

CADAMURO, A.L; et al. 2002. Artificial recharge in fractured rocks – an example from the Federal District of Brazil for the sustainability of the system. *In: Dillon, P, Management of Aquifer Recharge for Sustainability, Proc. of 4th International Symposium on Aquifer Recharge*, Balkema, pp. 523-526.

CÂMARA LEGISLATIVA DO DISTRITO FEDERAL. Contém informações institucionais, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços. Disponível em: <<http://www.cl.df.gov.br/cldf>>. Acesso em: 22 jan. 2010.

CAMARGO, M. N.; KLAMT. E.; KAUFFMANN, J. H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **12** (1): p.11 - 33. 1987.

CAMPOS, J.E.G.; FREITAS-SILVA, F.H. Hidrogeologia do Distrito Federal. In: **Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal**. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte I, 1998.

CAMPOS, J.E.G.; TRÖGER, U. **Groundwater occurrence in hard rocks in Federal District of Brasília – A sustainable supply?** In: Groundwater: Past achievements and future challenges. Sililo. et al. (eds). Rotterdam.Balkema, p.109-113. 2000.

CAMPOS, J. E. G. Hidrologia do Distrito Federal: Subsídios para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. **Revista Brasileira de Geociências** (1), p.41-48. 2004.

CANGUSSU; M.C.T; et al. A fluorose dentária no Brasil: uma revisão crítica. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 18(1): p.7-15, jan-fev, 2002

CHEN, K.; JIAO, J.J.; HUANG, J.; HUANG, R.. Multivariate statistical evaluation of trace elements in groundwater in a coastal area in Shenzhen, China. **Environmental Pollution**, v. 147, Issue 3, p. 771-780. 2007.

CODEPLAN. Atlas do Distrito Federal. Brasília. Secretaria de Educação e Cultura/CODEPLAN. v.1, 1984. 78p.

COIMBRA, A.R.S.R. Balanço hídrico preliminar do Distrito Federal. In: **Inventário hidrogeológico do Distrito Federal. (GDF/CAESB) Brasília DF**, p.50-78. 1987.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Significado ambiental e sanitário das Variáveis de qualidade das águas e dos Sedimentos e metodologias analíticas e De amostragem**. CETESB, São Paulo. 40p. 2008.

CORTECCI, G. Geomedicina: Geologia e Saúde. **Serviço Geológico do Brasil**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 13 jan. 2010.

COSTA, W. D. **Estudo hidrogeológico preliminar das cidades do Gama, Taguatinga, Ceilândia e Sobradinho no Distrito Federal**. Brasília: CONTEGE: CAESB, 1975. 150 p.

DARDENNE, M.A. **Os grupos Paranoá e Bambuí na Faixa Dobrada Brasília**. In: SIMP. SOBRE O CRATON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS. Salvador, 1981.

DAVIS, J. C. **Statistics and data analysis in geology**. 3 ed. New York: J Wiley, 2002. 638p.

DISTRITO FEDERAL (Brasil). Lei nº 54, de 23 de novembro de 1989. Dispõe sobre a regularização ou desconstituição de parcelamentos urbanos implantados no território do Distrito Federal sob a forma de loteamentos ou condomínios de fato. **Diário oficial do Distrito Federal**, Brasília, 24 de nov. 1989. Disponível em:

<<http://www.cl.df.gov.br/Legislacao/consultaTextoLeiParaNormaJuridicaNJUR-4886!buscarTextoLeiParaNormaJuridicaNJUR.action> > . Acesso em: 22 de jan. 2010.

DISTRITO FEDERAL (Brasil) (1995). Câmara Legislativa do DF. CPI da Grilagem – Relatório Final. Brasília, Câmara Legislativa do DF. Câmara Legislativa do Distrito Federal.

DISTRITO FEDERAL (Brasil). Lei nº 1.149 de 11 de julho de 1996. Dispõe sobre o rezoneamento ambiental da Área de Proteção Ambiental da bacia do rio São Bartolomeu. . . **Diário oficial do Distrito Federal**, Brasília, 31 de set. 1996. Disponível em: Disponível em: <<http://www.cl.df.gov.br/Legislacao/consultaTextoLeiParaNormaJuridicaNJUR-4136!buscarTextoLeiParaNormaJuridicaNJUR.action> > . Acesso em: 22 de jan. 2010.

DISTRITO FEDERAL (Brasil). Lei nº 1823, de 13 de janeiro de 1998. Aprova áreas objeto de aplicação da Lei nº 954, de 17 de novembro de 1995, que Dispõe sobre a alienação de lotes de parcelas de terras públicas no território do Distrito Federal e dá outras providências. **Diário oficial do Distrito Federal**, Brasília, 14 de jan. 1998. Disponível em: <<http://www.cl.df.gov.br/Legislacao/consultaTextoLeiParaNormaJuridicaNJUR-2661!buscarTextoLeiParaNormaJuridicaNJUR.action> > . Acesso em: 22 de jan. 2010.

DISTRITO FEDERAL (Brasil). Lei nº 3.345 de 31 de agosto de 2004. Cria a Região Administrativa que especifica e dá outras providências. **Diário oficial do Distrito Federal**, Brasília, 01 de nov. 2004. Disponível em: <<http://www.cl.df.gov.br/Legislacao/consultaTextoLeiParaNormaJuridicaNJUR-730!buscarTextoLeiParaNormaJuridicaNJUR.action> > . Acesso em: 22 de jan. 2010.

DNPM. Departamento de Produção Mineral. Contém informações institucionais, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/>>. Acesso em: 10 jul. 2009.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento; normas em uso pelo SNLCS. **Documentos, 11 EMBRAPA-SNLCS**. Rio de Janeiro, – 1988. 67p.

EMBRAPA. Serviço de Produção de Informação (Brasília, RJ). 1999. Sistema Brasileiro de classificação de solos. **EMBRAPA-EPI**. Brasília, 1999. 412p.

FARIA, A. Geologia do Domo de Cristalina, Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**, 15(3): p.231-240. 1985.

FARIA, A. **O Grupo Paranoá no Distrito Federal**. In: ANAIS 5º SIMPÓSIO DE GEOLOGIA - NÚCLEO MG. 1º SIMP. DE GEOL., NÚCLEO BRASÍLIA. SBG, Bol. nº 10, p.262-265. 1989.

- FARIA, A. **Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança-Alto Paraíso de Goiás. Brasília.** 199p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1995.
- FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. - **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** Fortaleza:CPRM, LABHID - UFPE, 1997
- FELIPPE, J. JR. **Distúrbios Hidroeletrólitos: Na+, K+, Ca++, PO4 e Mg++.** Pronto Socorro: Fisiopatologia – Diagnóstico – Tratamento, Guanabara Koogan, 2. ed. Rio de Janeiro, p.82-97. Cap. 10. 1990
- FELIZOLA, E. (Coord.). **RIAC, Residencial Jardim dos Eucaliptos** – Setor Habitacional Jardim Botânico. BDC Consultoria, Brasília, 2009.
- FILHO, J.M Contaminação das Águas Subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; FIHO, J.M (Coord.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** Fortaleza – CE, CPRM, LABHID-UFPE, 2. ed. Cap. 6, p.109-132. 2000.
- FUCK, R.A. 1994. A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins. In: **Simp. Geol. Centro-Oeste**, 4 , Brasília, 1994. *Anais...*Brasília, SBG, p. 184-187.
- FREITAS-SILVA F. H.; DARDENNE, M. A. Proposta de subdivisão estratigráfica formal para o grupo Canastra no oeste de Minas Gerais e leste de Goiás. In: SIMP. GEOL. CENTRO OESTE, 4. Brasília, 1991. *Anais...*Brasília, **Sociedade Brasileira de Geologia-DF/GO**, p.164-165. 1994.
- FREITAS-SIILVA, F.H.; CAMPOS, J.E.G. Geologia do Parque Nacional de Brasília. **Boletim de Geociências do Centro-Oeste**,Brasília, n. 18, p. 32-43. 1995.
- FREITAS-SILVA. H. F. **Metalogênese do depósito do Morro do Ouro, Paracatu - MG.** 338 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1996.
- FREITAS-SILVA, F.H.; CAMPOS, J.E.G. **Geologia do Distrito Federal.** In: IEMA/SEMATEC/UnB. Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Relatório Técnico, 1, Brasília, p.1-87. 1998.
- FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 17(3):651-660, mai-jun, 2001.

GARDUÑO, H. ARREGUIN-CORTES, F. **Efficient Water Use**. In Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. Coordenado por Fernando A.C. Feitosa e João Manoel Filho. Fortaleza, CPRM/REFO, LABIH-UFPE, 2000. 391p.

GDF. Governo do Distrito Federal, 2009-2010. Contém informações institucionais, normas técnicas, leis, decretos, notícias, projetos, publicações e serviços. Disponível em: <<http://www.gdf.df.gov.br/045/04501001.asp>>, Último acesso em: 06 jan. 2010.

GDF. Administração Regional Jardim Botânico, 2009-2010. Contém informações institucionais, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços. Disponível em: <<http://www.admjardimbotanico.df.gov.br>> , Último acesso em: 04 fev. 2010.

HABERMEHL, M. A. **Ground water in Australia, 18th Intl.** In: CONGRESS OF IAH, p.31-52. 1985.

HARMAN, H. H. **Modern factor Analysis**. 3. ed. Chicago: University of Chicago Press, 1960. 508p.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. CDROM.

IBGE. Contém informações institucionais, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 10 out. 2009.

INMET. Contém informações institucionais, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br> >. Acesso em: 13 jan. 2010.

JOKO, C.T. **Hidrologia da região de São Sebastião – DF**: Implicações para a gestão do sistema de abastecimento de água. 159p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2002.

JORGE, S.G. Hemocromatose Hereditária. **Hepatologia Médica, Ciência e Ética**. Artigo criado em 2003 e revisado em de 12 de dez. de 2006.

KAISER, H. F. 1958. The varimax criteria for analytical rotation in factor analysis: *Psychometrika*, 23: p.187-200. 1958.

KAUFMAN, D. D. Degradation of pesticides by soil microorganisms. In: GUENZI, W. D. (Ed.). **Pesticides in soil and water**. Madison : Soil Science Society of America, p.133-135. 1974.

LIMA, J.E.F.W. Recursos Hídricos no Brasil e no Mundo. Planaltina: **EMBRAPA Cerrados**, 2001. 46p.

LOUSADA, E.O. **Estudos Hidrogeológicos e isotópicos no Distrito Federal: Modelos Conceitos de Fluxo**. 127p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2005.

LOUSADA, E.O.; CAMPOS, J. E. G. Proposta de modelos hidrogeológicos conceituais aplicados aos aquíferos da região do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 407-414, 2005.

MAIO, C. R. Alterações ambientais no Distrito Federal, baseadas na geomorfologia dinâmica. **Rev. Bras. Geogr.** 48(3), p.259-284. 1986.

MALAGUTTI, C. J. **Loteamentos clandestinos no DF: legalização ou exclusão?** 1v, 232p. Dissertação (Mestrado) - Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 1996.

MARTINELLI, J.A. et al. Effects of Sewage on the Chemical Composition of Piracicaba River, Brazil. **Water, air, & Soil Pollution**. 110(1), p.67-79. 2004.

MARTINS, E. S. & BAPTISTA, G.M.M. Geomorfologia do Distrito Federal. In: **Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal**. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte I, 1998.

MATO, A. P. **Determinação de nitratos, nitritos e prováveis fontes de contaminação em águas de poços e sua influência na metemoglobinemia infantil**. 122p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). Universidade Mackenzie. METCALF & EDDY INC. **Wastewater**, São Paulo, 1996.

MCQUEEN, J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In **Proceedings of the fifth Berkeley symposium on Mathematics, Statistics and Probability**, p.281-296. 1967.

MENDONÇA, A. F. **Caracterização da erosão subterrânea nos aquíferos porosos do Distrito Federal**. 154p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1993.

MIRLEAN, N. et al. O impacto industrial na composição química das águas subterrâneas com enfoque de consumo humano (Rio Grande, RS). **Quím. Nova** v. 28 . São Paulo Sept./Oct. 2005

NOVAES PINTO, M.; CARNEIRO, P.J.R. **Análise preliminar das feições geomorfológicas do Distrito Federal**. In: CONGR. BRAS. DE GEÓGRAFOS. 4. 1984. Anais ... São Paulo. Livro II, v.2, p.190-213, 1984.

NOVAES PINTO, M. Caracterização morfológica do Curso Superior do Rio São Bartolomeu - Distrito Federal. **Rev. Bras. Geogr.**, 48(4): p.377-397. 1986a.

NOVAES PINTO, M. Unidades geomorfológicas do Distrito Federal. *Geografia*, **11**(21): p.97-109. 1986b.

NOVAES PINTO, M. Superfícies de aplainamento do Distrito Federal. **Rev. Bras. Geogr.**, **49**(2): p. 9-26. 1987.

NOVAES PINTO, M. **Cerrado**: caracterização, ocupação e perspectiva: Universidade de Brasília. Brasília, 1990.

NOVAES PINTO, M. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: NOVAES PINTO, M. (org). **Cerrado**: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília. Editora UnB. 2. ed. p.285-320. 1994a.

NOVAES PINTO, M. Paisagens do cerrado no Distrito Federal. In: NOVAES PINTO, M. (org). **Cerrado**: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília. Editora UnB. 2ª Ed, p. 511-542, 1994b.

OECD- Organization for Economic CO-operation and Development. Water resources manangement - integrated policies in Europe. **OECD**, Paris, 1989. 199p.

OLIVEIRA, A.M.S. et al. **Questões metodológicas em diagnósticos regionais de erosão: a experiência pioneira da Bacia do Peixe-Parapanema, SP**. In: Simpósio NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 3, MARÍLIA, 1987. Anais... São Paulo: ABGE, p. 51-71. 1987.

PDOT. 1997. Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal. Lei Complementar nº 17 de 28 de Janeiro de 1997. In: Diário Oficial do Distrito Federal.

PDOT. 2009. Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal. Lei Complementar nº 46 de 2007. In: Diário Oficial do Distrito Federal.

PERL, D. P.; GOOD, P. F. Aluminum, environmental and central nervous system disease. **Environmental Technology Letters**, 9: p.901-906. 1988.

PIETERSE, N.M.; BLEUTEN, W.; JORGENSEN, S.E. Contribution of point sources and diffuse sources to nitrogen and phosphorus loads in lowland river tributaries. **Journal of Hydrology**. 271: p.213-225. 2003.

PINELLI, M.P. **Geoquímica de Águas e Sedimentos da Bacia do São Bartolomeu Brasília-DF**. 134 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Contém informações técnicas e serviços. Disponível em: <<https://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/fraWeb?OpenFrameSet&Frame=frmWeb2&Src=/legisla/legislacao.nsf%2FFrmConsultaWeb1%3FOpenForm%26AutoFramed>>. Acesso em: 22 jan. 2010.

RAMOS, L.A. et al. Determinação de nitrito em águas utilizando extrato de flores. **Quím. Nova** v. 29 . São Paulo Sept./Oct. 2006.

REBOUÇAS, A. C. Diagnóstico do setor hidrogeologia- in ABAS- **Associação Brasileira de Águas Subterrâneas-Ministério de Ciências e Tecnologia-** MCT/PADCT-GTM, Brasília, 1996. 52 p.

REIBER, S.; KUKULL, W.; STANDISH-LEE, P. Drinking water aluminum and bioavailability. **Journal of the American Water Works Association**, 87: p.86-99. 1995.

ROMANO, O.; ROSAS, J. G. C. **Água subterrânea para fins de abastecimento de água e irrigação no Distrito Federal**. In: SBG, CONGR. BRAS. GEOL., 24. 1970. Anais..., Brasília, SBG. p.313-333. 1970.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia aplicada aos EIAs – RIMAs**. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand Brasil. 2. ed. p. 291-336. 1998

SODF. Relatório Técnico Final ETAPA 1 - RTF - 1. **Plano de Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos do Distrito Federal (PGIRH)**. Brasília, nov, 2006.

SODF. Relatório Técnico Final ETAPA 2 - RTF - 2. **Plano de Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos do Distrito Federal (PGIRH)**. Brasília, abr, 2007.

SEMARH. Contém informações institucionais, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços. Disponível em: < <http://www.semarh.rn.gov.br> >. Acesso em: 15 jan. 2010.

SHILS, M. E. Modern Nutrition in Health and Disease. **Lindsay H Allen and Richard J. Wood**, 8 a Ed. Philadelphia. p.155-163. Cap. 7. 1994 .

SIAGAS. Sistema de Informação de Águas Subterrâneas. Contém informações institucionais, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços. Disponível em: <<http://siagas.cprm.gov.br/wellshow/indice.asp?w=1280&h=768&info=1>>. Acesso em: 09 ago. 2009.

SILVA, M.F.B.; NICOLETTI, A.; ROCCA, A.C.C.; CASARINI, D.C.P. **Uso e qualidade das águas subterrâneas para abastecimento público no Estado de São Paulo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10., São Paulo, 1998. São Paulo: ABAS, 1998. CD-ROM.

SOLLEY, W.B.; PIERCE, R.R.; PERLMAN, H.A. **Estimated use of water in the United States in 1990**, US Geological Survey. Circular 1081, Denver, USA. 1993.

SOUZA, M.A.A.; FELIZATTO, M.R. Qualidade de Água: ANA: Vesticon, 2006. 107p.

SOUZA, M.T.; CAMPOS, J.E.G. O papel dos regolitos nos processos de recarga de aquíferos do Distrito Federal. **Rev. Esc. Minas** v. 1, 54 no.3 Ouro Preto July/Sept. 2001

STRAPASSON, E., VENCOVSKY, R. & BATISTA, L.A.R. Seleção de Descritores na Caracterização de Germoplasma de *Paspalum sp.* por meio de Componentes Principais. **Revista Bras. Zootecnia**, 29, 2: p.373-381, 2000.

TERRACAP. **EIA/RIMA do Setor Habitacional Jardim Botânico**. NCA Engenharia, Brasília, 2000.

UNESCO. Declaração Universal dos Direitos da Água. UNESCO. 1992.

UNESCO. Vegetação no Distrito Federal: **Tempo e Espaço**, 2000. 74 p.

VEGA, M.; PARDO, R.; BARRADO, E.; DEBÁN, L. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. **Water Research**, v.I. 32, 12: p.3581-3592. 1998.

WEBB, J.S. Environmental problems and the exploration geochemist. In : ELLIOT, I.L.; FLETCHER, W.K. (ed.) **Geochemical Exploration 1974**. Amsterdam : Elsevier, p.5-17. 1975.

ZOBY, J.L.G.; MATOS, B. **Águas subterrâneas no Brasil e sua inserção na Política Nacional de Recursos Hídricos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., Florianópolis, 2002. Florianópolis: ABAS, 2002. CD-ROM.

Anexo A

Resumo dos Dados de Qualidade de Água Fornecidos pela CAESB

POÇO	SUBS	DATA	UTM N	UTM E	pH	Turb	SS	Cond	SDT	Alca	CO ₂ LC	DQO	Dur	Fe T	Al	Mn	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NT	NH ₃	NO ₃	PO ₄
OV 01	F	18/09/2007	8.243.424	203.528	6,90	0,40	0,00	81,30	55,60	39,30	9,89	0,40	40,20	0,02	0,06	0,01	9,70	3,90	1,51	0,56	39,30	0,50	0,40	0,05	0,01	0,01	0,042
OV 01	F	08/09/2008	8.243.424	203.528	6,50	56,00	25,20	54,50	37,20	23,90	15,10	0,90	26,60	1,91	0,05	0,03	5,70	3,00	1,10	0,50	23,90	0,50	0,80	0,62	0,01	0,03	0,016
OV 02	F	18/09/2007	8.242.980	203.880	5,80	0,50	0,00	23,40	16,10	9,90	31,38	0,90	11,20	0,15	0,04	0,01	2,30	1,30	0,60	0,20	9,90	0,50	0,70	0,05	0,01	0,03	0,001
OV 02	F	08/09/2008	8.242.980	203.880	5,80	188,00	65,20	42,20	28,90	13,90	44,10	1,40	18,40	19,52	0,22	0,26	4,20	1,90	0,50	0,50	13,90	0,50	2,10	1,21	0,02	0,04	0,002
OV 03	F	15/03/2007	8.242.463	204.124	6,20	0,60	0,00	90,30	61,40	45,60	57,58	2,90	61,66	0,02	0,03	0,02	10,30	8,72	3,50	0,80	45,60	0,50	1,09	0,37	0,04	0,12	0,003
OV 03	F	18/09/2007	8.242.463	204.124	7,00	1,90	1,00	153,80	104,90	73,20	14,64	1,50	63,20	0,30	0,22	0,10	17,50	4,70	9,00	0,90	73,20	2,50	0,50	0,05	0,01	0,04	0,001
OV 04	F	15/03/2007	8.242.434	204.103	7,00	19,50	0,00	169,60	115,33	82,40	16,48	5,10	96,08	0,02	0,03	0,15	23,32	9,18	4,78	0,77	82,40	4,60	0,88	0,23	0,08	0,04	0,002
OV 04	F	18/09/2007	8.242.434	204.103	7,20	0,50	0,00	166,10	113,60	77,40	9,76	1,30	77,70	0,06	0,14	0,14	23,20	4,80	5,43	0,77	77,40	3,60	0,50	0,05	0,01	0,02	0,001
OV 04	F	08/09/2008	8.242.434	204.103	7,10	106,00	23,60	189,90	129,70	77,60	12,30	1,40	88,50	3,99	0,09	0,75	25,60	5,90	5,00	0,50	77,60	6,40	1,30	0,92	0,04	0,03	0,002
OV 05	F	15/03/2007	8.242.365	204.033	6,40	0,50	4,80	61,20	41,62	29,47	23,46	3,00	48,55	3,53	0,09	0,01	5,67	8,35	4,95	0,52	29,77	0,50	0,57	0,73	0,04	0,03	0,002
OV 05	F	18/09/2007	8.242.365	204.033	6,40	0,20	0,00	69,80	47,80	31,20	24,84	0,80	30,60	0,02	0,06	0,01	7,10	3,10	0,95	0,62	31,20	2,00	0,70	0,05	0,01	0,02	0,058
OV 06	F	15/03/2007	8.242.465	203.279	6,50	0,80	0,00	53,00	36,04	19,26	12,18	1,70	43,30	0,01	0,03	0,01	5,59	7,12	5,00	0,61	19,26	1,20	0,62	0,17	0,05	0,04	0,054
OV 06	F	18/09/2007	8.242.465	203.279	6,60	0,90	0,00	47,50	32,40	19,30	9,69	0,70	22,20	0,03	0,15	0,01	4,50	2,70	0,95	0,62	19,30	1,00	0,60	0,05	0,01	0,07	1
OV 06	F	08/09/2008	8.242.465	203.279	6,40	3,10	3,40	88,20	60,00	32,00	25,50	0,70	37,20	0,38	0,10	0,05	7,80	4,30	3,00	0,50	32,00	5,00	1,00	0,25	0,02	0,05	0,068
JB 01	R ₄	03/08/2006	8.243.290	198.507	4,30	0,20	0,40	87,80	0,00	0,00	0,00	0,00	4,70	0,21	0,30	0,01	0,70	0,70	10,45	1,35	0,00	0,50	5,70	6,86	0,21	6,17	0,002
JB 01	R ₄	17/01/2007	8.243.290	198.507	4,50	0,50	2,00	96,40	65,60	0,00	0,00	1,20	12,00	0,05	0,26	0,01	2,10	1,70	30,75	1,52	0,00	2,60	6,50	6,62	0,25	5,21	0,001
JB 01	R ₄	17/07/2007	8.243.290	198.507	4,30	0,20	0,00	84,30	57,30	0,00	0,00	1,60	4,10	0,20	0,26	0,01	0,70	0,50	11,14	1,55	0,00	0,50	6,50	5,83	0,01	4,54	0,003
JB 01	R ₄	04/08/2008	8.243.290	198.507	4,90	15,10	54,00	81,80	55,60	2,60	65,46	3,70	6,50	1,59	0,82	0,01	1,70	0,50	9,84	1,20	2,70	1,70	5,90	5,90	0,01	4,59	0,001
JB 02	F	03/08/2006	8.243.375	198.709	4,40	1,20	1,20	91,20	0,00	0,00	0,00	0,00	5,30	0,17	0,28	0,01	0,90	0,80	11,39	1,53	0,00	0,50	6,40	6,45	0,14	5,84	0,002
JB 02	F	05/02/2007	8.243.375	198.709	4,60	14,70	9,20	87,30	59,40	0,00	0,00	2,90	8,30	2,71	0,95	0,01	1,20	1,30	15,80	0,50	0,00	2,40	8,30	4,90	0,01	4,24	0,003
JB 02	F	17/07/2007	8.243.375	198.709	4,30	0,40	0,00	97,80	66,60	0,80	80,19	2,20	5,90	0,09	0,24	0,01	1,20	0,70	11,84	1,54	0,80	0,50	6,90	6,43	0,01	5,53	0,003
JB 02	F	04/08/2008	8.243.375	198.709	4,50	0,70	3,60	81,50	55,40	3,30	208,71	2,60	2,20	0,02	0,20	0,01	0,40	0,30	10,17	1,43	3,30	1,20	6,10	4,92	0,01	4,15	0,001
JB 03	R ₄	17/01/2007	8.243.106	198.463	4,60	1,20	0,40	72,70	49,40	0,00	0,00	3,00	6,60	0,40	0,20	0,01	0,70	1,20	12,44	1,46	0,00	0,50	5,80	8,35	0,13	4,39	0,001
JB 03	R ₄	17/07/2007	8.243.106	198.463	4,40	1,70	0,80	101,20	68,70	0,50	39,81	2,10	6,40	0,98	0,24	0,01	0,60	1,20	14,20	1,48	0,50	0,50	9,00	6,98	0,26	5,34	0,002
JB 03	R ₄	04/08/2008	8.243.106	198.463	4,50	0,60	0,40	80,70	8,00	2,00	126,49	2,30	2,80	0,00	0,16	0,01	0,40	0,40	10,01	1,41	2,00	1,20	6,50	9,80	0,01	4,27	0,001
QI 01A	F	14/05/2007	8.243.681	201.625	7,10	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,56	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,25	0,05	0,11	0,02	0,001
QI 02B	F	14/05/2007	8.243.085	201.563	7,80	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	104,24	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50	0,05	0,09	0,02	0,001
SB 01	R ₄	26/07/2006	8.244.535	198.719	5,60	0,40	0,00	26,80	0,00	3,50	17,58	0,00	1,70	0,02	0,06	0,01	0,70	0,20	2,75	0,23	0,20	0,50	1,20	2,13	0,20	1,74	0,001
SB 01	R ₄	30/01/2007	8.244.535	198.719	5,50	0,80	0,00	22,10	15,00	2,80	17,71	3,90	5,00	0,01	0,09	0,03	0,00	1,20	2,70	0,30	2,80	0,50	1,50	1,72	0,01	1,19	0,001
SB 01	R ₄	02/08/2007	8.244.535	198.719	5,30	0,20	1,20	30,60	20,80	2,70	27,06	3,50	5,50	0,11	0,09	0,01	0,20	1,20	3,85	0,56	2,70	0,00	1,20	2,08	0,01	1,90	0,001
SB 02	R ₄	26/07/2006	8.244.638	198.770	5,00	0,40	0,00	32,30	0,00	2,30	46,00	0,00	2,40	0,05	0,17	0,01	0,70	0,10	2,80	0,40	2,30	1,30	1,30	2,05	0,25	1,53	0,001
SB 02	R ₄	30/01/2007	8.244.638	198.770	4,70	0,20	0,00	33,10	22,50	0,00	0,00	2,90	3,70	0,01	0,11	0,03	0,00	0,90	3,80	0,60	0,00	0,50	2,00	2,35	0,01	0,88	0,001
SB 02	R ₄	02/08/2007	8.244.638	198.770	4,80	0,10	0,00	32,10	21,80	1,80	57,06	2,80	3,20	0,02	0,09	0,01	0,20	0,60	3,60	0,60	1,80	0,50	1,90	1,81	0,01	1,51	0,001
SB 02	R ₄	28/07/2008	8.244.638	198.770	4,80	0,20	0,00	50,80	34,40	1,20	38,04	1,30	11,50	0,11	0,13	0,01	0,10	2,70	6,20	0,50	1,20	0,50	3,40	3,20	0,01	2,79	0,001
SB 02	R ₄	29/07/2009	8.244.638	198.770	4,60	0,40	0,00	55,60	37,90	1,50	76,10	0,40	2,00	0,04	0,09	0,01	0,40	0,30	6,68	0,50	1,50	0,50	3,50	3,65	0,01	3,36	0,001

POÇO	SUBS	DATA	UTM N	UTM E	pH	Turb	SS	Cond	SDT	Alca	CO ₂ LC	DQO	Dur	Fe T	Al	Mn	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NT	NH ₃	NO ₃	PO ₄
SB 03	R ₄	26/07/2006	8.245.980	198.655	5,10	0,40	0,00	8,00	0,00	2,20	34,95	0,00	1,70	0,04	0,17	0,01	0,70	0,20	0,14	0,12	2,20	0,50	0,50	0,22	0,01	0,11	0,001
SB 03	R ₄	30/01/2007	8.245.980	198.655	5,00	0,50	0,00	6,80	4,60	2,10	42,00	4,00	1,70	0,02	0,03	0,01	0,00	0,40	0,20	0,20	2,10	0,50	0,50	0,26	0,01	0,13	0,001
SB 03	R ₄	02/08/2007	8.245.980	198.655	4,90	0,20	0,00	8,00	5,50	2,00	50,36	2,30	1,80	0,01	0,12	0,01	0,00	0,40	0,26	0,17	2,00	0,50	0,40	0,16	0,01	0,12	0,001
SB 03	R ₄	28/07/2008	8.245.980	198.655	5,00	0,10	0,00	9,20	6,30	1,90	38,00	2,10	6,10	0,01	0,08	0,01	0,00	1,50	0,50	0,50	1,90	0,50	0,90	0,31	0,01	0,19	0,002
SB 03	R ₄	29/07/2009	8.245.980	198.655	4,70	0,40	0,00	13,70	9,30	2,90	116,90	0,60	0,00	0,02	0,08	0,01	0,00	0,00	0,50	0,50	2,90	0,50	0,80	0,57	0,01	0,25	0,001
SB 04	R ₄	26/07/2006	8.246.289	198.865	6,60	0,70	0,00	10,40	0,00	4,70	2,36	0,00	3,70	0,12	0,17	0,01	1,50	0,50	0,25	0,09	4,70	1,10	0,60	0,59	0,01	0,07	0,001
SB 04	R ₄	30/01/2007	8.246.289	198.865	5,80	0,80	0,60	10,40	7,10	4,20	13,31	0,40	6,10	0,15	0,09	0,15	0,00	1,50	0,20	0,10	4,20	1,40	0,60	0,46	0,01	0,08	0,003
SB 04	R ₄	02/08/2007	8.246.289	198.865	5,80	0,40	0,20	9,50	6,50	4,30	13,63	3,70	4,40	0,05	0,10	0,01	0,30	0,90	0,15	0,19	4,30	0,50	0,60	0,11	0,01	0,07	0,001
SB 04	R ₄	28/07/2008	8.246.289	198.865	4,90	0,10	0,20	8,30	5,70	2,10	52,87	3,20	10,40	0,04	0,12	0,01	0,00	2,50	0,00	0,50	2,10	0,50	0,90	0,29	0,01	0,20	0,002
SB-04	R ₄	29/07/2009	8.246.289	198.865	4,70	5,50	0,60	14,30	10,00	1,90	76,60	0,70	1,70	1,11	0,09	0,01	0,00	0,40	0,50	0,50	1,90	0,50	1,10	0,90	0,01	0,14	0,001
SB 05	R ₄	26/07/2006	8.246.784	199.231	5,10	0,40	0,00	10,20	0,00	1,80	28,60	0,00	2,20	0,40	0,21	0,01	0,90	0,30	0,18	0,17	1,80	0,50	0,50	0,47	0,07	0,32	0,001
SB 05	R ₄	30/01/2007	8.246.784	199.231	4,80	0,30	0,00	11,60	7,90	1,60	50,72	0,50	2,60	0,02	0,06	0,10	0,00	0,60	0,40	0,30	1,60	0,50	0,80	0,70	0,01	0,30	0,002
SB 05	R ₄	02/08/2007	8.246.784	199.231	5,40	0,30	0,00	8,20	5,60	3,10	24,68	3,50	2,40	0,01	0,10	0,01	0,20	0,40	0,31	0,23	3,10	0,50	0,60	0,30	0,01	0,05	0,001
SB 05	R ₄	28/07/2008	8.246.784	199.231	4,90	0,30	0,00	8,60	5,80	1,40	35,25	1,80	4,10	0,01	0,09	0,01	0,00	1,00	0,50	0,50	1,40	0,50	0,80	0,27	0,01	0,05	0,001
SB 05	R ₄	29/07/2009	8.246.784	199.231	4,90	0,50	0,00	11,90	8,10	1,90	48,30	0,10	0,00	0,01	0,08	0,01	0,00	0,00	0,50	0,50	1,90	0,50	0,60	0,41	0,01	0,14	0,001
SB 06	R ₄	26/07/2006	8.244.197	198.106	5,40	27,50	8,80	28,40	0,00	6,00	47,77	0,00	13,20	2,24	0,18	0,01	2,90	1,50	2,03	0,27	6,00	6,00	1,30	2,19	0,33	1,16	0,001
SD 01	Q ₃ /R ₃	13/09/2006	8.243.284	197.795	4,30	0,30	0,40	145,60	0,00	0,00	0,00	0,00	6,90	0,01	0,34	0,00	1,10	1,00	20,15	1,10	0,00	0,50	15,40	9,54	0,57	8,49	0,003
SD 01	Q ₃ /R ₃	17/01/2007	8.243.284	197.795	4,30	0,20	0,40	189,80	129,10	0,00	0,00	3,10	10,60	0,03	0,60	0,01	1,70	1,60	27,01	2,05	0,00	0,50	22,00	12,46	1,31	8,73	0,001
SD 01	Q ₃ /R ₃	17/07/2007	8.243.284	197.795	4,20	0,20	0,00	144,40	98,20	0,00	0,00	1,60	8,50	0,03	0,54	0,01	1,90	0,80	19,95	1,70	0,00	0,00	13,90	9,42	0,60	7,43	0,003
SD 02	Q ₃ /R ₃	13/09/2006	8.243.294	197.774	5,20	0,80	0,40	173,70	0,00	4,00	50,48	0,00	9,60	0,41	0,31	0,01	2,10	1,00	24,21	2,19	4,00	2,10	21,90	11,74	2,05	6,64	0,001
SD 02	Q ₃ /R ₃	05/02/2007	8.243.294	197.774	4,90	0,60	4,00	147,00	100,00	1,70	42,80	6,00	10,00	0,08	0,29	0,02	1,20	1,70	22,76	1,62	1,70	2,30	18,50	9,31	1,60	6,26	0,001
SD 03	Q ₃ /R ₃	24/08/2005	8.243.619	197.874	4,00	0,20	4,40	132,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	0,01	0,00	0,00	13,00	2,00	0,00	0,50	8,20	9,25	0,01	5,30	0,001
SD 03	Q ₃ /R ₃	03/08/2006	8.243.619	197.874	4,20	0,40	1,20	150,20	0,00	0,00	0,00	0,00	9,10	0,00	0,50	0,01	2,30	0,80	14,92	1,98	0,00	0,50	9,70	10,52	0,67	9,45	0,001
SD 03	Q ₃ /R ₃	17/01/2007	8.243.619	197.874	4,10	0,10	4,00	151,70	103,20	0,00	0,00	1,30	11,80	0,02	1,23	0,01	2,50	1,40	20,14	2,24	0,00	0,50	12,40	10,39	1,01	9,03	0,001
SD 03	Q ₃ /R ₃	18/09/2007	8.243.619	197.874	4,00	0,50	0,00	145,00	99,10	0,00	0,00	1,90	12,40	0,09	0,26	0,01	2,20	1,70	18,64	2,17	0,00	0,00	11,70	13,77	0,82	9,24	0,001
SD 03	Q ₃ /R ₃	04/08/2008	8.243.619	197.874	4,30	0,60	0,00	131,90	89,90	2,00	200,47	4,10	6,10	0,00	0,45	0,01	1,70	0,40	16,34	1,83	2,00	1,40	11,70	8,84	0,87	7,70	0,001
SD 04	R ₄	03/08/2006	8.243.114	198.072	4,40	0,80	1,20	93,80	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0,18	0,32	0,01	0,80	0,60	14,58	1,35	0,00	0,50	7,00	7,88	0,01	5,93	0,001
SD 04	R ₄	17/01/2007	8.243.114	198.072	4,30	0,30	2,80	136,90	93,10	0,00	0,00	2,50	8,10	0,05	0,30	0,01	1,40	1,10	21,23	1,60	0,00	0,50	14,80	8,23	0,03	6,87	0,001
SD 04	R ₄	17/07/2007	8.243.114	198.072	4,60	5,00	3,60	127,60	86,70	2,10	105,50	2,30	9,40	0,95	0,35	0,01	2,20	0,90	18,88	1,56	2,10	0,00	13,60	8,58	0,01	7,47	0,003
SD 04	R ₄	04/08/2008	8.243.114	198.072	4,90	1,90	1,40	126,10	85,70	1,80	45,32	3,00	6,70	1,11	0,34	0,01	1,90	0,50	18,98	1,40	1,80	1,30	15,40	7,11	0,04	6,25	0,001
SD 05	Q ₃ /R ₃	03/08/2006	8.243.182	197.736	4,40	0,20	0,80	64,20	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	0,00	0,28	0,01	0,20	0,30	7,57	0,78	0,00	0,50	4,20	4,29	0,01	3,66	0,002
SD 05	Q ₃ /R ₃	17/01/2007	8.243.182	197.736	4,20	1,10	3,20	140,90	95,80	0,00	0,00	5,70	12,20	0,31	0,78	0,01	2,20	1,60	18,36	2,10	0,00	2,00	11,30	10,03	0,83	8,42	0,001
SD 05	Q ₃ /R ₃	17/07/2007	8.243.182	197.736	4,40	0,20	0,00	68,30	46,40	2,50	199,05	1,90	2,50	0,03	0,26	0,01	0,40	0,40	9,15	1,27	2,50	0,50	4,90	4,61	0,01	3,65	0,004
SD 05	Q ₃ /R ₃	04/08/2008	8.243.182	197.736	4,40	0,30	0,00	80,40	54,60	17,30	1377,45	2,10	0,40	0,04	0,19	0,01	0,10	0,00	10,29	0,50	17,30	1,20	9,50	4,37	0,95	3,31	0,001
SD 06	Q ₃ /R ₃	03/08/2006	8.243.195	197.698	4,40	0,30	0,80	94,20	0,00	0,00	0,00	0,00	3,50	0,00	0,38	0,01	0,80	0,40	11,34	1,27	85,00	0,50	6,80	6,84	0,43	6,25	0,001

POÇO	SUBS	DATA	UTM N	UTM E	pH	Turb	SS	Cond	SDT	Alca	CO ₂ LC	DQO	Dur	Fe T	Al	Mn	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NT	NH ₃	NO ₃	PO ₄
SD 06	Q ₃ /R ₃	17/01/2007	8.243.195	197.698	5,40	1,10	2,40	81,40	55,40	6,50	51,75	2,00	6,60	0,41	0,15	0,01	0,60	1,30	9,33	1,20	6,50	0,50	8,00	5,83	1,96	3,14	0,001
SD 06	Q ₃ /R ₃	18/09/2007	8.243.195	197.698	4,30	0,40	0,00	66,40	45,30	0,00	0,00	3,00	2,60	0,05	0,09	0,01	0,30	0,40	6,36	0,61	0,00	0,50	5,60	4,08	0,04	3,55	0,001
SD 06	Q ₃ /R ₃	04/08/2008	8.243.195	197.698	4,30	0,40	0,20	105,30	71,60	14,30	1433,40	2,90	2,80	0,05	0,25	0,01	0,60	0,30	13,05	1,26	14,30	1,20	9,60	8,92	0,52	5,60	0,001
VM 01	Q ₃ /R ₃	26/07/2006	8.247.048	199.824	4,70	1,10	0,80	38,90	0,00	0,00	0,00	0,00	2,80	0,06	0,52	0,01	1,10	0,40	2,35	0,64	0,00	1,40	2,10	2,48	0,01	2,07	0,001
VM 02	Q ₃ /R ₃	26/07/2006	8.246.634	199.662	4,50	0,40	0,00	64,90	0,00	0,00	0,00	0,00	5,40	0,05	0,27	0,01	2,20	0,80	5,24	0,64	0,00	1,80	2,50	4,28	0,01	0,02	0,001
VM 02	Q ₃ /R ₃	24/01/2007	8.246.634	199.662	4,60	0,40	0,00	59,10	40,20	0,00	0,00	2,60	6,70	0,01	0,30	0,01	1,00	1,00	5,90	1,40	0,00	2,40	3,40	4,33	0,01	1,57	0,001
VM 02	Q ₃ /R ₃	31/07/2007	8.246.634	199.662	4,50	0,20	0,00	39,10	26,50	0,60	37,95	2,30	5,60	0,01	0,28	0,01	1,10	0,70	4,68	1,20	1,00	0,50	3,40	4,32	0,01	3,59	0,001
VM 02	Q ₃ /R ₃	31/07/2008	8.246.634	199.662	4,40	0,20	3,40	66,30	45,10	4,50	358,30	1,10	5,00	0,00	0,35	0,01	1,20	0,50	7,39	2,99	4,50	0,50	3,50	4,46	0,01	3,54	0,001
VM 02	Q ₃ /R ₃	29/07/2009	8.246.634	199.662	4,60	0,50	0,00	76,80	52,30	0,80	40,60	0,80	6,50	0,02	0,22	0,01	1,30	0,80	7,10	1,26	0,80	0,50	3,90	5,27	0,01	4,68	0,001
VM 03	Q ₃ /R ₃	26/07/2006	8.246.781	199.288	4,80	0,50	0,80	16,60	0,00	0,00	0,00	0,00	2,30	0,04	0,11	0,01	0,90	0,30	0,54	0,23	0,00	1,10	1,00	0,71	0,08	0,52	0,001
VM 03	Q ₃ /R ₃	24/01/2007	8.246.781	199.288	4,80	0,30	0,00	24,30	16,50	1,50	47,55	2,20	4,70	0,01	0,15	0,01	0,40	0,90	1,60	0,50	1,50	1,10	1,30	1,51	0,01	1,07	0,001
VM 03	Q ₃ /R ₃	31/07/2007	8.246.781	199.288	4,70	0,20	0,00	15,30	10,10	1,00	39,91	2,50	1,60	0,00	0,07	0,01	0,00	0,40	0,62	0,30	1,00	0,50	0,90	0,80	0,01	0,42	0,001
VM 03	Q ₃ /R ₃	31/07/2008	8.246.781	199.288	4,70	0,30	0,20	17,90	12,10	2,00	79,81	0,90	0,00	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00	3,00	0,50	2,00	0,50	1,20	0,84	0,01	0,58	0,001
VM 03	Q ₃ /R ₃	29/07/2009	8.246.781	199.288	5,00	0,50	0,00	23,50	16,10	1,40	28,30	0,90	1,40	0,02	0,14	0,01	0,20	0,20	1,80	0,50	1,40	0,50	1,40	1,30	0,01	1,08	0,001
VM 04	Q ₃ /R ₃	26/07/2006	8.246.384	199.305	5,20	0,20	0,00	9,20	0,00	2,60	32,81	0,00	0,70	0,02	0,13	0,01	0,30	0,10	0,38	0,12	2,60	0,50	0,80	0,30	0,03	0,25	0,001
VM 04	Q ₃ /R ₃	05/02/2007	8.246.384	199.305	4,80	0,90	0,20	12,70	8,60	1,70	53,89	1,20	0,70	0,01	0,03	0,01	0,00	0,70	1,40	0,20	1,70	0,50	0,80	0,83	0,01	0,60	0,002
VM 04	Q ₃ /R ₃	31/07/2007	8.246.384	199.305	4,90	0,40	0,00	9,60	6,60	2,20	55,39	202,00	1,20	0,00	0,04	0,01	0,00	0,30	0,60	0,17	2,20	0,50	0,70	0,43	0,01	0,33	0,001
VM 04	Q ₃ /R ₃	31/07/2008	8.246.384	199.305	4,80	0,40	0,00	12,70	8,60	1,10	34,87	2,10	0,00	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00	2,93	0,50	1,10	0,50	0,80	0,56	0,01	0,43	0,001
VM 04	Q ₃ /R ₃	29/07/2009	8.246.384	199.305	5,00	0,50	0,00	15,80	10,80	1,70	34,30	0,20	0,00	0,01	0,06	0,01	0,00	0,00	1,52	0,50	1,70	0,50	0,90	0,88	0,01	0,80	0,001
JP	Q ₃ /R ₃	15/07/2008	8.242.114	197.893	4,90	5,80	2,80	56,80	38,70	3,20	80,60	1,90	2,70	0,33	0,56	0,01	0,30	0,40	9,35	0,50	3,20	0,50	3,40	4,74	0,01	4,11	0,002
MS 01	F	13/09/2006	8.249.681	202.232	5,70	0,60	0,40	10,60	0,00	3,60	14,37	0,00	3,20	0,02	0,05	0,01	0,70	0,40	0,29	0,61	3,60	0,00	0,50	0,83	0,08	0,32	0,003
MS 01	F	05/02/2007	8.249.681	202.232	5,00	0,60	0,00	14,20	9,70	2,70	54,00	2,00	3,80	0,00	0,06	0,01	0,40	0,70	1,20	1,00	2,70	1,70	1,10	1,03	0,01	0,04	0,001
MS 01	F	07/08/2007	8.249.681	202.232	5,30	0,20	0,00	10,50	7,10	0,90	9,02	2,50	1,40	0,02	0,07	0,01	0,10	0,10	0,30	0,44	0,90	0,00	0,60	0,59	0,01	0,01	0,001
MS 01	F	06/08/2008	8.249.681	202.232	5,00	0,50	0,00	7,30	5,00	1,20	24,00	2,40	0,00	0,03	0,05	0,01	0,00	0,00	0,50	0,50	1,20	0,50	0,60	0,14	0,01	0,10	0,001
MS 01	F	31/07/2009	8.249.681	202.232	4,70	0,30	0,00	9,60	6,50	3,60	145,10	0,50	0,00	0,02	0,06	0,01	0,00	0,00	0,50	0,50	3,60	0,50	0,60	0,25	0,01	0,11	0,008
MS 02	Q ₃ /R ₃	05/01/1900	8.250.141	201.702	5,20	1,10	1,60	6,10	0,00	0,00	0,00	0,00	2,40	0,09	0,08	0,01	0,10	0,50	0,25	0,38	0,00	0,50	0,50	0,60	0,01	0,02	0,001
MS 02	Q ₃ /R ₃	05/02/2007	8.250.141	201.702	4,60	0,60	0,00	13,60	9,20	1,30	65,31	3,00	3,30	0,02	0,41	0,01	0,20	0,70	0,20	0,30	1,30	3,00	0,90	0,86	0,01	0,26	0,001
MS 02	Q ₃ /R ₃	07/08/2007	8.250.141	201.702	5,10	0,10	0,00	11,00	7,50	2,10	33,36	2,40	1,70	0,01	0,08	0,01	0,00	0,40	0,27	0,37	2,10	0,50	0,50	0,66	0,01	0,25	0,001
MS 02	Q ₃ /R ₃	06/08/2008	8.250.141	201.702	4,90	2,50	22,20	9,50	6,50	1,40	35,25	2,60	0,00	0,35	0,09	0,01	0,00	0,00	0,50	0,50	1,40	1,30	0,50	0,48	0,01	0,21	0,001
MS 02	Q ₃ /R ₃	31/07/2009	8.250.141	201.702	4,70	0,50	0,00	13,70	9,30	9,10	362,70	0,80	0,80	0,00	0,06	0,01	0,00	0,20	0,50	0,50	9,10	0,50	0,80	0,74	0,01	0,17	0,006
MS 04	Q ₃ /R ₃	13/09/2006	8.250.259	202.436	5,30	0,40	0,40	11,60	0,00	4,70	47,11	0,00	4,80	0,02	0,04	0,01	0,90	0,60	0,40	0,31	4,70	0,50	0,60	0,27	0,01	0,02	0,004
MS 04	Q ₃ /R ₃	05/02/2007	8.250.259	202.436	5,10	0,50	0,00	7,00	4,80	3,60	57,19	1,40	4,20	0,03	0,04	0,01	0,50	4,50	0,30	0,30	3,60	0,50	0,60	0,24	0,01	0,03	0,001
MS 04	Q ₃ /R ₃	07/08/2007	8.250.259	202.436	5,40	0,30	0,00	6,90	4,70	4,10	32,64	2,50	1,60	0,00	0,10	0,01	0,20	0,10	0,36	0,37	4,10	0,50	0,40	0,16	0,01	0,04	0,001
MS 04	Q ₃ /R ₃	06/08/2008	8.250.259	202.436	5,00	0,40	0,60	8,20	5,60	2,40	48,00	3,10	0,00	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,50	0,50	2,40	1,60	0,80	0,05	0,01	0,05	0,001
MS-04	Q ₃ /R ₃	31/07/2009	8.250.259	202.436	5,00	0,20	0,00	11,60	7,90	2,30	46,50	2,10	1,10	0,00	0,05	0,01	0,00	0,30	0,50	0,50	2,30	0,50	0,60	0,13	0,01	0,05	0,001

POÇO	SUBS	DATA	UTM N	UTM E	pH	Turb	SS	Cond	SDT	Alca	CO ₂ LC	DQO	Dur	Fe T	Al	Mn	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NT	NH ₃	NO ₃	PO ₄
MS 05	Q ₃ /R ₃	21/09/2006	8.250.104	202.327	5,30	0,40	0,40	5,60	0,00	3,00	30,07	0,00	2,60	0,03	0,06	0,01	0,00	0,60	0,24	0,57	3,00	0,50	0,60	0,33	0,01	0,06	0,001
MS 05	Q ₃ /R ₃	05/02/2007	8.250.104	202.327	5,40	0,50	0,00	10,60	7,20	4,30	34,24	3,40	7,10	0,17	0,07	0,01	0,00	1,70	0,20	0,50	4,30	3,00	0,60	0,17	0,01	0,06	0,001
MS 05	Q ₃ /R ₃	07/08/2007	8.250.104	202.327	5,50	0,20	0,00	10,00	6,80	3,80	24,03	2,50	3,20	0,04	0,09	0,01	0,00	0,80	0,26	0,60	3,80	0,50	0,40	0,18	0,01	0,07	0,001
MS 05	Q ₃ /R ₃	06/08/2008	8.250.104	202.327	5,20	0,30	0,20	8,30	5,60	3,20	40,38	3,10	0,00	0,01	0,05	0,01	0,00	0,00	0,50	0,50	3,20	1,90	0,40	0,16	0,01	0,09	0,001
MS 05	Q ₃ /R ₃	31/07/2009	8.250.104	202.327	5,20	0,70	0,00	9,30	6,30	3,20	40,80	0,90	2,20	0,03	0,04	0,01	0,00	0,60	0,50	0,50	3,20	0,50	0,40	0,19	0,04	0,11	0,004
CP 01	Q ₃ /R ₃	03/08/2006	8.233.270	196.547	5,20	0,30	0,80	6,10		1,20	15,14	0,00	0,80	0,00	0,10	0,01	0,00	0,20	0,22	0,12	1,20	0,50	0,60	0,21	0,01	0,09	0,002
CP 01	Q ₃ /R ₃	23/03/2007	8.233.270	196.547	5,30	0,60	0,20	5,30	3,60	2,22	22,25	0,90	5,97	0,03	0,02	0,01	0,43	1,19	0,21	0,15	2,22	0,50	0,72	0,20	0,74	0,08	0,001
CP 01	Q ₃ /R ₃	07/08/2007	8.233.270	196.547	5,20	0,30	0,00	5,40	3,70	2,70	34,07	2,60	1,60	0,03	0,08	0,01	0,00	0,40	0,21	0,14	2,70	0,50	0,40	0,14	0,01	0,09	0,001
CP 01	Q ₃ /R ₃	06/08/2008	8.233.270	196.547	5,30	0,40	0,20	4,90	3,40	2,30	23,05	1,90	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,50	2,30	1,20	0,80	0,05	0,01	0,07	0,001
CP 01	Q ₃ /R ₃	31/07/2009	8.233.270	196.547	5,40	0,30	0,00	6,90	4,70	2,50	20,10	1,10	0,00	0,02	0,08	0,01	0,00	0,00	0,50	0,50	2,50	0,50	0,70	0,13	0,01	0,09	0,001
CP 02	Q ₃ /R ₃	03/08/2006	8.233.335	196.694	5,80	2,50	12,40	10,10		0,30	0,95	0,00	4,20	0,32	0,09	0,01	0,00	1,00	0,11	0,14	0,30	0,50	0,80	0,32	0,17	0,02	0,009
CP 02	Q ₃ /R ₃	05/02/2007	8.233.335	196.694	5,20	0,70	0,00	3,30	2,20	2,20	27,76	2,00	2,50	0,08	0,06	0,02	0,10	0,60	0,10	0,10	2,20	0,50	0,60	0,25	0,01	0,04	0,001
CP 02	Q ₃ /R ₃	07/08/2007	8.233.335	196.694	5,30	0,60	2,80	4,50	3,10	2,40	24,06	2,30	1,20	0,09	0,13	0,01	0,00	0,30	0,18	0,16	2,40	0,50	0,50	0,13	0,01	0,03	0,001
CP 02	Q ₃ /R ₃	29/10/2008	8.233.335	196.694	5,10	1,60	0,60	6,00	4,10	0,80	12,70	0,50	0,60	0,00	0,02	0,01	0,10	0,10	0,50	0,50	0,80	0,50	0,90	0,11	0,01	0,01	0,002
CP 02	Q ₃ /R ₃	31/07/2009	8.233.335	196.694	5,40	2,30	0,00	7,00	4,70	3,20	25,70	1,10	1,30	0,42	0,10	0,01	0,30	0,10	0,50	0,50	3,20	0,50	1,10	0,05	0,01	0,01	0,001

Anexo B

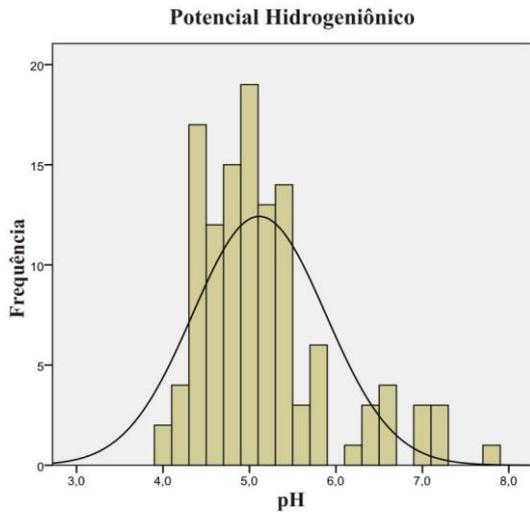
Estatística Descritiva e Valores para Comparações

	Estatística Descritiva Total 120 amostras			Estatística Descritiva por Subsistema Aquífero								
				Sistema Canastra (F) 25 amostras			Sistema Paranoá (R4) 66 amostras			Sistema Paranoá (Q3/R3) 29 amostras		
	Valores Mínimos	Média ± σS	Valores Máximos	Valores Mínimos	Média ± σS	Valores Máximos	Valores Mínimos	Média ± σS	Valores Máximos	Valores Mínimos	Média ± σS	Valores Máximos
pH	4,0	5,11 ± 0,77	7,8	4,3	6,00±1,02	7,8	4,3	4,93±0,41	6,6	4,0	4,73±0,54	5,8
Turb	0,1	4,22 ± 20,35	188,0	0,2	15,96±42,79	188,0	0,1	1,27±3,84	27,5	0,1	0,80±1,12	5,8
SS	0,0	2,41 ± 8,52	65	0,0	5,50±14,17	65	0,0	1,66±7,18	54	0,0	1,44±2,53	12,4
Cond	0,0	51,88 ± 51,81	189,9	0,0	68,03±55,75	189,9	5,6	33,27± 34,65	136,9	3,3	80,31±63,81	189,8
SDT	0,0	27,85 ± 34,48	129,7	0,0	43,61±39,28	129,7	0,0	17,27±23,32	93	0,0	39,14±43,70	129
Alca	0,0	6,67 ± 15,35	82,4	0,0	23,62±27,65	82,4	0,0	2,09±1,67	9,1	0,0	2,46±4,03	17
CO₂ LC	0,0	63,03 ± 184,56	1433,4	0,0	33,69±48,22	208,71	0,0	46,66±62,25	362,7	0,0	125,58±358,22	1433
DQO	0,0	3,28 ± 18,34	202,0	0,0	1,51±1,23	5,1	0,0	4,64±24,70	202	0,0	1,72±1,61	6
Dur	0,0	10,47 ± 19,71	104,2	0,0	34,81±33,19	104,2	0,0	3,76±3,07	13,2	0,0	4,77±4,14	12,4
Fe	0,003	0,39 ± 1,86	19,52	0,003	1,32±3,96	19,52	0,003	0,17±0,40	2,24	0,003	0,09±0,14	0,41
Al	0,0	0,18 ± 0,19	1,22	0,0	0,12±0,18	0,94	0,032	0,15±0,13	0,82	0,022	0,30±0,27	1,22
Mn	0,0	0,02 ± 0,07	0,75	0,0105	0,06±0,15	0,75	0,0105	0,01±0,01	0,14	0,0	0,01±0,00	0,05
Ca	0,0	1,78 ± 4,30	25,6	0,0	6,29±7,92	25,6	0,0	0,50±0,68	2,9	0,0	0,79±0,87	2,5
Mg	0,0	1,16 ± 1,73	9,2	0,0	2,93±2,98	9,2	0,0	0,70±0,73	4,5	0,0	0,67±0,56	2
Na	0,0	5,48 ± 7,03	30,75	0,29	3,97±4,40	15,8	0,0	4,00±6,12	30,75	0,0	10,15±8,78	27,01
K	0,09	0,76 ± 0,59	2,99	0,2	0,69±0,34	1,54	0,09	0,64±0,53	2,99	0,1	1,07±0,76	2,2
HCO₃	0,0	7,35 ± 16,93	85,0	0,0	23,63±27,65	82,4	0,0	2,05±1,67	9,1	0,0	5,39±15,82	85
SO₄	0,0	0,97 ± 1,08	6,4	0,0	1,50±1,69	6,4	0,0	0,88±0,90	6,0	0,0	0,73±0,57	2,3
Cl	0,3	3,50 ± 4,75	22,0	0,3	1,74±2,36	8,3	0,4	2,44±3,34	15,4	0,4	7,44±6,62	22,0
N	0,05	2,82 ± 3,52	13,77	0,05	1,21±2,03	6,45	0,05	2,23±2,69	9,8	0,05	5,53±4,63	13,76
NH₃	0,01	0,15 ± 0,36	2,05	0,01	0,03±0,03	0,14	0,01	0,03±0,07	0,32	0,01	0,52±0,61	2,05
NO₃	0,005	2,03 ± 2,74	9,45	0,010	0,83±1,85	5,84	0,016	1,55±2,09	7,46	0,01	4,15±3,52	9,45
PO₄	0,001	0,01 ± 0,09	1,00	0,001	0,51±0,19	1,0	0,001	0,00±0,00	0,0	0,001	0,00±0,00	0,0

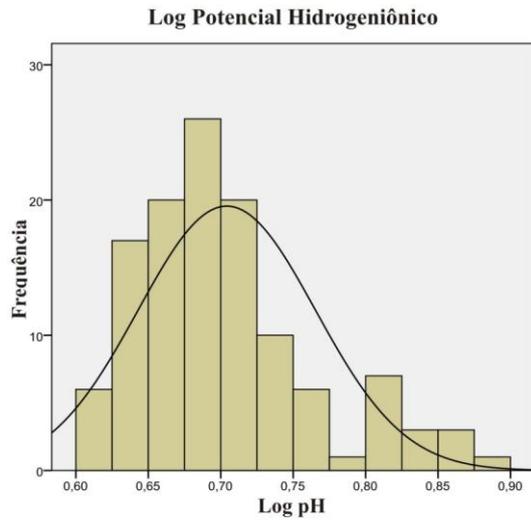
	Sistema Canastra (F) Background Arraes <i>et al.</i> , 2006		Sistema Paranoá (R4) Background Arraes <i>et al.</i> , 2006		Sistema Paranoá (Q3/R3) Background Arraes <i>et al.</i> , 2006		(D.F.) Parâmetros Boaventura e Freitas, 2006
	Poço EPO-CHA2	Poço EPO-AI	Poço EPO-CAT0	Poço EPO-CG2	Poço EPO-NB	Poço EPO-CAU4	Valores Críticos
pH							pH > 5,5
Turb							
SS							
Cond		76,8	6,72	81,4	5,25	7,63	Cond > 13
SDT							
Alca							Alca > 2,5 de CaCO ₃
CO ₂ LC							
DQO							
Dur							
Fe	0,05	0,71	0,16	0,34	0,07	0,09	Al + Fe + Cu > 0,05 e pH > 5
Al	0,15	0,49	0,29	0,3	0,35	0,26	
Mn	0,03	0,15	0,01	0,1	0	0	
Ca	2,72	1,7	0,33	5,91	0,21	0,08	Ca > Na
Mg	0,32	6,05	0,45	2,47	0,25	0,18	
Na	0,22	0,13	0,24	0,36	0,09	0,04	Na > 0,45
K							
HCO ₃	15,2	30,8	2,8	31,2	1,2	2,8	
SO ₄	0	0	0	2	0	0	
Cl	2,81	2,62	2,33	2,71	2,23	2,52	Cl > 2
N							
NH ₃							
NO ₃							NO ₃ > 1
PO ₄	0,15	0,22			0,31	0,26	

Anexo C

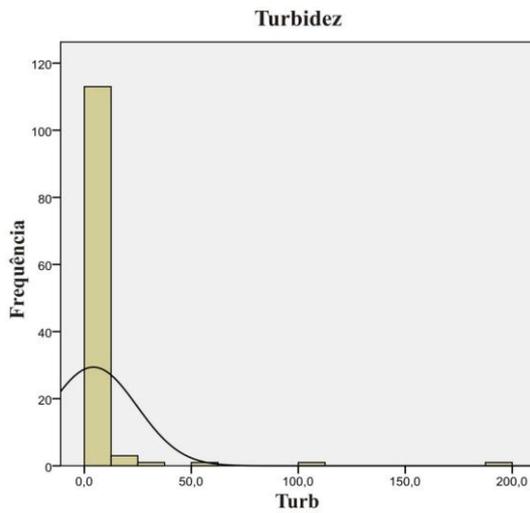
Histogramas de Frequência



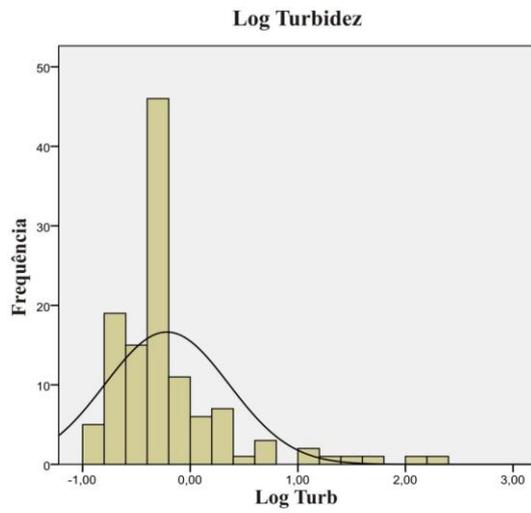
Média = 5,11
Desvio Padrão = 0,771
N = 120



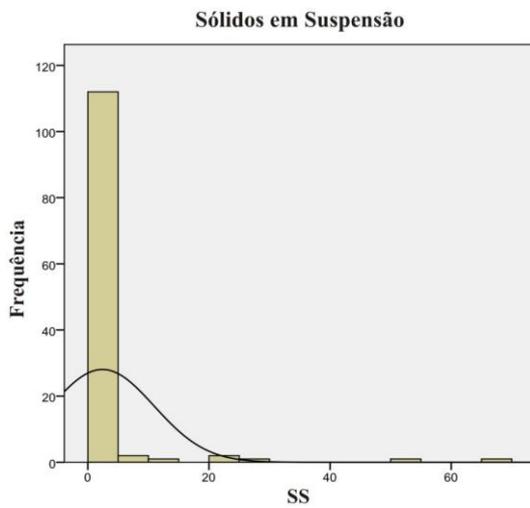
Média = 0,70
Desvio Padrão = 0,061
N = 120



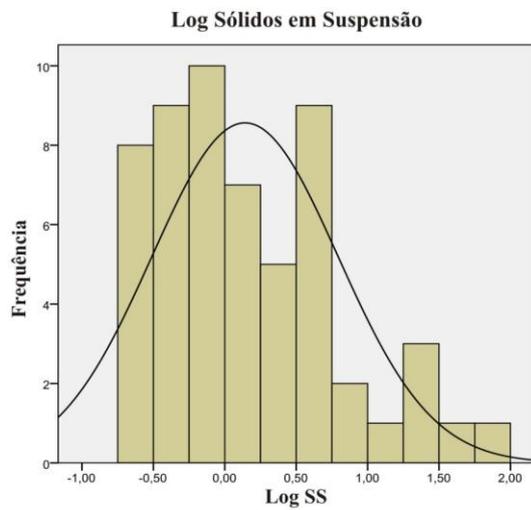
Média = 4,22
Desvio Padrão = 20,357
N = 120



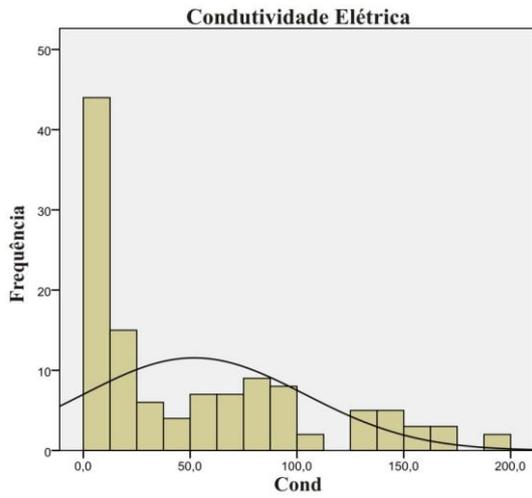
Média = -0,22
Desvio Padrão = 0,575
N = 120



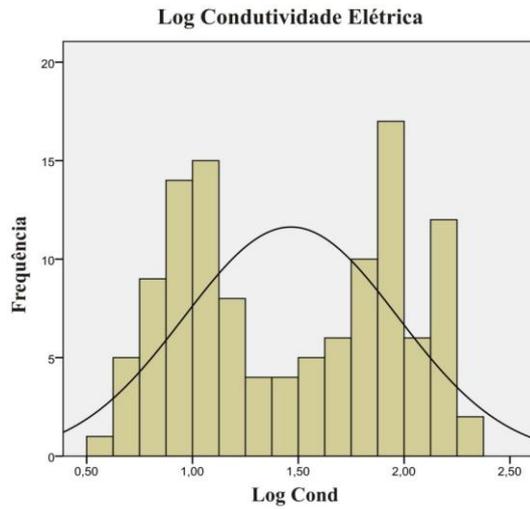
Média = 2,41
Desvio Padrão = 8,529
N = 120



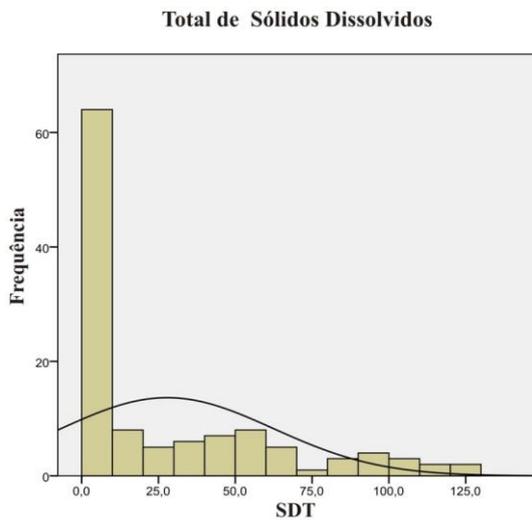
Média = 0,14
Desvio Padrão = 0,652
N = 56



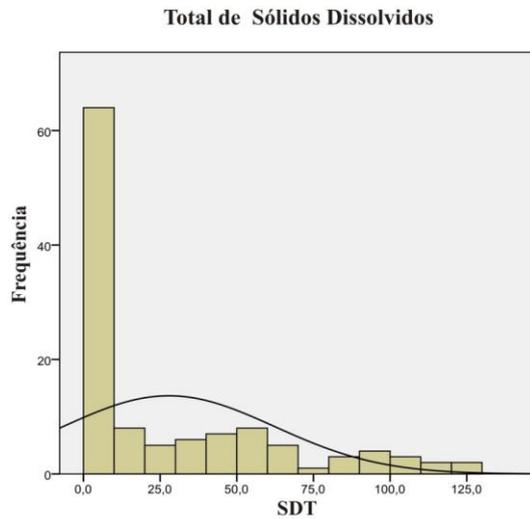
Média = 51,88
 Desvio Padrão = 51,818
 N = 120



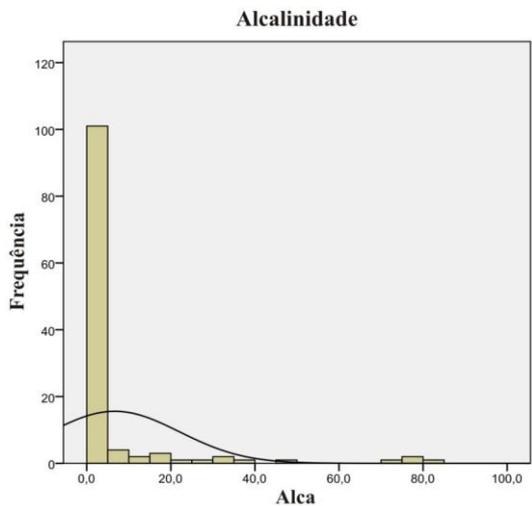
Média = 1,47
 Desvio Padrão = 0,506
 N = 118



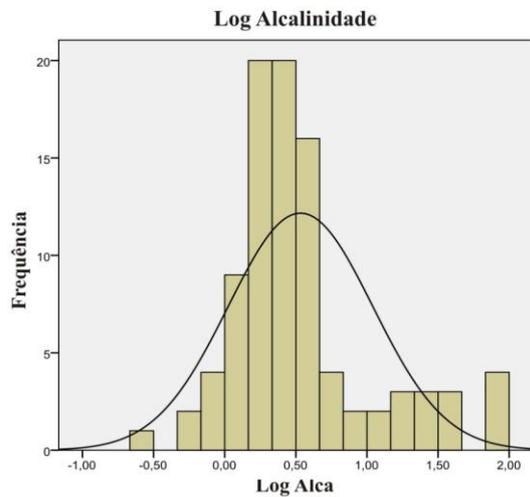
Média = 27,86
 Desvio Padrão = 34,48
 N = 118



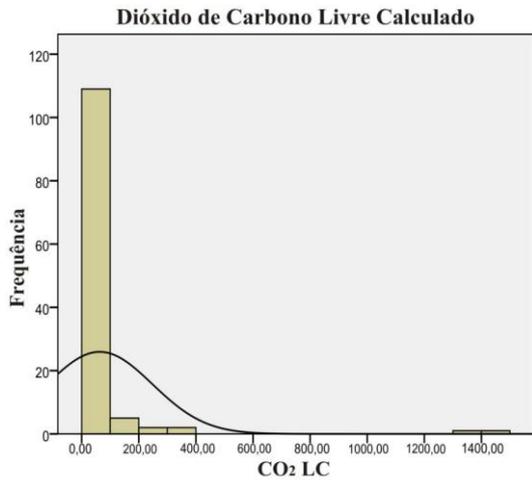
Média = 27,86
 Desvio Padrão = 34,48
 N = 118



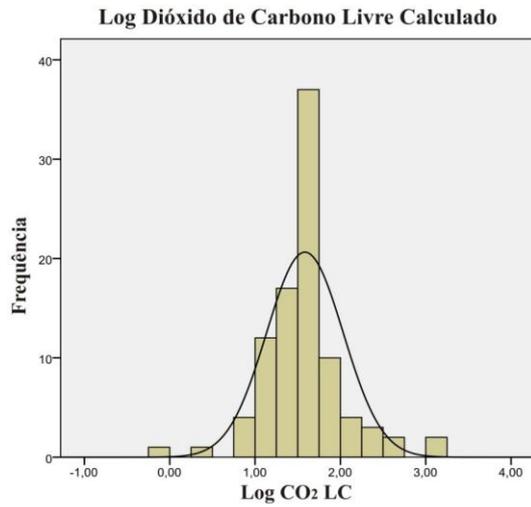
Média = 6,67
 Desvio Padrão = 15,358
 N = 120



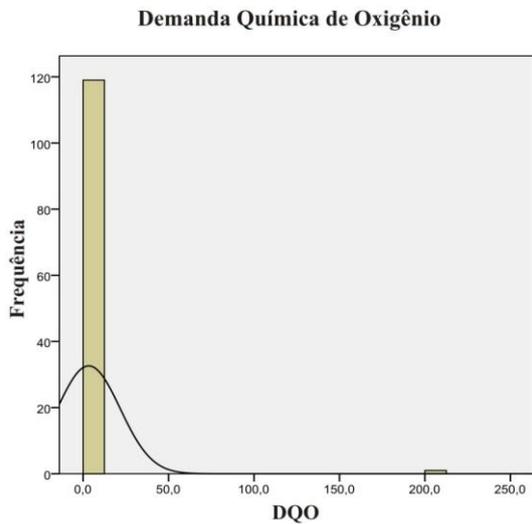
Média = 0,53
 Desvio Padrão = 0,508
 N = 93



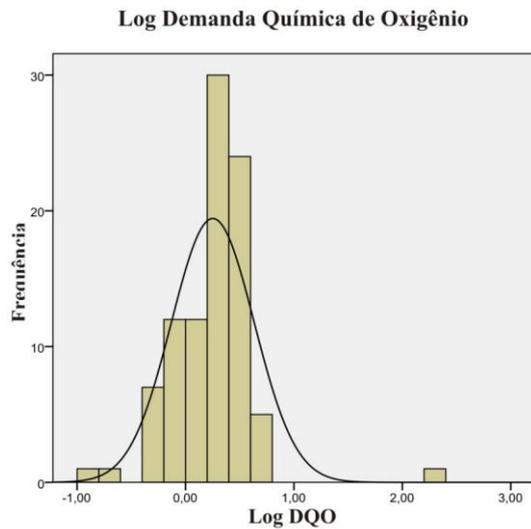
Média = 63,03
Desvio Padrão = 184,559
N = 120



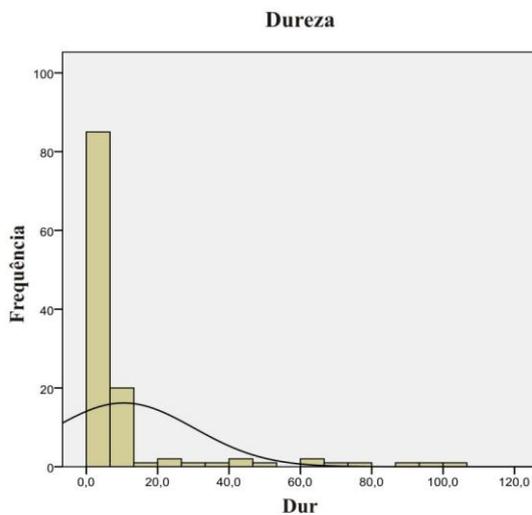
Média = 1,58
Desvio Padrão = 0,449
N = 93



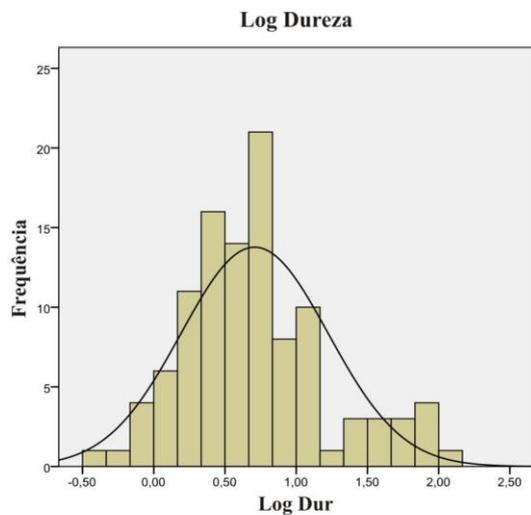
Média = 3,28
Desvio Padrão = 18,343
N = 120



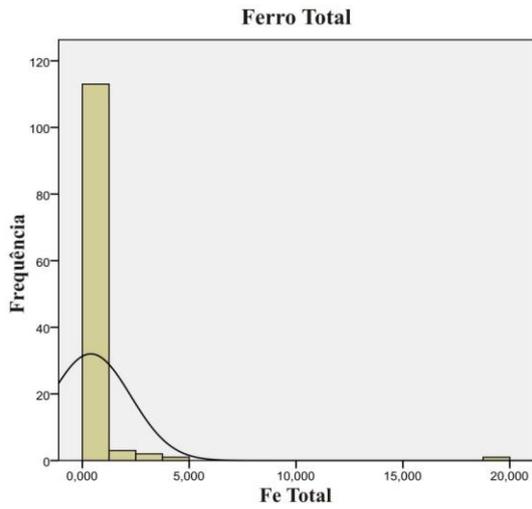
Média = 0,25
Desvio Padrão = 0,382
N = 93



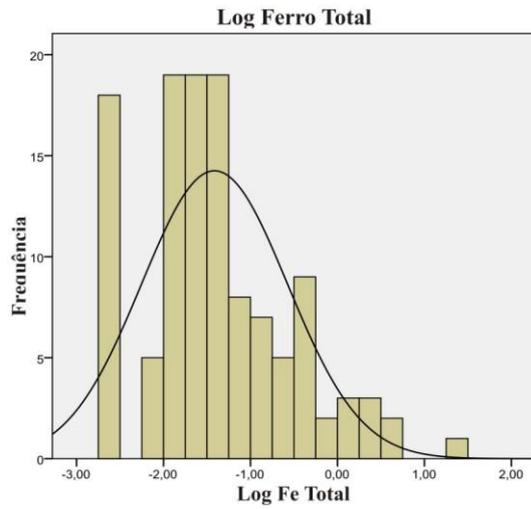
Média = 10,48
Desvio Padrão = 19,716
N = 120



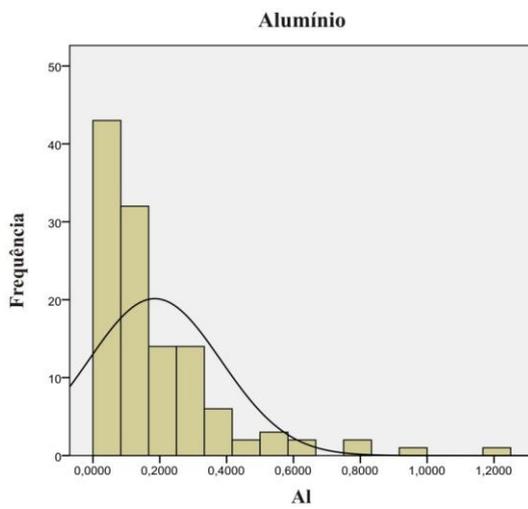
Média = 0,71
Desvio Padrão = 0,517
N = 107



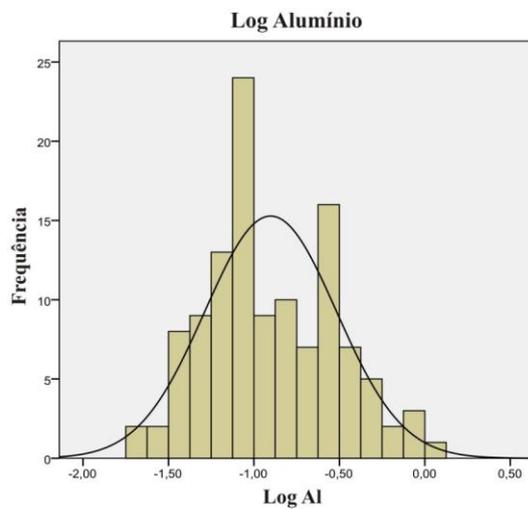
Média = 0,39
Desvio Padrão = 1,868
N = 120



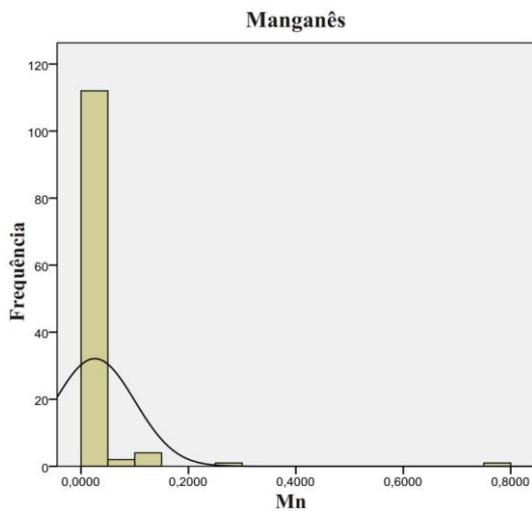
Média = -1,41
Desvio Padrão = 0,84
N = 120



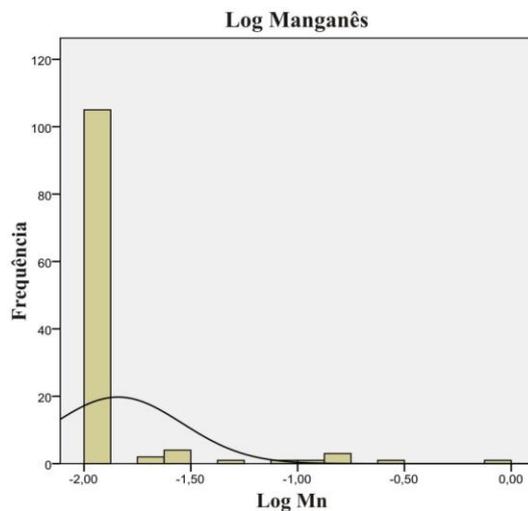
Média = 0,19
Desvio Padrão = 0,198
N = 120



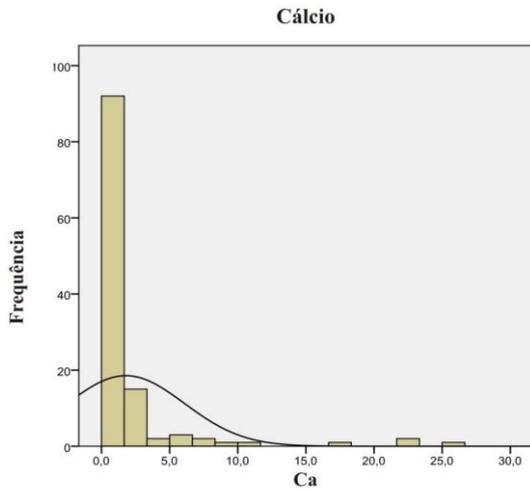
Média = -0,90
Desvio Padrão = 0,385
N = 118



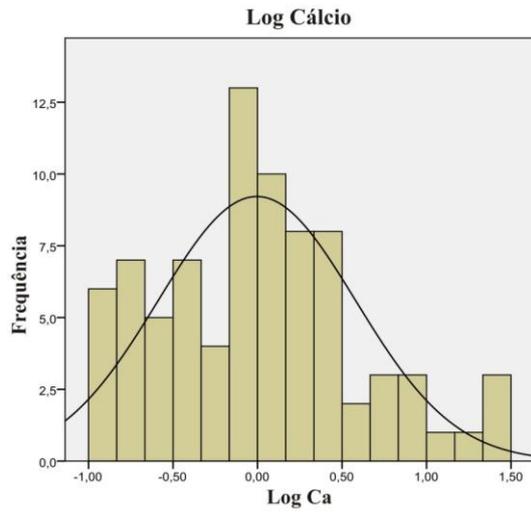
Média = 0,03
Desvio Padrão = 0,075
N = 120



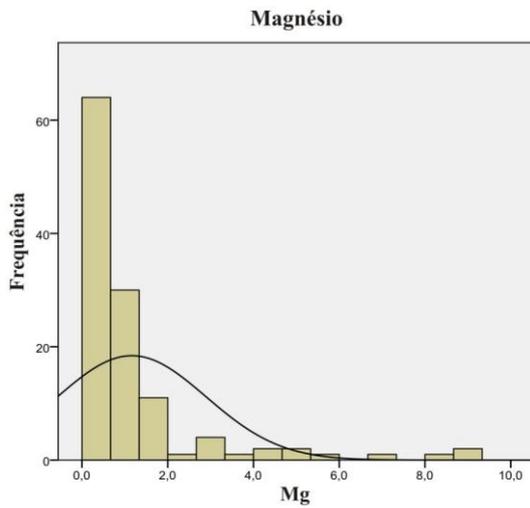
Média = -1,84
Desvio Padrão = 0,030
N = 119



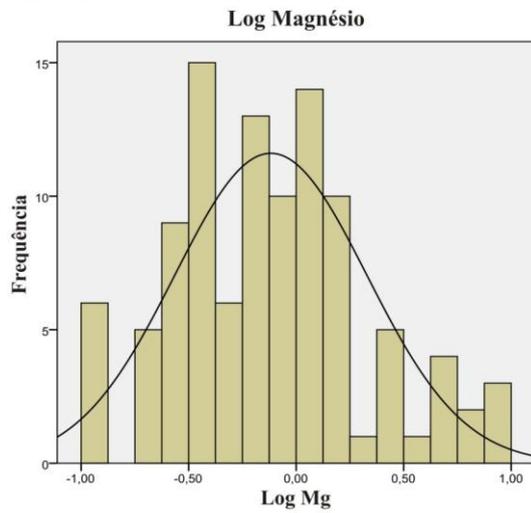
Média = 1,18
Desvio Padrão = 4,303
N = 120



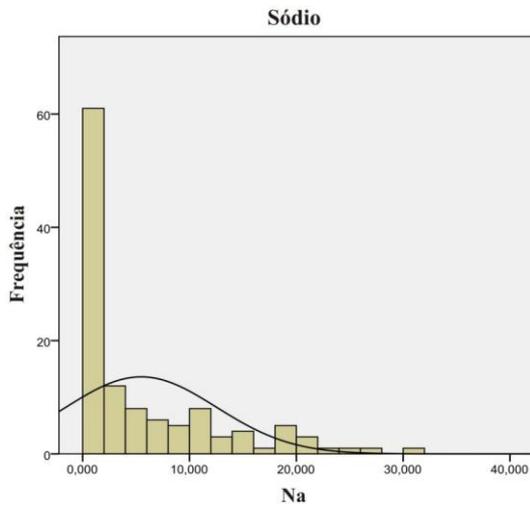
Média = 0,00
Desvio Padrão = 0,584
N = 81



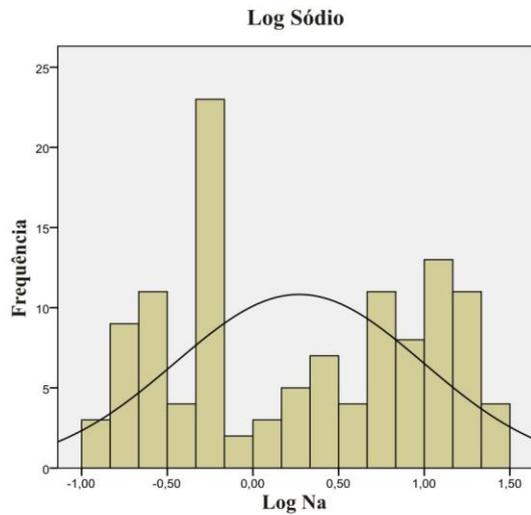
Média = 1,16
Desvio Padrão = 1,732
N = 120



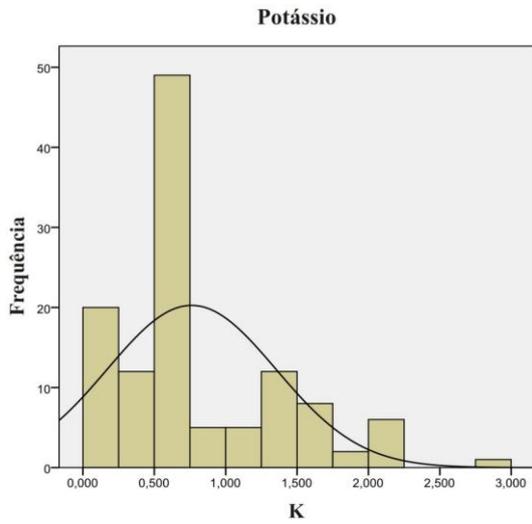
Média = -0,12
Desvio Padrão = 0,447
N = 104



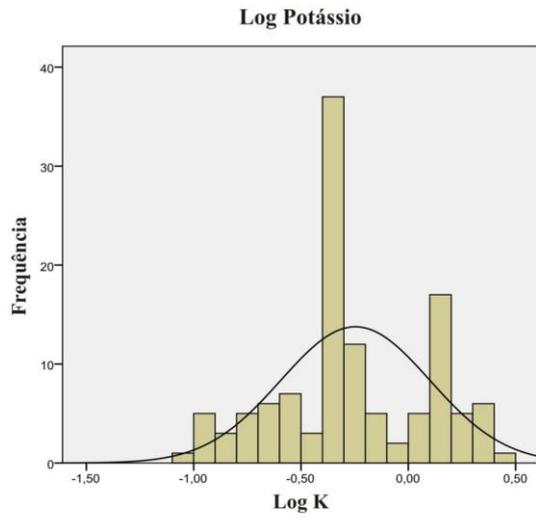
Média = 5,48
Desvio Padrão = 7,039
N = 120



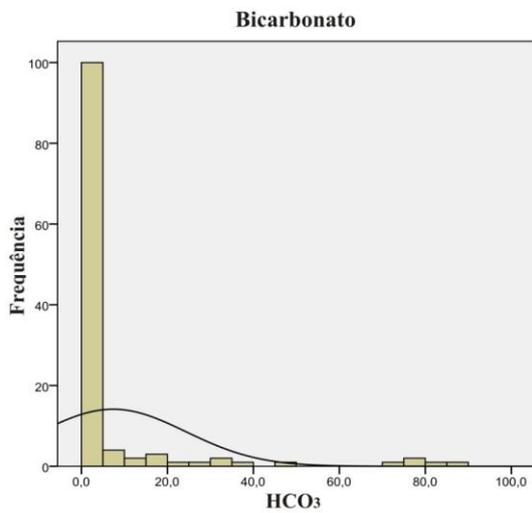
Média = 0,27
Desvio Padrão = 0,725
N = 118



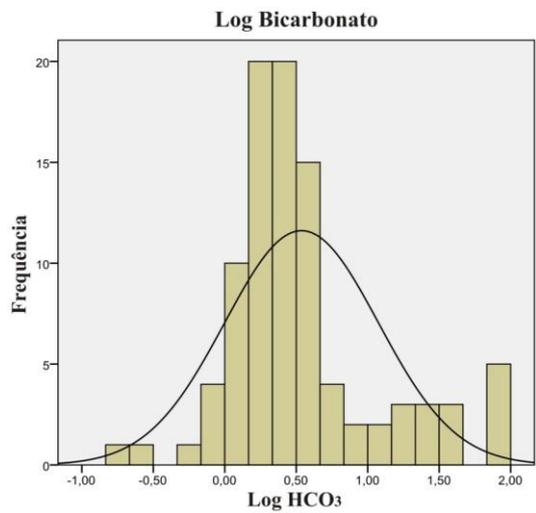
Média = 0,76
Desvio Padrão = 0,591
N = 120



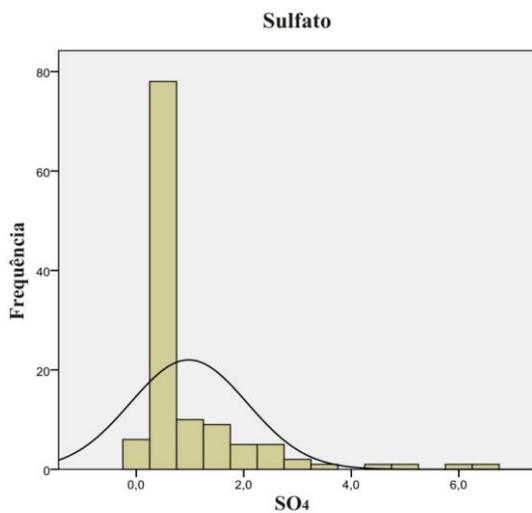
Média = -0,25
Desvio Padrão = 0,348
N = 120



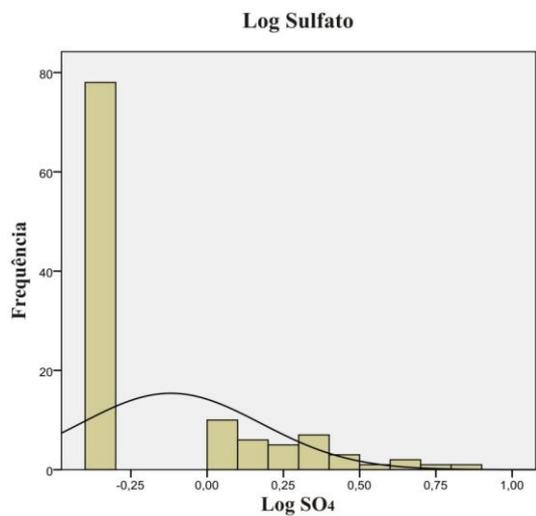
Média = 7,36
Desvio Padrão = 16,939
N = 120



Média = 0,54
Desvio Padrão = 0,538
N = 94

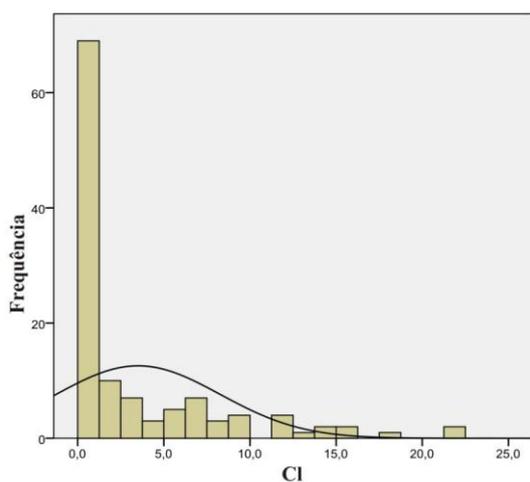


Média = 0,98
Desvio Padrão = 1,088
N = 120



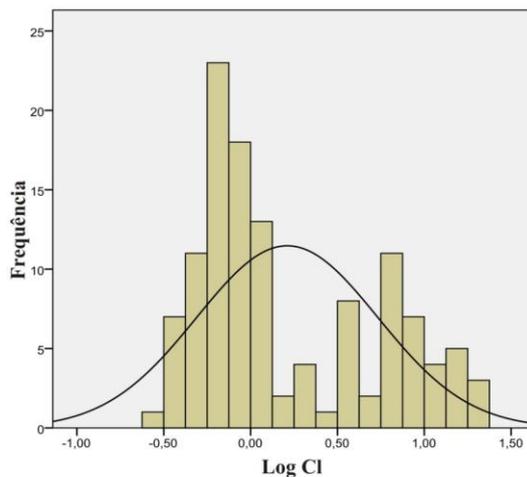
Média = -0,12
Desvio Padrão = 0,296
N = 114

Cloreto



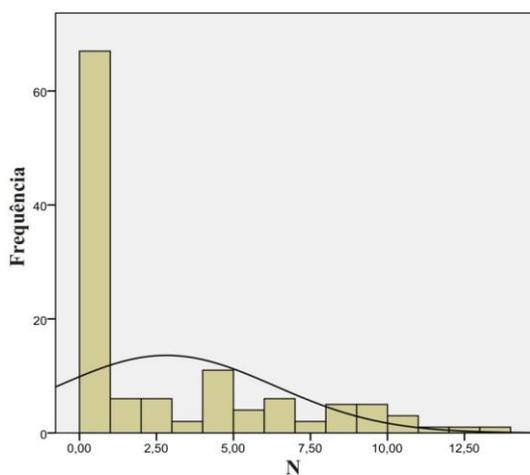
Média = 3,51
Desvio Padrão = 4,757
N = 120

Log Cloreto



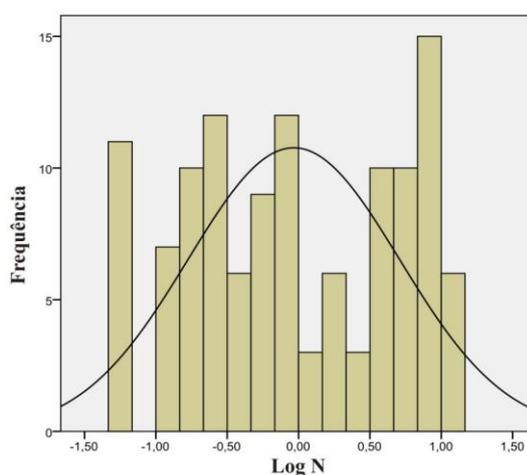
Média = 0,21
Desvio Padrão = 0,522
N = 120

Nitrogênio Total



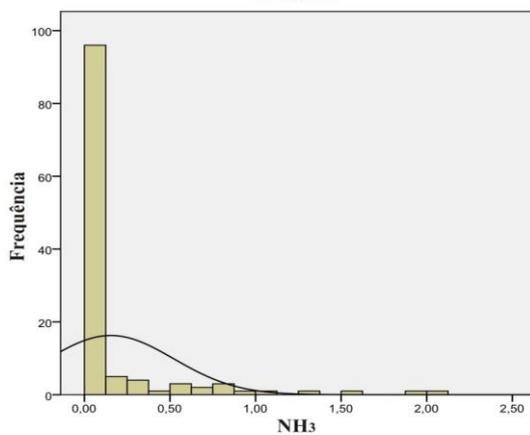
Média = 2,82
Desvio Padrão = 3,521
N = 120

Log Nitrogênio Total



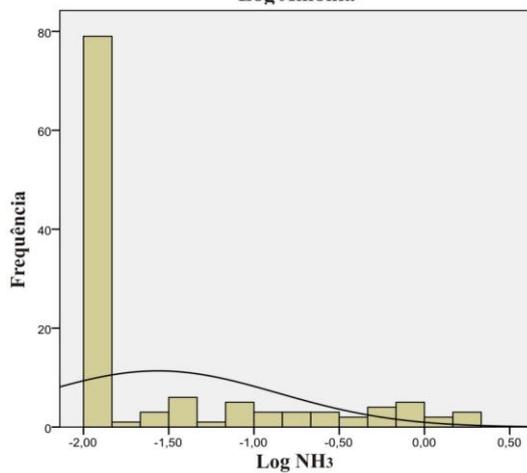
Média = - 0,03
Desvio Padrão = 0,741
N = 120

Amônia

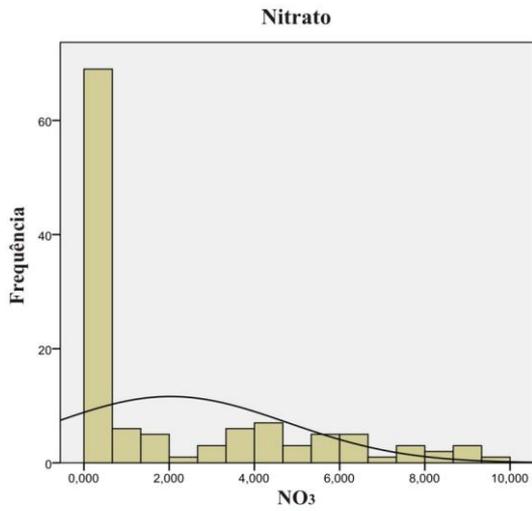


Média = 0,15
Desvio Padrão = 0,368
N = 120

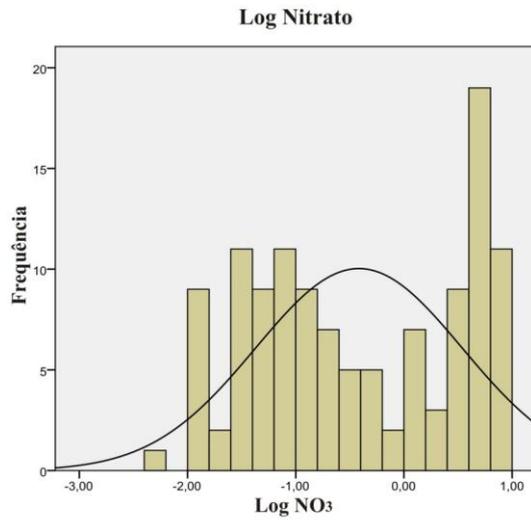
Log Amônia



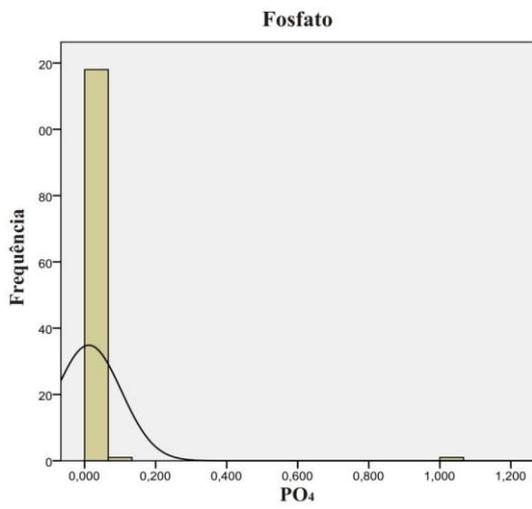
Média = -1,56
Desvio Padrão = 0,702
N = 120



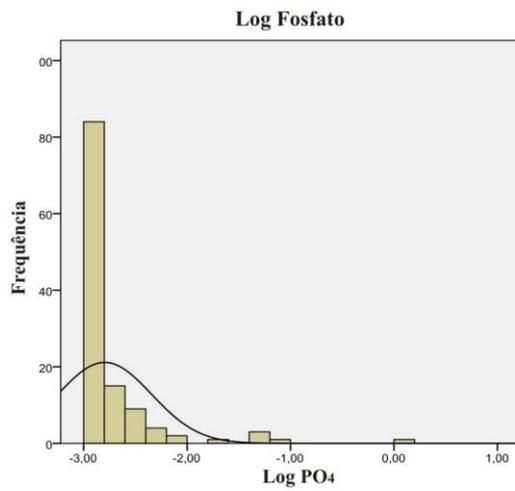
Média = 2,03
Desvio Padrão = 2,745
N = 120



Média = -0,42
Desvio Padrão = 0,955
N = 120



Média = 0,01
Desvio Padrão = 0,092
N = 120



Média = -2,80
Desvio Padrão = 0,453
N = 120

Anexo D

Correlação Bivariável

Coeficiente de Pearson																								
	pH	Turb	SS	Cond	SDT	Alca	CO ₂ LC	DQO	Dur	Fe	Al	Mn	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	N	NH ₃	NO ₃	PO ₄	
pH	1																							
Turb	,243**	1																						
SS	,129	,790**	1																					
Cond	-,129	,126	,106	1																				
SDT	,039	,165	,149	,794**	1																			
Alca	,661**	,299**	,132	,403**	,499**	1																		
CO ₂ LC	-,189*	-,032	-,032	,079	,136	,056	1																	
DQO	-,033	-,018	-,021	-,062	-,026	-,020	,004	1																
Dur	,750**	,257**	,115	,365**	,436**	,777**	-,107	-,041	1															
Fe	,153	,917**	,777**	,064	,096	,146	-,028	-,019	,138	1														
Al	-,452**	,014	,225*	,585**	,419**	-,165	,008	-,056	-,110	,071	1													
Mn	,368**	,679**	,402**	,285**	,343**	,591**	-,047	-,016	,489**	,438**	-,070	1												
Ca	,587**	,348**	,175	,534**	,583**	,961**	-,078	-,032	,794**	,171	-,024	,663**	1											
Mg	,545**	,214*	,100	,388**	,469**	,779**	-,114	-,031	,718**	,159	-,088	,379**	,764**	1										
Na	-,441**	-,062	,012	,839**	,628**	-,069	,098	-,049	,012	-,025	,671**	-,046	,071	,051	1									
K	-,451**	-,071	,016	,757**	,543**	-,074	,085	-,080	,012	-,045	,624**	-,078	,055	,016	,819**	1								
HCO ₃	,559**	,263**	,113	,400**	,419**	,889**	,037	-,025	,691**	,124	-,107	,528**	,862**	,689**	-,027	-,030	1							
SO ₄	,328**	,265**	,171	,335**	,345**	,564**	,006	-,030	,460**	,107	,075	,521**	,622**	,420**	,079	-,001	,493**	1						
Cl	-,477**	-,054	,016	,776**	,539**	-,180*	,154	-,039	-,097	-,007	,633**	-,093	-,055	-,070	,923**	,776**	-,133	-,008	1					
N	-,587**	-,070	,019	,769**	,480**	-,234**	,137	-,052	-,141	-,030	,695**	-,113	-,090	-,111	,914**	,862**	-,164	-,046	,912**	1				
NH ₃	-,192*	-,053	-,037	,518**	,338**	-,073	,179	-,026	-,018	-,036	,362**	-,060	-,020	,000	,591**	,496**	-,035	,068	,709**	,603**	1			
NO ₃	-,595**	-,101	,001	,759**	,491**	-,244**	,113	-,047	-,143	-,057	,726**	-,137	-,095	-,122	,912**	,843**	-,156	-,086	,898**	,966**	,552**	1		
PO ₄	,216*	-,014	-,025	,000	,026	,108	-,031	-,016	,083	-,019	-,031	-,016	,085	,123	-,068	-,030	,093	,027	-,069	-,089	-,045	-,082	1	

** A Correlação de Pearson é significatica a 0.01.

* A Correlação de Pearson é significatica a 0.05.

Anexo E

Principais Componentes

	Principal Componente				
	1	2	3	4	5
pH	-,475	,639	,106	-,127	,138
Turb	-,036	,195	,936	-,008	-,008
SS	,039	,059	,874	-,012	-,010
Cond	,860	,465	,046	,009	,006
SDT	,589	,497	,073	,088	,015
Alca	-,093	,963	,087	,082	,032
CO ₂ LC	,082	-,019	-,018	,994	-,013
DQO	-,044	-,022	-,011	,003	-,009
Dur	-,008	,805	,077	-,079	,015
Fe Total	-,011	,066	,976	-,008	-,006
Al	,670	-,102	,100	-,041	,007
Mn	-,035	,479	,426	-,023	-,036
Ca	,059	,942	,120	-,064	,019
Mg	,014	,798	,076	-,091	,054
Na	,962	,009	-,025	,010	-,027
K	,881	,007	-,031	,006	,008
HCO ₃	-,036	,930	,070	,055	,024
SO ₄	,027	,452	,097	,008	-,002
Cl	,928	-,109	,004	,059	-,017
N Total	,965	-,149	-,008	,048	-,032
NH ₃	,543	-,017	-,032	,088	-,012
NO ₃	,961	-,145	-,036	,026	-,027
PO ₄	-,046	,078	-,020	-,013	,995

Método de Extração: Análise de Principal Componente.

Método de Rotação: Varimax com normalização de Kaiser.

a. A rotação convergiu em 9 iterações.

Anexo F

Análise de Grupos

	Grupos				
	1	2	3	4	5
	13 casos	5 casos	64 casos	34 casos	2 casos
pH	5,2	4,5	5,2	5,0	4,4
Turb	10,6	0,4	1,0	8,8	0,4
SS	3	1	1	5	0
Cond	153,0	72,3	13,1	83,4	92,9
SDT	104,2	49,2	6,6	33,4	63,1
Alca	24,3	4,3	2,4	8,1	15,8
CO₂ LC	18,98	265,84	35,76	25,64	1400
DQO	2,8	2,1	4,7	1,3	2,5
Dur	31,9	3,3	5,4	13,8	1,6
Fe Total	0,540	0,010	0,101	0,984	0,041
Al	0,3973	0,2628	0,0950	0,2655	0,2165
Mn	0,0971	0,0109	0,0160	0,0206	0,0105
Ca	8,2	0,7	0,3	2,5	0,4
Mg	2,8	0,4	0,6	1,9	0,2
Na	16,166	8,710	0,924	9,448	11,670
K	1,491	1,604	0,405	1,060	0,880
HCO₃	24,3	4,3	2,3	10,7	15,8
SO₄	1,9	0,8	0,8	1,0	1,2
Cl	10,5	5,4	0,8	5,4	9,6
N Total	6,96	4,71	0,68	4,91	6,64
NH₃	0,49	0,18	0,04	0,21	0,74
NO₃	5,371	3,843	0,409	3,513	4,453
PO₄	0,001	0,003	0,001	0,038	0,001

Anexo G

***Rótulo da Água Potável de Mesa Hydrate, Fonte Jardim Botânico I e
Mapa de Localização do Empreendimento***

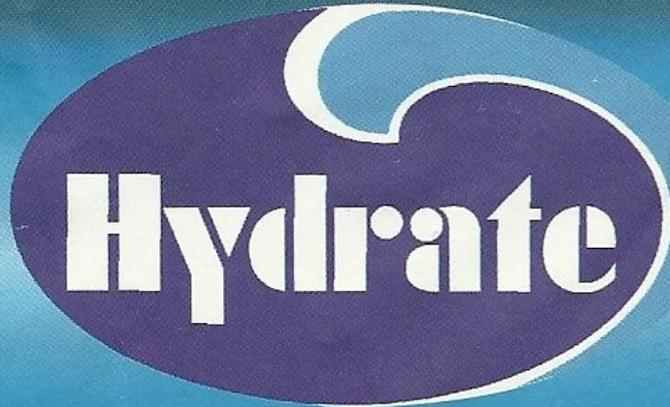
JAN FEV MAR ABR MAI JUN JUL AGO SET OUT NOV DEZ / 2009 / 2010



CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

pH a 25°C.....4,55
Condutividade Elétrica a 25°C.....29,8 µS/cm
Temperatura da Água: na fonte.....24,7 °C
Resíduo de evaporação a 180°C, calculado...24,95 mg/L
Boletim nº 228/ LAMIN/ 08 de 16/04/08 - LAMIN/CPRM
Classificação no DNPM: Água Potável de Mesa
Portaria de Lavra nº 17 de 02/02/2000
D.O.U. de 03/02/2000
Processo nº 760.819/96 - DNPM
Reg. M.S. nº 6.2137.0001.001-4

ÁGUA NATURAL



Brasília - DF

FONTE JARDIM BOTÂNICO I

CONTEÚDO: 20 LITROS

SEM GÁS

INDÚSTRIA BRASILEIRA

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (mg/L)

Bário.....	0,012	Sódio.....	4,07
Cálcio.....	0,09	Nitrato.....	6,30
Magnésio.....	0,10	Cloreto.....	1,57
Potássio.....	0,62	Bicarbonato.....	3,67

Concessionária:

CALEVI MINERADORA E COMÉRCIO LTDA

CNPJ:03.160.007/0001-69

CF/DF-07396398/001-22

Local da Fonte: FAZENDA TABOQUINHA, ÁREA 19

Mansões Mata da Anta, Chácara 19 - Brasília - DF

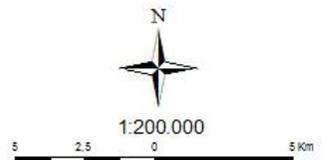
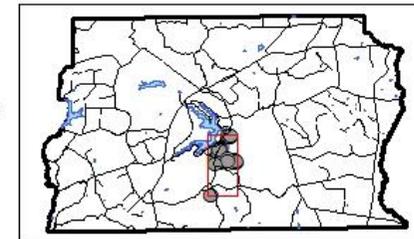
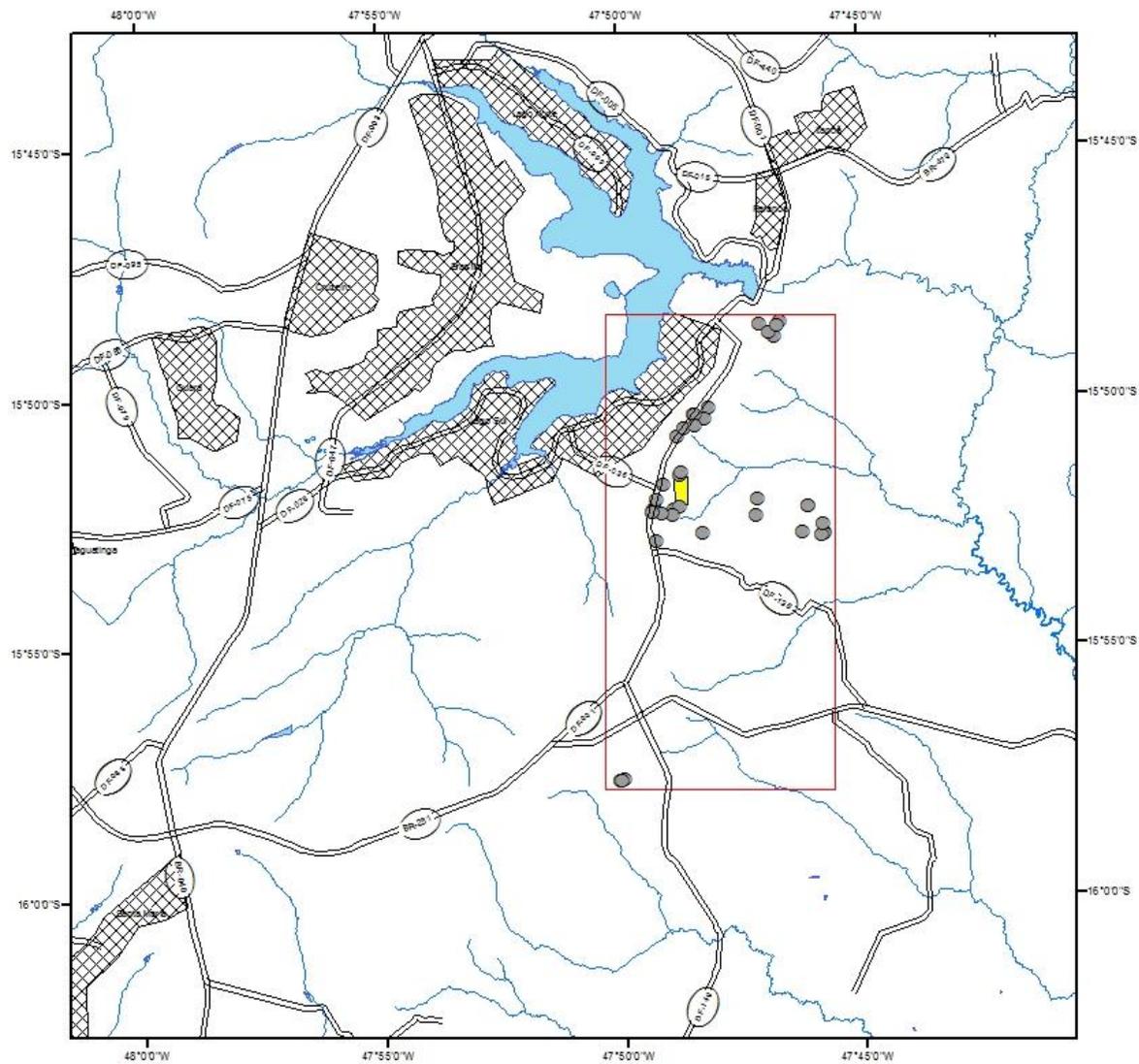
Fone: (0xx61) 3427-1133 Telefax: (0xx61) 3427-1122

Não Contém Glutém

VALIDADE: 12 MESES

Data de Envase: Vide Borda

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31



1:200.000
 Convenções Cartográficas
 Sistema de Projeção Geográfica
 SAD 69

- LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO** (Fonte: Mapa Rodoviário do DF, 1994)
- Rodovias
 - ▣ Cidades
- ÁREA DE ESTUDOS**
- ▭ Poligonal
 - Poços para Abastecimento Humano
 - ▭ Poligonal da Calevi Mineradora e Comércio Ltda
 Fonte Jardim Botânico
 Processo DNPM 760.819/1996

Anexo H

*Parâmetros Físico-Químicos para Avaliação da Qualidade das Águas
Subterrâneas e Consequências da Ingestão de Contaminantes sobre a Saúde
Humana.*

Potencial Hidrogeniônico (pH)

O termo pH é usado universalmente para expressar o grau de acidez ou basicidade de uma solução, ou seja, é o modo de expressar a concentração de íons de hidrogênio. A precipitação química de metais pesados e a oxidação química de cianeto ocorrem em pH elevado, a redução do cromo hexavalente à forma trivalente e a oxidação química de fenóis ocorrem em pH baixo, a quebra de emulsões oleosas mediante acidificação e o arraste de amônia convertida à forma gasosa se dá mediante elevação de pH.

Turbidez

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação da intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos em suspensão. Esta atenuação se dá por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz. A má construção dos poços e o bombeamento excessivo de água aumentam o valor da turbidez da água.

Sólidos em Suspensão

O material em suspensão é o material particulado não dissolvido, composto por substâncias inorgânicas e orgânicas. Sua principal influência é na diminuição da transparência da água, impedindo a penetração da luz, ou seja, no aumento da turbidez.

Sólidos Totais Dissolvidos

Sólidos totais dissolvidos são o conjunto de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas contidas na água sob formas moleculares, ionizadas ou micro-granulares. É um bom parâmetro de determinação da qualidade da água, pois avalia o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. As principais substâncias dissolvidas são carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, cálcio, magnésio, sódio e íons orgânicos, entre outros íons.

Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é a expressão numérica da capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons

dissolvidos na água. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. Em águas continentais, os íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade elétrica são, entre outros, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, os carbonatos, os sulfatos e os cloretos.

Este parâmetro varia de acordo com a temperatura e a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes (CETESB, 2008).

Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO é um parâmetro indispensável nos estudos de caracterização águas impactados por esgotos sanitários e efluentes industriais. É a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico. Valores altos indicam contaminação (CETESB, 2008).

Flúor

O flúor é o mais eletronegativo de todos os elementos químicos, tão reativo que nunca é encontrado em sua forma elementar na natureza, sendo normalmente encontrado na sua forma combinada como fluoreto.

Traços de fluoreto são normalmente encontrados em águas naturais superficiais e concentrações elevadas geralmente estão associadas com águas subterrâneas e com áreas onde existam depósitos geológicos de origem marinha. Alguns efluentes industriais também descarregam fluoreto nas águas naturais. São os casos das indústrias de vidro e de fios condutores de eletricidade. Outras fontes de fluoreto são as pastas de dente, gomas de mascar, vitaminas e remédios.

O fluoreto ingerido através da água é quase completamente absorvido pelo corpo humano, diferentemente do que ocorre com o flúor presente nos alimentos; a absorção em alguns casos, como através de peixes e outras carnes, chega apenas a 25%.

Uma vez absorvido, o fluoreto é distribuído rapidamente pelo corpo humano, grande parte é retida nos ossos, enquanto que uma pequena parte é retida nos dentes. Outra parte

pode ser excretada pela urina e sua excreção é influenciada por uma série de fatores tais como o estado de saúde da pessoa e seu grau de exposição a esta substância (Cangussu, 2002).

Por ser retido nos dentes, o fluoreto é adicionado às águas de abastecimento público para conferir-lhes proteção à cárie uma vez que reduz a solubilidade da parte mineralizada do dente, tornando-o mais resistente à ação de bactérias e inibindo os processos enzimáticos que dissolvem a substância orgânica protéica e o material calcificante do dente.

Entretanto, por outro lado, acima da dosagem ideal provoca a Fluorose Dentária, doença que tem como consequência, a opacidade do esmalte dos dentes e aspectos que variam desde linhas esbranquiçadas e imperceptíveis, até áreas completamente destruídas (Cangussu, 2002). Dependendo da sua intensidade, a Fluorose Dentária pode ser um simples problema estético ou uma enfermidade grave.

Ferro

O ferro aparece em águas subterrâneas devido principalmente à dissolução de minerais ricos no elemento pelo gás carbônico da água, conforme a reação: $Fe + CO_2 + \frac{1}{2} O_2 \leftrightarrow FeCO_3$. Nas águas minerais, pode estar presente na forma ferrosa, reduzida e mais absorvível. Todavia o carbonato ferroso é mais solúvel e frequentemente é encontrado em águas de poços contendo elevados níveis de concentração de ferro.

O elemento confere sabor à água, eleva a cor e diminui a turbidez. Quando em sobrecarga no organismo humano contribui para carcinogênese e provoca a Hemocromatose, uma doença caracterizada pelo depósito de ferro no fígado, pâncreas, coração e hipófise. Com o desenvolvimento da doença, esses órgãos perdem progressivamente suas funções (Jorge, 2006).

Além disso, o excesso de ferro também traz o problema do desenvolvimento de crostas ferrosas nas canalizações e de ferro-bactérias, com consequente contaminação biológica da água na própria rede de distribuição (CETESB, 2008).

Alumínio

Na água, o alumínio é influenciado pelo pH, temperatura e presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes.

Possui solubilidade baixa no intervalo de pH entre 5,5 e 6,0 e ocorre em maiores concentrações em profundidade, onde o pH é menor e pode ocorrer anaerobiose.

Se a estratificação, e conseqüente anaerobiose, não for muito forte, o teor de alumínio diminui no corpo de água como um todo, à medida que se distancia a estação das chuvas. O aumento da concentração de alumínio está associado com o período de chuvas e, portanto, com o aumento da turbidez (Filho, 2000).

A principal via de exposição humana é através da ingestão por alimentos e água. O elemento é fortemente neurotóxico e, a longo prazo, pode causar encefalopatia grave naqueles que sofrem de diálise renal (Reiber *et al.*, 1995).

Apesar de a concentração anômala de alumínio na água ter aspectos organolépticos, existe um considerável debate no círculo médico relatando o papel deste metal na incidência do mal de Alzheimer, que é uma doença cerebral degenerativa de etiologia desconhecida caracterizada pela presença de um grande número de estruturas neurofibrilares e placas senis em regiões do cérebro (Perl e Good, 1988).

Manganês

O comportamento do manganês nas águas é muito semelhante ao do ferro em seus aspectos os mais diversos, sendo que a sua ocorrência é mais rara.

O elemento ocorre nas águas minerais ácidas onde desenvolve coloração negra, podendo se apresentar nos estados de oxidação Mn^{+2} (forma mais solúvel) e Mn^{+4} (forma menos solúvel).

Uma pessoa adulta contém normalmente de 10 a 20 miligramas de manganês, situado principalmente nos ossos, no fígado e nos rins. O índice de assimilação é de aproximadamente 3% do total contido nos alimentos e na água.

Sua ingestão em excesso contribui para casos de oclusões coronárias e artrite reumatóide; foram encontrados altos teores de manganês no sangue de pessoas com essas sintomatologias. Além disso, o envenenamento por manganês causa distúrbios neurológicos e psiquiátricos (Cortecci, 2010).

Sódio

Todas as águas naturais contêm sódio já que seus sais são altamente solúveis, podendo ser considerado um dos elementos mais abundantes na Terra. As concentrações de sódio nas águas variam consideravelmente dependendo das condições geológicas do local e das descargas de esgotos e efluentes.

O sódio é extremamente necessário para que o corpo humano funcione corretamente, uma vez que ajuda a manter o equilíbrio dos fluidos, auxilia na transmissão de impulsos nervosos e influencia na contração e relaxamento dos músculos.

Entretanto, em quantidades excessivas, o elemento não é totalmente eliminado pelos rins e faz com que o corpo retenha líquido, aumentando seu volume, o que ocasiona a elevação na pressão arterial, que pode levar à falência congestiva do coração, cirrose e doença dos rins (Reiber *et al.*, 1995).

Potássio

O potássio é encontrado em concentrações baixas nas águas naturais. Entretanto, sais de potássio são largamente usados na indústria e em fertilizantes agrícolas, entrando nas águas doces principalmente através de descargas industriais e da lixiviação das terras agricultadas. É usualmente encontrado na forma iônica e os seus sais são altamente solúveis. Concentrações em águas naturais são usualmente menores que 10 mg/L.

Sua carência nos humanos pode causar acne, prisão de ventre, depressão, cansaço, problemas de crescimento, insônia, fraqueza muscular, nervosismo, dificuldades respiratórias, retenção de sal paralisia e decaimento dos batimentos cardíacos. Seu excesso, a hipercaliêmia ou hiperpotassemia, causa fraqueza e dificuldade na articulação das palavras (Shils, 1994).

Cloreto

O cloreto se apresenta em altas concentrações nas águas subterrâneas principalmente em consequência de descargas de esgotos sanitários, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca 6 gramas de cloreto por dia, o que faz com que os esgotos apresentem concentrações de cloreto que ultrapassam a 15 mg/L.

Além disso, diversos são os efluentes industriais que apresentam concentrações de cloreto elevadas como os da indústria do petróleo, algumas indústrias farmacêuticas, curtumes, etc. Nas regiões costeiras, através das intrusões salinas, também são encontradas águas com níveis altos de cloreto.

O cloreto provoca sabor salgado na água, sendo o cloreto de sódio o mais restritivo por provocar sabor mesmo em baixas concentrações. No caso do cloreto de cálcio, o sabor só é perceptível em concentrações de cloreto superiores a 1000 mg/L. Embora haja populações árabes adaptadas no uso de águas contendo 2.000 mg/L de cloreto, são comuns os efeitos laxativos (CETESB, 2008).

Compostos Nitrogenados

O nitrogênio na forma do íon nitrato (NO_3) é o contaminante mais comum das águas subterrâneas. Além da forma de nitrato, que é a principal, o nitrogênio também ocorre na forma de amônio (NH_4), amônia (NH_3), nitrito (NO_2), nitrogênio gasoso (N_2), óxido nitroso (N_2O) e nitrogênio orgânico.

Sua ocorrência é consequência de atividades agrícolas e do lançamento indiscriminado de esgotos sobre e abaixo do solo. Alguns efluentes industriais também concorrem para as descargas de nitrogênio orgânico e amoniacal nas águas, como algumas indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, de conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes (Filho, 2000).

O nitrogênio orgânico e o amoniacal são formas reduzidas e o nitrito e o nitrato são formas oxidadas. Devido à sua forma aniônica, o nitrato move-se na água subterrânea praticamente sem retardamento, motivo pelo qual pode ser considerado como a forma mais estável do nitrogênio dissolvido. Isto acontece principalmente em ambientes fortemente oxidantes, como é o caso das águas subterrâneas pouco profundas, em sedimentos de alta permeabilidade ou em rochas fraturadas, que possuem altos teores de oxigênio gasoso dissolvido.

Logo, pode-se associar a idade da poluição com a relação entre as formas de nitrogênio. Ou seja, se as análises de uma amostra de água demonstrarem predominância das formas reduzidas significa que o foco de poluição é recente e se encontra próximo. Se prevalecer

nitrito e nitrato, ao contrário, as descargas de esgotos se encontram mais distantes (Filho, 2000).

Sua ingestão está associada principalmente a dois efeitos adversos à saúde: a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas e a indução à Metahemoglobinemia, especialmente em crianças (Bouchard *et al.*, 1992).

O desenvolvimento da Metahemoglobinemia a partir do nitrato nas águas depende da conversão bacteriana deste para nitrito durante a digestão, o que pode ocorrer na saliva e no trato gastrointestinal (AWWA, 1990; Mato, 1996). Uma vez convertido a nitrito, o nitrogênio entra na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, o que torna o sangue azulado (por isso também conhecida como Síndrome do Bebê Azul), e pode levar à morte (Ramos *et al.*, 2006).

As crianças pequenas, principalmente as menores de três meses de idade, são bastante suscetíveis ao desenvolvimento desta doença por causa das condições mais alcalinas do seu sistema gastrointestinal (Oliveira *et al.*, 1987), fato também observado em pessoas adultas que apresentam gastroenterites, anemia, porções do estômago cirurgicamente removidas e em mulheres grávidas (Bouchard *et al.*, 1992).

Fosfato

O fósforo é o único macronutriente que não existe na atmosfera, se não unicamente em forma sólida nas rochas. Os minerais ricos neste elemento se dissolvem na água da chuva e o fósforo é levado até os rios e mares.

Também aparece em águas devido principalmente às descargas de esgotos sanitários. Nestes, os detergentes superfosfatados empregados domesticamente em larga escala constituem a principal fonte, além da própria matéria fecal, que é rica em fósforo. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas de áreas agrícolas e urbanas também podem contribuir para a presença excessiva de fósforo em águas (CETESB, 2008).

Na natureza o elemento pode se apresentar de diversas maneiras. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como a de um

detergente, por exemplo. Os ortofosfatos, por outro lado, são representados pelos radicais, que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas. Os polifosfatos ou fosfatos condensados são polímeros de ortofosfatos. No entanto, esta terceira forma não é muito importante nos estudos de controle de qualidade das águas, porque os polifosfatos sofrem hidrólise se convertendo rapidamente em ortofosfatos (Mirlean *et al.*, 2005).

Boa parte do fósforo de que precisamos é ingerido quando nos alimentamos de peixe e é armazenado nos ossos sob a forma de fosfato de cálcio. Sua falta provoca o raquitismo não somente nas crianças, mas também nos adultos, tornando seus ossos quebradiços.

Cálcio

O cálcio é o quinto elemento em abundância na crosta terrestre. Todavia não é encontrado em estado nativo na natureza, estando sempre como constituinte de rochas ou minerais. Em sua forma pura reage facilmente com o oxigênio presente na água para formar o hidróxido de cálcio, Ca(OH)_2 , com desprendimento de hidrogênio.

Por sua participação na formação óssea o cálcio é um dos elementos mais abundantes no corpo humano, sendo essencial para a transmissão nervosa, coagulação do sangue e contração muscular. Atua também na respiração celular, além de garantir uma boa formação e manutenção de ossos e dentes. Recentemente foi descoberto que o cálcio ajuda na produção dos líquidos linfáticos.

Seu excesso pode ocasionar a redução da assimilação de outros minerais essenciais ao corpo, anorexia, dificuldade de memorização, depressão, irritabilidade e fraqueza muscular (Felippe, 1990).

Também ocasiona as conhecidas Pedras ou Cálculos no Rim, que são na verdade pequenos aglomerados de uma substância conhecida como oxalato de cálcio. Este tipo de formação é mais comum em decorrência da ingestão de cálcio de origem mineral, presente no solo e conseqüentemente na água, e também em alguns suplementos alimentares (Felippe, 1990).

Magnésio

O magnésio é o sexto elemento em abundância na crosta terrestre, e o terceiro mais abundante dissolvido na água de mar.

É um elemento químico essencial para o homem. A maior parte do magnésio no organismo é encontrada nos ossos e, seus íons desempenham papéis de importância na atividade de muitas coenzimas e, em reações que dependem da ATP. Também exerce um papel estrutural: o íon de Mg^{2+} tem uma função estabilizadora para a estrutura de cadeias de ADN e ARN (Felippe, 1990).

Seu excesso causa rubor facial, hipotensão, fraqueza muscular, náuseas, insuficiência respiratória, boca seca e sede crônica (Felippe, 1990).

Enxofre

O enxofre, junto com o hidrogênio e o oxigênio, são alguns dos poucos não-metais que podem ser encontrados livres na natureza.

As fontes de enxofre para os ambientes aquáticos são principalmente três: decomposição de rochas, chuvas (lavagem da atmosfera) e agricultura (através da aplicação de adubos contendo enxofre)

Nas águas o enxofre pode se apresentar de diversas formas, tais como íon sulfato (SO_4^{2-}), íon sulfito (SO_3^{2-}), íon sulfeto (S^{2-}), gás sulfídrico (H_2S), dióxido de enxofre (SO_2), ácido sulfúrico (H_2SO_4), enxofre molecular (S_0), associado a metais (como FeS), etc. Dentre essas várias formas, o íon sulfato e o gás sulfídrico são as formas mais frequentes nas águas, sendo que o íon sulfato assume maior importância na produtividade do ecossistema por constituir a principal fonte de enxofre para os produtores primários.

O dióxido de enxofre é bastante tóxico e reage com a água da atmosfera produzindo a chuva ácida. Em altas concentrações reage também com a água dos pulmões formando ácido sulfuroso que provoca hemorragias, enchendo os pulmões de sangue com conseqüente asfixia (Cortecci, 2010). O sulfeto de hidrogênio é muito fétido, mesmo em baixas concentrações. Quando a concentração aumenta o sentido do olfato rapidamente se satura desapercebendo o odor. Seus efeitos também podem ser letais (Cortecci, 2010).

Dureza

A dureza da água é uma propriedade relacionada principalmente à presença de sais de cálcio e magnésio. Eventualmente zinco, estrôncio, ferro e alumínio também podem ser levados em conta na aferição do parâmetro.

Esta propriedade é composta de duas partes, a dureza temporária e a dureza permanente. A dureza temporária é gerada pela presença de carbonatos e bicarbonatos e pode ser eliminada por meio de fervura da água. A dureza permanente é devida à presença de cloretos, nitratos e sulfatos e não é suscetível à fervura. À somatória da dureza temporária e permanente dá-se o nome de Dureza Geral ou Total da água.

Carbonatos e Bicarbonatos

Os carbonatos são sais inorgânicos que apresentam na sua composição química o íon CO_3^{-2} . Os bicarbonatos são sais que contêm o ânion HCO_3^- .

Eles se encontram em equilíbrio com a água e o dióxido de carbono. Por serem sais derivados de ácidos fracos, têm caráter básico. Em água, hidrolisam, produzindo uma base mais forte.

Dióxidos de Carbono Livre

Para evitar que se precipitem os sais que causam a dureza da água, é necessário que exista uma quantidade de dióxido de carbono livre proporcional à concentração dos carbonatos e bicarbonatos de cálcio e de magnésio. Esta concentração de dióxido de carbono livre é denominada dióxido de carbono equilibrante.

Quando a concentração de dióxido de carbono livre é excessiva, atua como ácido carbônico de caráter agressivo. Se pelo contrário é insuficiente, precipitam os carbonatos e bicarbonatos de cálcio e de magnésio formando sedimentos de difícil separação.

Os processos microbiológicos de decomposição de matéria orgânica são fontes importantes de dióxido de carbono nos sistemas aquíferos (CETESB).

Alcalinidade

A alcalinidade representa a capacidade que um sistema aquoso tem de neutralizar ácidos a ele adicionados. É condicionado principalmente aos carbonatos e bicarbonatos e, secundariamente, aos íons hidróxidos, silicatos, boratos, fosfatos e amônia. A alcalinidade total é a soma da alcalinidade produzida por todos esses íons.

Referencias Bibliográficas

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). **Water quality and treatment: a handbook of community water supplies**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1990.

ANA. **Estudo de Consolidação dos Procedimentos Metodológicos na Elaboração do Relatório de Conjuntura de Recursos Hídricos / Relatório Final – RF / Estruturação da Base de Dados**. Estudos realizados pela empresa TC/BR Tecnologia e Consultoria Brasileira S.A. – Brasília: SPR, 2005. 118p.

BOUCHARD, D. C.; WILLIAMS, M. K.; SURAMPALLI, R. Y. Nitrate contamination of round water: sources and potential health effects, **Journal of American Water Works Association**, Denver, v.84, p.85-90, 1992.

CANGUSSU; M.C.T; et al. A fluorose dentária no Brasil: uma revisão crítica. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 18(1): p.7-15, jan-fev, 2002

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. CETESB, São Paulo. 40p. 2008.

CORTECCI, G. Geomedicina: Geologia e Saúde. **Serviço Geológico do Brasil**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 13 jan. 2010.

FELIPPE, J. JR. **Distúrbios Hidroeletrolíticos: Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, PO₄ e Mg⁺⁺**. Pronto Socorro: Fisiopatologia – Diagnóstico – Tratamento, Guanabara Koogan, 2. ed. Rio de Janeiro, p.82-97. Cap. 10. 1990

FILHO, J.M Contaminação das Águas Subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; FIHO, J.M (Coord.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza – CE, CPRM, LABHID-UFPE, 2. ed. Cap. 6, p.109-132. 2000.

GARDUÑO, H. ARREGUIN-CORTES, F. **Efficient Water Use**. In Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. Coordenado por Fernando A.C. Feitosa e João Manoel Filho. Fortaleza, CPRM/REFO, LABIH-UFPE, 2000. 391p.

HABERMEHL, M. A. **Ground water in Australia, 18th Intl**. In: CONGRESS OF IAH, p.31-52. 1985.

IBGE. Contém informações institucionais, técnicas, notícias, projetos, publicações e serviços. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 10 out. 2009.

JORGE, S.G. Hemocromatose Hereditária. **Hepatologia Médica, Ciência e Ética**. Artigo criado em 2003 e revisado em de 12 de dez. de 2006.

MATO, A. P. **Determinação de nitratos, nitritos e prováveis fontes de contaminação em águas de poços e sua influência na metemoglobinemia infantil**. 122p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). Universidade Mackenzie. METCALF & EDDY INC. **Wastewater**, São Paulo, 1996.

MIRLEAN, N. et al. O impacto industrial na composição química das águas subterrâneas com enfoque de consumo humano (Rio Grande, RS). **Quím. Nova** v. 28 . São Paulo Sept./Oct. 2005

OECD- Organization for Economic CO-operation and Development. Water resources manangement - integrated policies in Europe. OECD, Paris, 1989. 199p.

OLIVEIRA, A.M.S. et al. **Questões metodológicas em diagnósticos regionais de erosão: a experiência pioneira da Bacia do Peixe-Paranapanema, SP**. In: Simpósio NACIONAL DE CONTROLE DE EROSAO, 3, MARÍLIA, 1987. Anais... São Paulo: ABGE, p. 51-71. 1987

PERL, D. P.; GOOD, P. F. Aluminum, environmental and central nervous system disease. **Environmental Technology Letters**, 9: p.901-906. 1988.

RAMOS, L.A. et al. Determinação de nitrito em águas utilizando extrato de flores. **Quím. Nova** v. **29** . São Paulo Sept./Oct. 2006.

REIBER, S.; KUKULL, W.; STANDISH-LEE, P. Drinking water aluminum and bioavailability. **Journal of the American Water Works Association**, 87: p.86-99. 1995.

SHILS, M. E. Modern Nutrition in Health and Disease. **Lindsay H Allen and Richard J. Wood**, 8 a Ed. Philadelphia. p.155-163. Cap. 7. 1994 .

SOLLEY, W.B.; PIERCE, R.R.; PERLMAN, H.A. **Estimated use of water in the United States in 1990**, US Geological Survey. Circular 1081, Denver, USA. 1993.

UNESCO. *Declaração Universal dos Direitos da Água*. **UNESCO**. 1992.

ZOBY, J.L.G.; MATOS, B. **Águas subterrâneas no Brasil e sua inserção na Política Nacional de Recursos Hídricos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., Florianópolis, 2002. Florianópolis: ABAS, 2002. CD-ROM.

Anexo I

Artigo Submetido:

***QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO DISTRITO FEDERAL: OS
POÇOS TUBULARES PROFUNDOS DO SETOR HABITACIONAL
JARDIM BOTÂNICO***

Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology.
