



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG**

HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO DISTRITO FEDERAL

Moema Guimarães Morgado Mizuno

Dissertação de Mestrado
Nº 302

**Brasília – DF
Setembro de 2012**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG**

HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO DISTRITO FEDERAL

Moema Guimarães Morgado Mizuno

*Dissertação de Mestrado apresentada junto ao curso
de Pós-Graduação em Geologia,
Área de Concentração Petrologia e Mineralogia,
para obtenção do título de Mestre em Geologia.*

**Orientador
Prof. Dr. Geraldo Resende Boaventura**

**Co-orientador
Prof. Dr. Luciano Soares da Cunha**

**Brasília – DF
Setembro de 2012**

*“Que o nosso tempo seja lembrado
pelo despertar de uma nova reverência face à vida,
pelo compromisso firme de alcançar a sustentabilidade,
a intensificação dos esforços pela justiça e pela paz,
e a alegre celebração da vida.”*

(Carta da Terra,2000)

*Dedico ao meu pai, Osvaldo Morgado,
que, ao ter superado obstáculos na vida
aparentemente intransponíveis,
me ensinou que o otimismo,
o foco no objetivo e a disciplina
são o caminho para a realização
de todo sonho.*

AGRADECIMENTOS

Foram ao todo três anos que estive envolvida com este trabalho, desde a pesquisa até a conclusão desta dissertação. Diversas pessoas e instituições estiveram envolvidas para que este trabalho fosse concluído com sucesso. O apoio e a ajuda de todos foram muito importantes, por isso agradeço, especialmente:

À minha mãe, por seus valores como pessoa, uma jóia rara nos dias de hoje, inteligente e incansável, sempre me incentivou.

Ao meu pai, pelo total apoio, sem o qual não seria possível concluir este trabalho.

Ao meu marido, André Mizuno, meu mestre na arte do amor e da convivência, companheiro, parceiro na vida. Agradeço pela paciência, pelo apoio e auxílio em diversos momentos durante a elaboração e conclusão da dissertação.

Ao meu orientador, Geraldo Resende Boaventura, pela orientação, pela disponibilização do Laboratório de Geoquímica, por estar comprometido com o trabalho de orientação, sempre disponível para as questões, revisões e conselhos.

Ao meu co-orientador e amigo, Luciano Soares da Cunha, pelo apoio, pelas orientações e pela sinceridade.

Ao professor Dr. José Eloi Guimarães Campos, pelas orientações e pela transmissão tão clara do seu conhecimento, sem o qual não poderia ter levado este trabalho adiante.

Ao colega da UnB e doutorando Daniel Santos Mulholland, pelo auxílio no tratamento estatístico das análises.

Aos servidores que trabalham do Laboratório de Geoquímica da UnB, Fernando Souza Cavalcante e Myller de Souza Tonhá, pelo auxílio prestado durante as análises.

Aos colegas e professores do Instituto de Geociências da UnB que de alguma forma colaboraram para a realização deste estudo.

À CAESB, por viabilizar a pesquisa em campo e pelos dados fornecidos.

À amiga e geóloga Letícia Lemos, pela duradoura e fiel amizade, pela compreensão das minhas ausências, pelo apoio e fornecimento dos dados solicitados, enquanto servidora da CAESB.

Aos servidores da CAESB, Roberto M. M. dos Santos, Michelle Mota de Souza e Paulo Queiroz de Araújo, pelo fornecimento dos dados da pesquisa e pelo apoio no trabalho de campo.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília pelo apoio logístico de infra-estrutura para realização desta pesquisa.

À CAPES, que tornou possível a concretização deste trabalho.

SUMÁRIO

Índice de Figuras	i
Índice de Tabelas	ii
Resumo	iii
Abstract	iv

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1. Descrição	1
1.1.1. Hipótese.....	2
1.1.1. Objetivos	2
1.2. Embasamento Bibliográfico.....	3

CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Localização da Área de Estudo	6
2.2. Geologia	6
2.3. Pedologia	11
2.4. Clima	14
2.5. Geomorfologia	15
2.6. Hidrografia.....	18
2.7. Vegetação	21
2.8. Hidrogeologia	23

CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Introdução	28
3.2. Poços Selecionados	30
3.3. Metodologia de Amostragem	32
3.4. Metodologia Analítica	33

CAPÍTULO 4: MINERALOGIA DOS DOMÍNIOS AQUÍFEROS.....	36
------------------------------------------------------------	-----------

CAPÍTULO 5: DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Introdução	43
5.2. Resultados	43
5.3. Discussão Preliminar dos Resultados	44
5.4. Balanço Iônico	64
5.5. Análise dos Principais Componentes	65
5.6. Classificação das Águas – Representação Gráfica e Relações Iônicas.....	71

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
------------------------------------------------------------	-----------

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
-----------------------------------------	-----------

ANEXOS

- Anexo I – Resultados das Análises Físico-Químicas
- Anexo II – Mapa Hidrogeológico do DF – Porção centro-norte
- Anexo III – Parâmetros Físico-Químicos
- Anexo IV – Perfis Construtivos dos Poços Selecionados

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Mapa Geológico do DF	7
2.2. Mapa Pedológico do DF	12
2.3. Gráfico de Precipitação Pluviométrica e Temperatura.....	14
2.4. Mapa de Isoietas do DF	15
2.5. Mapa Geomorfológico do DF	17
2.6. Bacias Hidrográficas do DF.....	19
2.7. Mapa Hidrogeológico do DF.....	26
3.1. Distribuição dos Poços Seleccionados no Mapa Hidrogeológico do DF	29
3.2. Fotos de poços seleccionados	31
3.3. Mapa Hidrogeológico com a identificação dos poços	32
3.4. Fotos dos equipamentos utilizados em campo	33
3.5. Fotos dos procedimentos laboratoriais – Filtragem e acidificação.....	34
3.6. Fotos dos procedimentos laboratoriais – Determinação dos ânions.....	35
5.1. Gráfico dos teores de Na^+	45
5.2. Gráfico dos teores de K^+	48
5.3. Gráfico dos teores de Ca^{2+}	51
5.4. Gráfico dos teores de Mg^{2+}	54
5.5. Gráfico das concentrações de Ca^{2+} x Mg^{2+} na primeira campanha	56
5.6. Gráfico das concentrações de Ca^{2+} x Mg^{2+} na segunda campanha.....	56
5.7. Gráfico dos teores de Si^{4+}	58
5.8. Gráfico dos teores de HCO_3^-	60
5.9. Gráfico dos teores de Condutividade Elétrica.....	62
5.10. Agrupamento dos parâmetros: PC1 x PC2	67
5.11. Agrupamento dos parâmetros: PC1 x PC3	67
5.12. Agrupamento por pontos: R_3/Q_3 e R_4	69
5.13. Agrupamento por pontos: PPC, F/Q/M e F	69
5.14. Diagrama de Piper para as amostras analisadas	72
5.15. Diagrama de Piper para as amostras do Sistema Paranoá	73
5.16. Diagrama de Piper para as amostras do Canastra, Bambuí e Araxá	74
5.17. Diagrama de Piper para as amostras do Sistema Canastra	75

ÍNDICE DE TABELAS

1.1. Série de Goldich.....	5
2.1. Macrounidades Geomorfológicas do DF	16
2.2. Divisões Hidrográficas do DF	20
2.3. Domínios e Sistemas Aquíferos do DF.....	27
3.1. Relação dos Poços Seleccionados	30
4.1. Mineralogia dos Aquíferos e íons liberados.....	42
5.1. Matriz do Agrupamento de Principais Componentes.....	66
5.2. Matriz do Agrupamento de Principais Componentes por ponto	68

RESUMO

A assinatura hidroquímica da água subterrânea é definida em função das características geológicas do aquífero que a armazena, em que pesem a solubilidade dos minerais constituintes da rocha aquífera, os meios por onde a água percola antes de atingir a zona saturada e o tempo de armazenamento. O presente trabalho objetivou a análise hidroquímica das águas subterrâneas profundas do Distrito Federal, pertencentes aos Domínios Aquíferos Fraturados e Físsuro-Cársticos, com a finalidade de correlacionar as características químicas das águas com a natureza geológica dos aquíferos a que pertencem. As águas subterrâneas profundas no Distrito Federal são pouco mineralizadas, em razão da baixa solubilidade dos minerais constituintes das rochas armazenadoras e da elevada taxa de circulação. Os aquíferos formados por rochas carbonáticas possuem águas com elevado teor de íons dissolvidos e caráter alcalino. Do ponto de vista da gestão dos recursos hídricos, este estudo agrega informações para o controle da qualidade da água subterrânea, que é utilizada como fonte de abastecimento público da população não atendida pelo sistema integrado, sobretudo nas duas últimas décadas devido à expansão urbana no DF. Para se obter resultados mais precisos, foram utilizados para amostragem nesta pesquisa poços profundos construídos e monitorados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal - CAESB (com exceção de dois), em razão da disponibilidade dos perfis construtivos e geológicos dos poços e da credibilidade dos mesmos no que se refere ao isolamento do poço até a profundidade da rocha, de forma a evitar entrada de água do lençol freático. Para a avaliação mais objetiva dos resultados, foi aplicado o método estatístico da Análise de Principais Componentes, o qual segregou as águas em três grupos distintos: 1) processos de dissolução de rochas carbonáticas; 2) entrada de efluentes urbanos; e 3) processo de dissolução de arcóseos ou entrada de efluentes urbanos. A classificação hidrogeoquímica foi feita com base no Diagrama de Piper, o qual demonstrou que as águas subterrâneas do DF são principalmente cloretadas magnesianas e/ou sódicas e subordinadamente bicarbonatadas sódicas e/ou magnesianas e cálcicas. Além da classificação das águas subterrâneas do DF, os resultados desta pesquisa permitiram identificar mistura de águas de aquíferos distintos e atualizar a base de dados do mapa hidrogeológico do Distrito Federal.

ABSTRACT

The hydrochemistry of groundwater is defined according to the geological characteristics of the aquifer, considering the solubility of the water-bearing rock forming minerals, the materials by which water percolates before reaching the saturated zone and the storage time. This study aimed to analyze the deep groundwater hydrochemistry of Distrito Federal, owned by Domains Fractured Aquifers and Físsuro-Karstic, in order to correlate the chemical characteristics of water with the geological nature of the aquifers where they belong. The deep groundwater in DF are slightly mineralized, due to the low solubility of the rock-forming minerals reservoir and the high rate of circulation. The aquifers formed by carbonate rocks have water with high content of dissolved ions and alkaline character. From the point of view of water management, this study adds information to control the quality of groundwater, which is used as a source of public water supply of the population not served by the integrated system, especially in the last two decades due to urban sprawl in DF. To obtain more accurate results, were used in this study for sampling deep wells constructed and monitored by the public water supply company of DF - CAESB (except two), due to the availability of constructive and geological profiles of the wells and the credibility thereof regarding the isolation of the well to the depth of the rock, in order to avoid the subsurface water from entering. For a more objective evaluation of the results, the statistical method of Principal Components Analysis was applied, segregating the waters into three distinct groups: 1) carbonate rocks dissolution processes, 2) urban effluents entry, and 3) arkoses dissolution processes or urban effluents entry. The hydrogeochemical classification was made based on the Piper diagram, which showed that the DF groundwater are, mainly, chloride magnesium and/or sodium type, and subordinately, bicarbonate sodium and/or magnesium and calcium types. Besides the classification of DF groundwater, the results of this research have identified mixture of different water aquifers and update the hydrogeological map database of Distrito Federal.

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1. Descrição

A água, assim como os demais recursos naturais, é um bem finito. Torna-se realidade, portanto, que a possibilidade da escassez de água doce será a grande ameaça à sobrevivência de determinadas espécies no planeta, além de comprometer o desenvolvimento econômico e a estabilidade política do mundo nas próximas décadas.

Estimativas publicadas pela Organização das Nações Unidas (ONU) alertam que daqui a 15 anos, cerca de 2,7 bilhões de pessoas, em todo o mundo, enfrentarão a falta de água se as populações continuarem a tratá-la como um bem inesgotável.

Diante das circunstâncias, é essencial o conhecimento do ciclo hidrológico e da qualidade da água para a correta avaliação da sua disponibilidade e uso mais consciente. Assim sendo, o aprofundamento no conhecimento das águas subterrâneas é imprescindível, já que estas são as menos conhecidas do referido ciclo. As informações disponíveis são provenientes de trabalhos elaborados em secretarias estaduais de recursos hídricos, por ocasião de execução de obras, ou de trabalhos acadêmicos. Por esse motivo, os dados têm caráter pontual, são ainda insuficientes e dispersos.

As condições geológicas e climáticas do país permitiram a formação de sistemas aquíferos, alguns deles de extensão regional, com altos volumes de água e excelentes vazões. Os usos das águas subterrâneas no meio urbano e rural são diversos e têm se intensificado nas duas últimas décadas. Segundo dados do IBGE (2006), cerca de 61% da população brasileira é abastecida com água subterrânea para fins domésticos. Estima-se que o número de poços tubulares em operação no Brasil seja em torno de 300.000 (ANA, 2007). A preferência pelo uso dessas águas deve-se ao fato de geralmente apresentarem boa qualidade por estarem mais protegidas de possível contaminação, dispensando tratamentos convencionais. Além dessa vantagem, do ponto de vista econômico, o custo da captação e distribuição é menos oneroso que os mananciais superficiais.

No Distrito Federal (DF), o processo desordenado de expansão urbana, que se intensificou nos últimos anos, vem causando paulatinamente impactos sobre os recursos hídricos subterrâneos. Além de terem se tornado essenciais para o abastecimento público, complementando a rede da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), as águas subterrâneas vêm sendo diretamente afetadas pelo uso do solo, já que efluentes advindos de atividades antrópicas infiltram no solo atingindo os níveis profundos.

O presente trabalho apresenta a avaliação e caracterização da água subterrânea no Distrito Federal a partir da análise de parâmetros físicos e químicos de amostras coletadas em poços tubulares profundos localizados em domínios hidrogeológicos distintos.

1.1.1. Hipótese

No Distrito Federal, a diversidade litológica dos domínios aquíferos certamente implica em diferentes características químicas de suas águas.

A avaliação hidrogeoquímica refina o conhecimento dos aquíferos, permite a caracterização das águas subterrâneas profundas, além de ser útil para determinação de mistura de águas entre diferentes reservatórios.

1.1.2. Objetivo

O presente trabalho propõe avaliar as características químicas da água subterrânea no Distrito Federal e correlacionar a composição da água com a geologia local, de acordo com os diferentes sistemas aquíferos presentes na região.

Integrando o objetivo principal, o objetivo específico da pesquisa é oferecer elementos para atualização da base de dados do mapa hidrogeológico do DF a partir dos resultados das análises químicas das águas dos poços e das informações dos perfis construtivos dos poços selecionados localizados próximos a contatos litológicos.

1.2. Embasamento Bibliográfico

A água é uma substância composta e possui estrutura molecular dipolar, o que lhe confere a característica de ser um forte solvente. Quando em contato com os minerais constituintes dos solos e rochas nos quais circula, é capaz de incorporar grandes quantidades de substâncias presentes nos mesmos.

Segundo Santos (2008) e Freitas-Silva & Campos (1998), os elementos químicos presentes nas águas subterrâneas variam em quantidade e tipo de sais dependendo de uma multiplicidade de fatores, quais sejam:

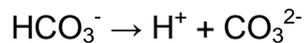
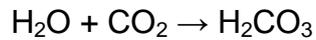
- composição inicial da água;
- tipo de minerais com os quais a água entra em contato e a natureza da rocha armazenadora da água;
- interação das águas de aquíferos distintos;
- tempo de circulação nos reservatório, definido pelo tipo de regime de fluxo;
- espessura e características físicas da zona não-saturada;
- volumes de precipitação pluviométrica;
- cobertura vegetal.

A água que circula no ciclo hidrológico só é pura no estado de vapor d'água (Mestrinho, 2008). A atmosfera é constituída por uma mistura de gases, componentes sólidos e líquidos em suspensão. Em razão disso, ao se condensar, a água incorpora impurezas e gases presentes na atmosfera, reagindo principalmente com o dióxido de carbono (CO_2), formando ácido carbônico.

Após precipitar e infiltrar no solo, as águas elevam seus teores de ácido carbônico (H_2CO_3) ao reagirem com altas concentrações de CO_2 proveniente das reações bioquímicas no solo, da respiração das raízes das plantas e da decomposição da matéria orgânica.

À medida que vai infiltrando e reagindo com o CO_2 do solo, a água vai se tornando mais ácida, elevando seu poder corrosivo. Isso ocorre porque o pH das águas é controlado pelas reações ácido-base, dentre as quais as mais significativas envolvem o CO_2 , as espécies dissolvidas do carbono inorgânico (CO_3^{2-} e HCO_3^-) e

os minerais carbonatos. As reações de equilíbrio químico do CO₂ dissolvido na água são:



A partir das reações de equilíbrio da água com o CO₂, a molécula livre de hidrogênio (H⁺) tende a captar elétrons de outras moléculas com as quais entra em contato, deixando tais íons mais suscetíveis de serem solubilizados. A esse processo de quebra das moléculas pela água denomina-se hidrólise.

Os principais minerais formadores das rochas, que são os silicatos, podem ser concebidos como sais formados por um ácido fraco (H₄SiO₄) associado a bases fortes (NaOH, KOH, Ca[OH]₂, Mg[OH]₂). Quando em contato com a água, os silicatos sofrem hidrólise, resultando numa solução alcalina, em razão de o H₄SiO₄ estar praticamente indissociado e as bases muito dissociadas (Mason & Moore, 1985). Em maior profundidade, o movimento da água por entre os poros das rochas tende a ser mais lento, o que favorece a dissolução dos minerais mais solúveis em razão de maior tempo de interação água-rocha, além de maior pressão e tensão de CO₂.

Em outras palavras, o íon H⁺, resultado da ionização da água, entra nas estruturas minerais e desloca principalmente os cátions alcalinos (K⁺ e Na⁺) e alcalino-terrosos (Ca²⁺ e Mg²⁺), além de Si⁴⁺, cuja solubilidade é mais elevada em meios mais alcalinos. Tais elementos podem recombinar-se resultando na neoformação de minerais secundários. O Al³⁺ é praticamente insolúvel nos intervalos de pH dos ambientes relacionados a processos superficiais - 5 a 9 (Toledo *et al.*, 2000). A fase líquida é, portanto, composta de soluções aquosas ricas nos elementos mais solúveis, que, nas condições de pressão e temperatura de superfície terrestre, são os íons Na⁺, Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺ e Si⁴⁺.

Um exemplo de tais reações, que podem ocorrer nos aquíferos da região de estudo, é a dissolução e a hidrólise do feldspato, liberando Si⁴⁺ e K⁺, que se recombinam formando caulinita neoformada. Os íons H⁺ são retidos na água do argilomineral. Contudo, o K⁺, SiO₂ e HCO₃⁻ são liberados para o meio aquoso.

Para as rochas carbonáticas, a formação de HCO_3^- e CO_3^{2-} aumenta a solubilidade de CO_2 . Águas com altos níveis de CO_2 dissolvem carbonatos na seguinte ordem decrescente de solubilidade: Magnesita (MgCO_3), aragonita (CaCO_3), calcita (CaCO_3), dolomita ($\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$), siderita (FeCO_3) e rodocrosita (MnCO_3). Ao dissolver esses minerais, sobretudo os mais solúveis, a água subterrânea se torna enriquecida em bicarbonato de cálcio e magnésio, e, conseqüentemente mais básica. Tais reações tendem a aumentar a porosidade físsuro-cárstica dos aquíferos em que predomina esta litologia.

Alguns elementos estão presentes nos minerais em mais de um estado de oxidação, como o ferro nos minerais ferromagnesianos sob a forma de Fe^{2+} . Quando ocorre o rompimento da molécula de minerais como a biotita, glauconita, clorita e illita, o Fe^{2+} liberado em solução aquosa oxida-se a Fe^{3+} . Nesse estado de oxidação, o ferro não entra na maior parte dos argilominerais, só raramente pode substituir o íon Al^{3+} nas caulinitas e esmectitas. De modo geral, o ferro nesse estado precipita como óxido de ferro hidratado, a goethita; ou pode concentrar-se na água sob a forma de hidróxido férrico (Fe^{3+}).

No que se refere à estabilidade dos minerais ao intemperismo químico, a série de Goldich representa a sequência normal de resistência para alguns minerais silicáticos frente ao ataque de solução aquosa.

Tabela 1.1: Série de Goldich – ordem de estabilidade dos minerais mais comuns frente ao intemperismo.

MAIS ESTÁVEL	Óxidos de ferro (hematita)
	Hidróxidos de alumínio (gibbsita)
	Quartzo
	Argilominerais
	Muscovita
	Ortoclásio
	Biotita
	Albita
MENOS ESTÁVEL	Anfibólios
	Piroxênios
	Anortita
	Olivina
	Calcita
	Halita

CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Localização da Área de Estudo

O objeto desta pesquisa são os aquíferos fraturados e físsuro-cársticos situados nos limites geográficos do Distrito Federal. Localizado na região Centro-Oeste do Brasil, o DF ocupa uma área de 5.789,16 km², o que equivale a 0,06% da superfície do país. Possui como limites norte e sul, os paralelos de 15°30" e 16°03"S; leste e oeste, os rios Preto e Descoberto nas proximidades dos meridianos de 47°18" e 48°17"W.

2.2. Geologia

O Distrito Federal situa-se na região central da Faixa de Dobramentos e Cavalgamentos Brasília, inserida da Província Estrutural Tocantins (Almeida *et al.*, 1977, 1981). A Província Tocantins, localizada na porção central do Brasil, representa uma importante faixa orogenética Brasileira desenvolvida como resultado da colisão de três blocos continentais (Cráton Amazônico a oeste, Cráton São Francisco a leste e Cráton Paranapanema a sudoeste), que culminaram na amalgamação do supercontinente Gondwana ao final do Neoproterozóico (Pimentel *et al.*, 2004a). A província é constituída por três cinturões dobrados: Faixa Brasília, localizada no flanco oeste do Cráton São Francisco; Faixa Araguaia, que margeia a borda leste do Cráton Amazônico, e Faixa Paraguai, que se encontra na borda sudeste/sul do Cráton Amazônico (Dardene, 2000).

A geologia do DF é composta pelas unidades regionais: Grupos Paranoá e Canastra (Mesoproterozóicos); Grupo Araxá (Meso/ Neoproterozóicos) e Grupo Bambuí (Neoproterozóico) (Figura 2.1). Todos os tipos litológicos encontram-se intensamente dobrados e fraturados.

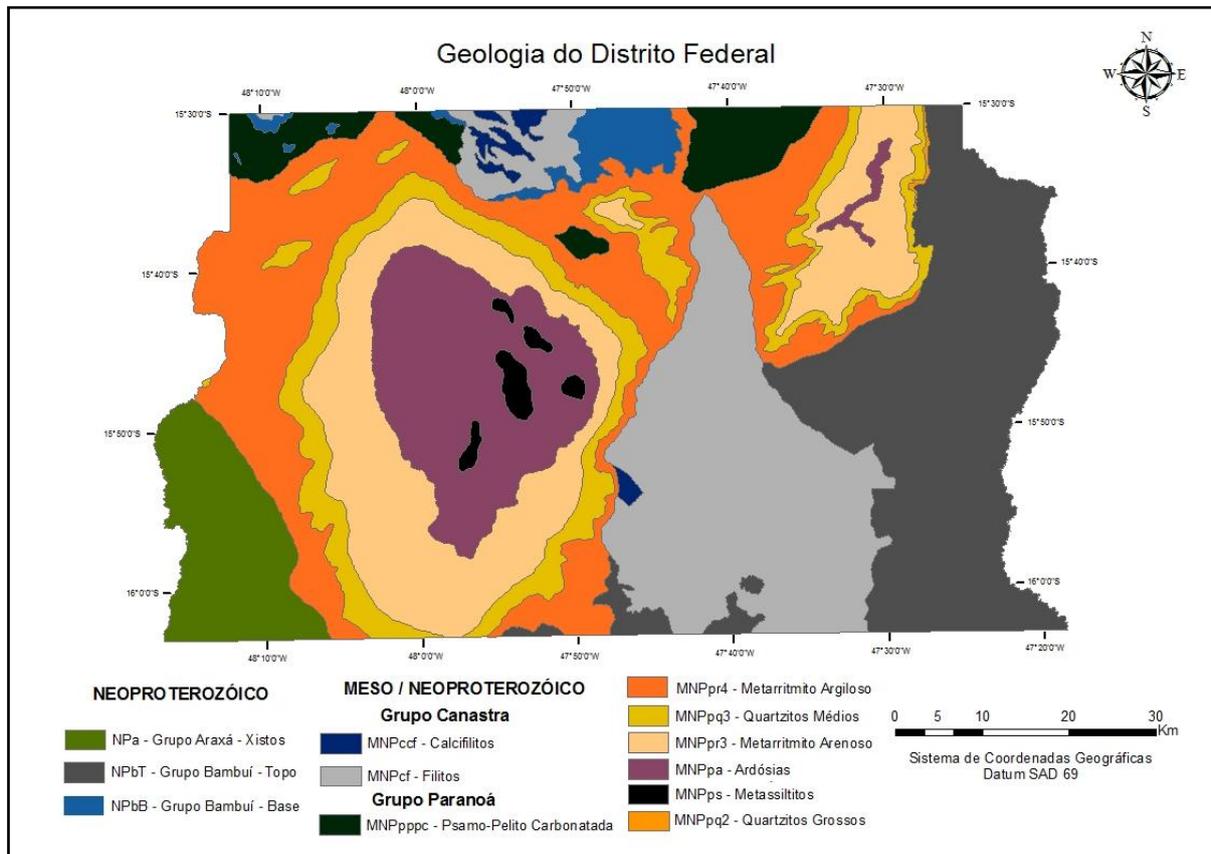


Figura 2.1: Mapa Geológico do DF (Fonte: adaptado de Campos, 2011. Atualizado de Freitas-Silva & Campos, 1998).

O Grupo Paranoá (Freitas-Silva & Campos, 1998) corresponde a litologias psamo-pelito-carbonatadas distribuídas regionalmente por toda a porção externa da Faixa de Dobramentos Brasília. No Distrito Federal afloram somente as sete unidades litoestratigráficas superiores, ocupando 65% da área total do território. São da base para o topo, as seqüências deposicionais Q₂, S, A, R₃, Q₃, R₄ e PPC, cujas principais características são descritas a seguir:

- Unidade **Q₂ – Quartzito Conglomerático**: constituída por quartzitos grossos a conglomeráticos na base passando a quartzitos médios, com leitos microconglomeráticos, em direção ao topo (Campos, 2011). Os quartzitos são de coloração rosa, bem selecionados nos leitos mais homogêneos, subarredondados, sendo os grãos mais grossos bem arredondados, enquanto os mais finos são subangulosos. Ocorrem estratificações cruzadas tabulares e acanaladas, por vezes reviradas, rara espinha de peixe, sugerindo reversão

de fluxo, algumas laminações convolutas, além de marcas onduladas simétricas e assimétricas, indicando retrabalhamento por meso e macro marés (Faria, 1995). Ocorre em porção restrita a nordeste do DF.

- Unidade **S – Metassilito Argiloso**: composta de metassiltitos argilosos homogêneos, de cor cinza esverdeada a amarela, de aspecto maciço na base. Em direção ao topo há intercalações rítmicas de níveis milimétricos de metassiltitos cinza, vermelho e branco, com leitos centimétricos de quartzito fino a muito fino, com evidências de estratificação cruzada *hummocky* (Faria, 1995). Nesses litotipos são comuns marcas onduladas, laminações plano-paralelas, laminações cruzadas e lentes arenosas nos níveis pelíticos (Felizola, 2009 *in* Ferreira, 2011). Mais raramente, são observadas lentes de dimensões variadas de calcáreo micrítico e de dolomito estromatolítico (Freitas-Silva & Campos, 1998).
- Unidade **A - Ardósia**: constitui-se de ardósias vermelhas a roxas, homogêneas, dobradas, com bandamentos amarelos-esbranquiçados e ocasionais lentes irregulares de quartzitos (Freitas-Silva & Campos, 1998). O pacote de ardósias apresenta clivagens ardosianas penetrativas em duas direções (Faria, 1995). O contato com o metassilito (S) é gradacional, e apresenta concentrações de manganês sob a forma de lâminas descontínuas e concreções (Faria, 1995).
- Unidade **R₃ – Metarritmito Arenoso**: caracteriza-se pela intercalação de quartzitos brancos, de granulação fina a média, com níveis mais delgados de metassiltitos argilosos, metalamitos siltosos e metalamitos micáceos (Faria, 1995; Freitas-Silva & Campos, 1998). Laminações plano paralelas são dominantes, mas ocorrem também marcas onduladas, estratificações do tipo sigmoidais e *hummockys*, além de algumas estruturas de contração, sobretudo no topo, onde predomina a fração arenosa, o que evidencia sedimentação com granulometria crescente para o topo (Faria, 1995). No DF, em função de intercalações mais espessas da camada de quartzito, esta unidade foi dividida em duas subunidades: (i) Subunidade Inferior (**R_{3a}**): iniciada por contato gradacional com as ardósias, com aumento progressivo de intercalações de metassiltitos e delgadas camadas de quartzitos finos a

muito finos, vermelhos a amarelos, sericíticos, algo feldspáticos; e, (ii) Subunidade Superior (**R_{3b}**): caracterizada por metarritmitos laminados, de cores variadas compostos por alternâncias de quartzitos finos a médios, localmente grossos, bem selecionados, e metassiltitos e metargilitos (Faria, 1995; Campos, 2011).

- Unidade **Q₃ – Quartzito Médio**: constituída por quartzitos finos a médios, localmente grossos, de coloração branca a amarela, compostos essencialmente por grãos de quartzo bem arredondados, de cor rosa ou branca e acinzentada, silicificados e bem selecionados (Faria, 1995). A estrutura sedimentar predominante é o acamamento plano-paralelo, mas ocorrem ainda estratificações cruzadas tabulares, acanaladas e do tipo espinha de peixe, marcas onduladas simétricas e assimétricas. Esta litofácies sustenta as principais chapadas do Distrito Federal, em cotas que oscilam entre 1.100 e 1.200 m (Faria, 1995).
- Unidade **R₄ – Metarritmito Argiloso**: composta de intercalações regulares de metargilitos e metassiltitos com quartzitos muito finos, feldspáticos, em camadas de 1 a 3 cm. Os pelitos são sericíticos e ricos em magnetita. A estrutura sedimentar mais proeminente é a laminação plano-paralela, além de marcas onduladas, laminações cruzadas e raras estruturas de contração (Faria, 1995). Os níveis arenosos apresentam laminações cruzadas truncadas e *hummockys* (Felizola, 2009 *in* Ferreira, 2011). Essa unidade bordeja a grande estrutura dômica do DF, onde desenvolve relevo com vales profundos e vertentes íngremes (Faria, 1995).
- Unidade **PPC – Psamo-Pelito-carbonatada**: composta essencialmente por metalamitos siltosos, de coloração cinza-prateada, laminados e com aspecto sedoso devido à abundante presença de filossilicatos (Campos, 2011). Associados a estes metapelitos ocorrem lentes de calcáreos pretos a cinza-escuros e subordinadamente dolomitos cinza-claros (Faria, 1995; Freitas-Silva & Campos, 1998). Interdigitadas a esse pacote ocorrem lentes métricas a centimétricas de quartzitos médios a grossos, mal selecionados, feldspáticos, com clastos subangulosos a arredondados, apresentando cores

escuras em função de película de matéria orgânica nos grãos detríticos (Freitas-Silva & Campos, 1998; Campos, 2011).

O **Grupo Canastra** é constituído de rochas cujo grau metamórfico regional é baixo, posicionado na fácies xisto verde dentro da zona da clorita (Campos, 2011). Ocupando 15% da área do DF, essa unidade é representada por filitos variados, os quais incluem clorita filitos, quartzo-sericita-clorita filitos, metarritmitos e filitos carbonosos. Subordinadamente ocorrem corpos lenticulares de mármore finos de coloração cinza-claros e quartzitos finos silicificados e cataclasados (Freitas-Silva & Campos, 1998). Nos raros locais onde a rocha aflorante não se encontra tão intemperizada, observa-se que os filitos são bandados com níveis mais claros ricos em mica branca, carbonato e quartzo e níveis mais escuros enriquecidos em clorita (Campos, 2011).

O **Grupo Araxá** ocupa apenas 5% da área total do Distrito Federal, na porção sudoeste, e é composto essencialmente por xistos, dentre os quais predominam muscovita xistos. São observadas também ocorrências restritas de clorita xistos, quartzo-muscovita xistos, granada xistos e lentes de quartzitos micáceos (Freitas-Silva & Campos, 1998).

O **Grupo Bambuí** representa um conjunto litoestratigráfico pelito-carbonatado-arcoseano distribuído ao longo da borda externa da Faixa Brasília, em toda sua extensão, contribuindo com aproximadamente 15% da área total do DF (Freitas-Silva & Campos, 1998). Dos 6 tipos petrográficos que representam esta unidade, afloram no Distrito Federal os sedimentos correlacionáveis a:

- Topo: siltitos, folhelhos e arcóseos da Formação Serra da Saudade e da base da Formação Três Marias (Campos, 2011). Ocorre na porção leste do DF.
- Base: pelitos, calcáreos e dolomitos correlacionados às Formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena (Campos, 2011). Ocorre no norte do DF.

Os contatos entre as várias unidades são tectônicos e representados por cavalgamentos regionais com vergência para o Cráton São Francisco, desenvolvidos durante a evolução do Ciclo Brasileiro. Toda a deformação foi controlada por três sistemas de empurrão que inverteram a estratigrafia regional, denominados: Sistema de Cavalgamento Paranã, que resultou na sobreposição do

Grupo Paranoá sobre o Grupo Bambuí; Sistema de Cavalgamento São Bartolomeu/Maranhão, responsável pelo posicionamento do Grupo Canastra sobre os Grupos Paranoá e Bambuí; e, Sistema de Cavalgamento Descoberto, que sobrepõe o Grupo Araxá sobre o Grupo Paranoá (Freitas-Silva & Campos, 1998).

Ressalta-se que alterações provocadas por fatores externos durante o Cenozóico condicionaram processos intempéricos sobre o substrato rochoso, desenvolvendo na região um extenso manto de intemperismo que pode alcançar até 80 m de espessura (Freitas-Silva & Campos, 1998). Essa camada intempérica, representada por diferentes solos e saprolitos, possui espessuras superiores a 30 m sobre os metarritmitos arenosos (R₃) e quartzitos (Q₃); e espessuras de centímetros a poucos metros sobre os metarritmitos argilosos (R₄) e filitos (Grupo Canastra). Devido a isso, o DF possui poucas exposições rochosas (Ferreira, 2011).

2.3. Pedologia

No DF, os tipos pedológicos mais abundantes são os Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho-Amarelos e os Cambissolos Háplicos, cuja representatividade espacial se expressa em torno de 85% (Campos, 2011). Outras classes de solos juntas ocupam os 15% restantes do espaço territorial, ocorrendo de forma restrita ou como manchas (Figura 2.2).

Os **Latossolos Vermelhos** são formados a partir de processos de transformação intensa com lixiviação das bases ao longo do seu perfil, resultando em concentração de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Possuem perfil homogêneo com horizonte B latossólico (Bw) e permeabilidade significativa. Sua ocorrência está associada às áreas de topos de chapadas e vegetação cerrado/cerradão.

Os solos da classe **Latossolo Vermelho-Amarelo** formam-se a partir de intemperismo intenso, como os latossolos em geral, com alteração dos silicatos e concentração dos teores de ferro e alumínio. Nos latossolos mais vermelhos o ferro ocorre sob a forma de hematita, enquanto que a cor mais amarelada está associada ao ferro nas formas hidratadas (goethita e limonita) e teores relativamente baixos de Fe₂O₃. De maneira geral, os latossolos vermelho-amarelos ocorrem em áreas de

relevo plano a suave ondulado, como as áreas de transição para rebordos de chapadas, com declividades abaixo de 20%. Os tipos de vegetação comumente associados a essa classe são o cerrado *sensu strictu*, campo limpo e campo sujo.

Já os **Cambissolos Háplicos** são solos pouco evoluídos que preservam fragmentos de minerais primários e do material rochoso original. Ocorrem nas áreas de relevo ondulado, como vertentes e encostas mais íngremes. No DF, estão associados aos Rebordos e à fitofisionomia campo limpo. São solos pouco profundos com horizonte B incipiente (Bi), alto teor de silte e baixa permeabilidade.

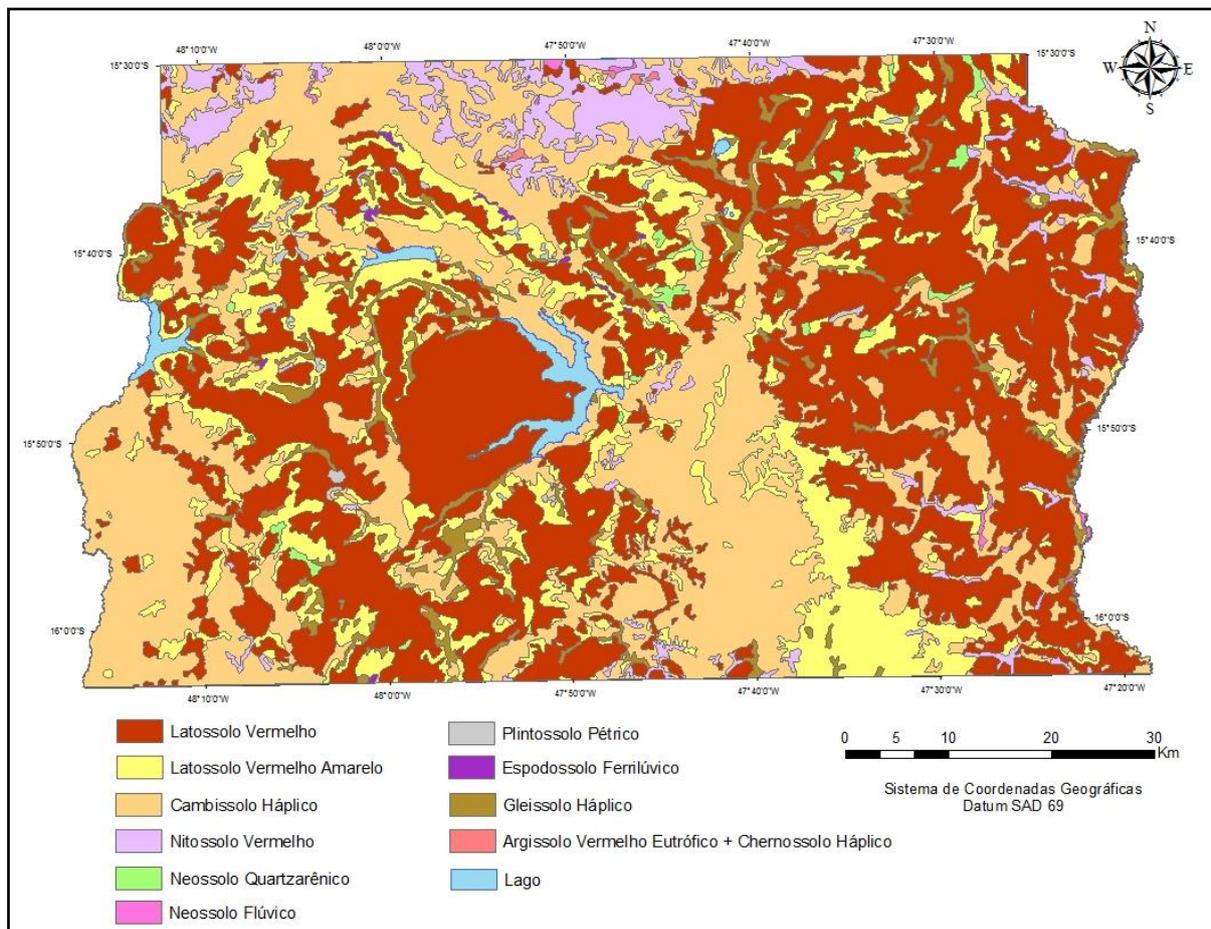


Figura 2.2: Mapa Pedológico do DF (Fonte: adaptado de EMBRAPA, 1978. Com atualização da nomenclatura das classes conforme EMPRAPA, 2006).

Os **Neossolos** são solos pouco evoluídos pedogeneticamente, caracterizados pela ausência de horizonte B. O Neossolo Quartzarênico, denominado de Areias Quartzosas segundo a antiga classificação, ocorre sobre os quartzitos do Grupo Paranoá, associado a Rebordos de Chapadas, junto a encostas íngremes. São solos

relativamente profundos, pouco desenvolvidos, com o mineral quartzo predominando na fração areia, são excessivamente drenados e porosos. O Neossolo Flúvico ocorre em áreas de relevo plano, associadas à vegetação de mata galeria. São solos pouco desenvolvidos e no DF ocorrem ao longo das calhas de macrodrenagem (Campos, 2011).

Os **Nitossolos** possuem horizonte B nítico, com argila de baixa atividade no horizonte A ou nos primeiros 50 cm do horizonte B. O processo de formação desse solo está condicionado a podzolização – translocação de argilominerais e argilas. No DF ocorrem Nitossolos Vermelhos na porção norte, no Vale do Rio Maranhão, associados a relevos ondulados.

As classes **Argissolo Vermelho Eutrófico** e **Chernossolo Háptico** ocorrem também como manchas na porção norte do DF (Campos, 2011). São solos podzolizados e apresentam gradiente textural. O chernossolo possui alta saturação por bases, argila de alta atividade e horizonte A chernozêmico. O argissolo apresenta horizonte B textural e argilas de baixa atividade.

A classe de **Gleissolos Hápticos** é formada pelos solos anteriormente denominados de hidromórficos. São solos mal drenados, pouco desenvolvidos, com elevados teores de matéria orgânica, formados sobre sedimentos nos quais ocorrem encharcamentos, normalmente por elevação do nível freático. Ocorrem em terrenos mais rebaixados, junto aos cursos d'água e/ou nascentes.

Os **Espodossolos Ferrilúvicos** referem-se a solos com presença de horizonte espódico, do tipo Bs ou Bsm, constituído pela concentração de matéria orgânica abaixo do horizonte A ou E nos primeiros 200 cm do perfil ou nos primeiros 400 cm da soma dos horizontes A+E. No DF, compõem parte dos antigos solos Podzólicos.

A classe dos **Plintossolos Pétricos** é formada por solos que apresentam horizonte petroplíntico nos primeiros 40 cm do perfil ou nos 200 cm sob horizonte A ou E. A formação da plintita está relacionada à mobilização ou transporte de óxidos de ferro submetidos a ciclos de umedecimento e secagem associados à dificuldade de movimentação gravitacional da água. Ocorrem em áreas de relevo plano a suave

ondulado, com vegetação de campos limpos e com drenagem deficiente (Campos, 2011).

2.4. Clima

O clima no Distrito Federal é caracterizado pela existência bem marcada de dois períodos climáticos distintos, típicos da região de Cerrado. Entre os meses de outubro a abril predomina o clima chuvoso e quente, alcançando taxas de precipitação em torno de 250 mm no mês de dezembro (Figura 2.3). De maio a setembro o clima é frio e seco, com precipitação média chegando a 9 mm mensais em junho (Baptista, 1998).

A precipitação média anual é da ordem de 1.500 mm, com distribuição irregular também espacialmente. Segundo Martins *et al.*(2004) as variações locais de precipitação não são relevantes para fins de classificação. Entretanto, para fins de análise da composição química das águas do lençol freático, bem como do intemperismo químico atuante, a distribuição irregular da precipitação pluviométrica possui certa relevância.

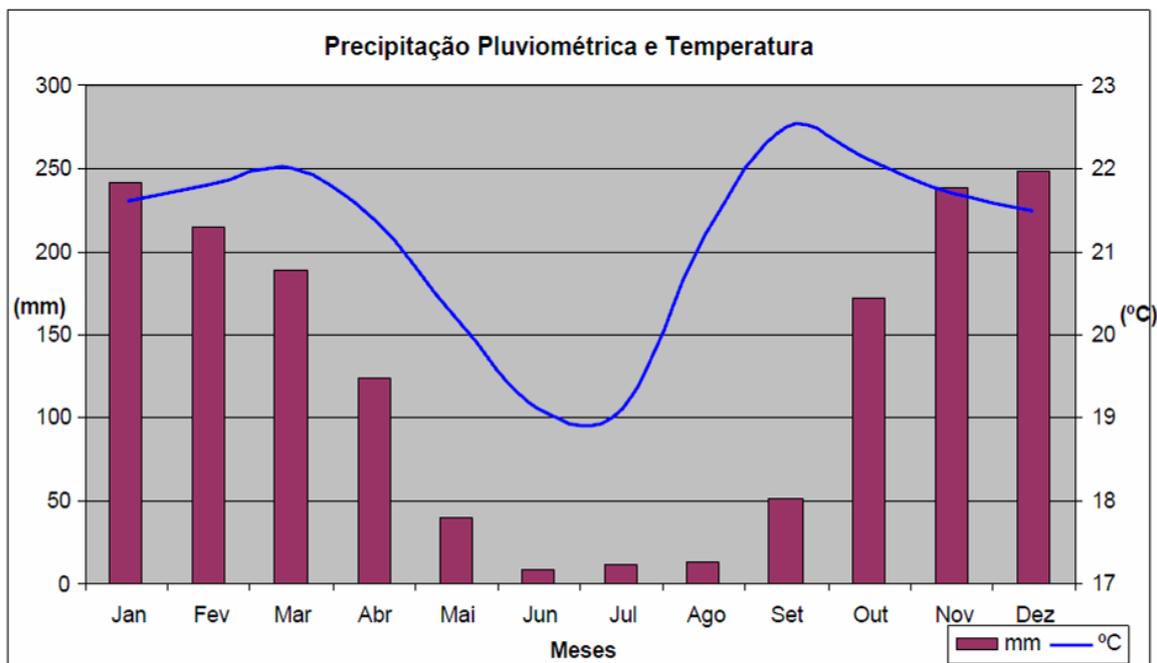


Figura 2.3: Distribuição anual dos totais mensais de precipitação e temperatura da Estação Brasília nos períodos de 1963 a 1990 (Fonte: Baptista, 1998).

O clima, especialmente no que se refere à intensidade da precipitação e variação de temperatura, exerce forte controle no intemperismo químico. Segundo Novaes Pinto (1987), o clima é responsável pelo fenômeno do intemperismo diferencial químico no Distrito Federal, que, sob controle do nível freático regional, resulta nos processos de laterização.

O Mapa de Isoietas do DF (Figura 2.4), feito por meio do método de interpolação de Krigagem com dados de Estações Pluviométricas da CAESB, demonstra que a distribuição espacial das chuvas no Distrito Federal segue uma tendência decrescente de oeste para leste.

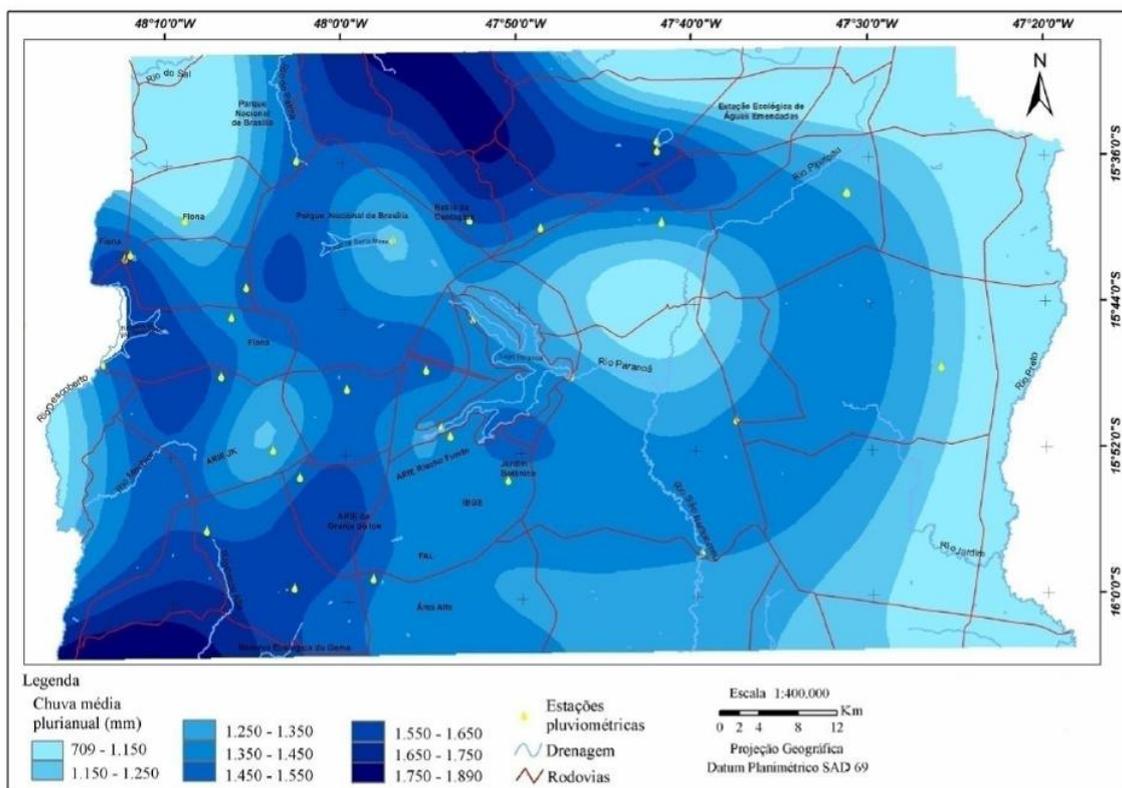


Figura 2.4: Mapa de Isoietas do Distrito Federal (Fonte: Gonçalves, 2007. Disponível em: <http://www.zee-df.com.br>).

2.5. Geomorfologia

O Distrito Federal situa-se em uma das porções mais elevadas do Planalto Central do Brasil, caracterizado por formas de relevo mais aplainadas, com altitudes variando entre 400 a 1.200 m. As mega-estruturas observadas no DF apresentam

dobramentos no estilo domos e bacias, nos quais se observa alongamento maior do eixo NS em relação ao EW, evidenciando o padrão de interferência ocorrido durante o Ciclo Brasileiro (Martins & Baptista, 1998; Martins *et al.* 2004).

Segundo Novaes Pinto (1987), as feições geomorfológicas são controladas pelo clima (intemperismo) e pela litoestrutura. Devido às variações de temperatura e de precipitação no DF atuando nas diversas composições litológicas, o fenômeno do intemperismo diferencial químico intenso resultou em aplainamento por corrosão e desnudação lenta, formando extensas áreas de relevo plano a suave ondulado. Nesse trabalho a autora apresenta três compartimentos geomorfológicos no DF: Regiões de Chapada, Regiões de Dissecação Intermediária e Região Dissecada de Vale, distribuídas conforme a tabela abaixo:

Tabela 2.1: Macrounidades Geomorfológicas do DF (Fonte: Novaes Pinto, 1994).

Macrounidades	Unidades	Área total (km ²)	%
Região de Chapada 1.968 km ² 33,8%	Chapada da Contagem	1.028	17,7
	Chapada de Brasília	202	3,5
	Chapada do Píripau	445	7,7
	Chapada Divisora São Bartolomeu-Preto	188	3,2
	Chapada Divisora Descoberto-Alagado	105	1,8
Área de Dissecação Intermediária 1.793 km ² 30,9%	Depressão do Paranoá	726	12,5
	Vale do rio Preto	1.067	18,4
	Curso superior do rio Maranhão	574	9,9
	Alto curso do rio São Bartolomeu	270	4,6
Região Dissecada de Vale 2.053 km ² 35,5%	Curso superior do rio São Bartolomeu	608	10,5
	Alto curso do rio Descoberto	237	4,1
	Curso superior do rio Descoberto	270	4,6
	Alto Curso do rio Alagado	94	1,6
TOTAL		5.814	100,0

Estudos mais recentes (Martins & Baptista, 1998; Martins *et al.* 2004) definem a geomorfologia do DF compartimentada em 5 unidades. Para a

determinação das mesmas foram considerados aspectos como hipsometria, padrão de relevo e declividade.

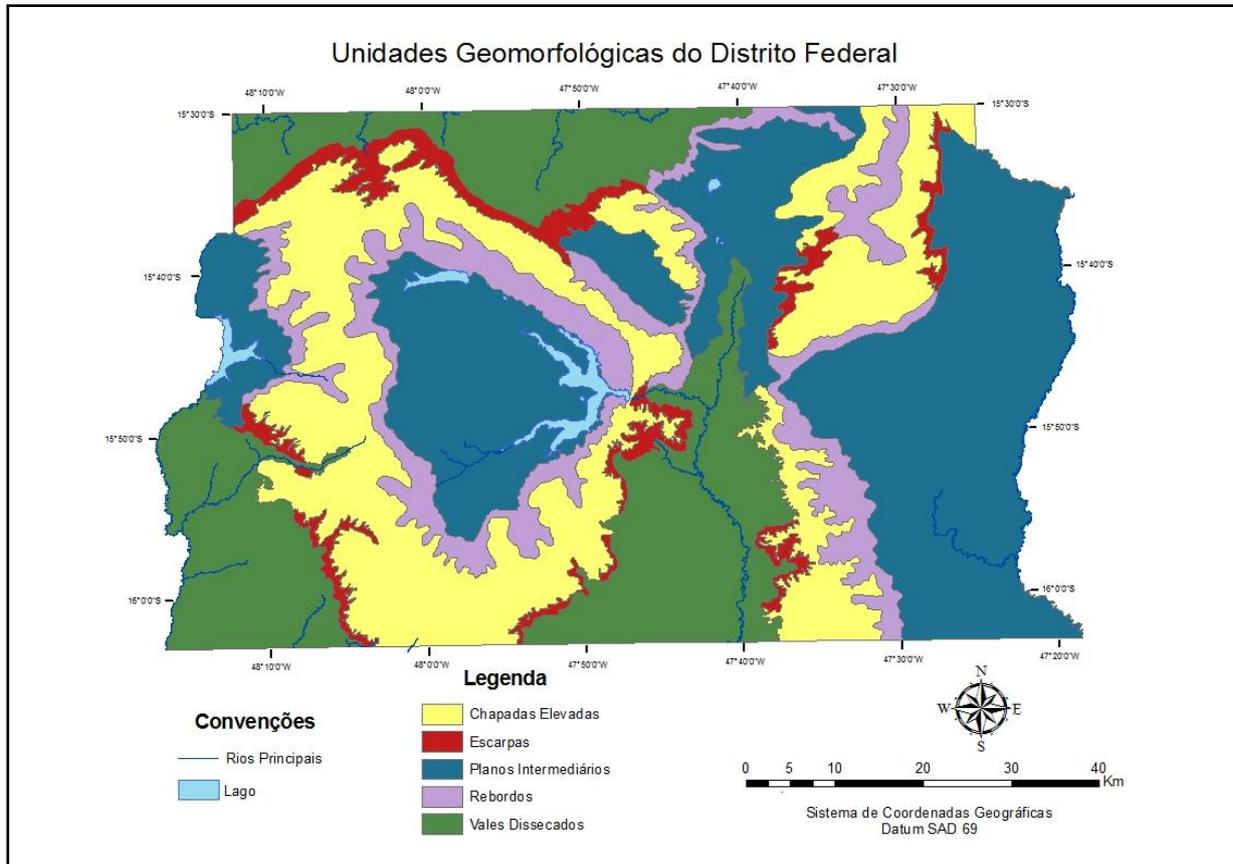


Figura 2.5: Mapa Geomorfológico do DF (Fonte: Campos, 2011. Adaptado de Novaes Pinto, 1994 e Martins & Baptista, 1998).

- Planaltos (regiões coincidentes com as denominadas Chapadas por Novaes Pinto, 1994): Caracterizam-se por topografia plana a suave ondulada, acima da cota de 1.000 m, com baixa densidade de drenagens. Nessas regiões as declividades são inferiores a 10% e predominam os Latossolos (Campos, 2011).
- Planos Intermediários (equivalentes às Áreas de Dissecação Intermediária, denominadas por Novaes Pinto, 1987, 1994): Correspondem a áreas fracamente dissecadas, drenadas por pequenos córregos e com declividades inferiores a 12% (Campos, 2011).
- Planícies (regiões semelhantes aos Vales Dissecados de Novaes Pinto, 1987, 1994): Correspondem a áreas mais baixas, com padrão de relevo ondulado

elaborado sobre sedimentos fluviais, possuindo declividades superiores a 20% e cotas inferiores a 800 m (Campos, 2011). Tais formações repousam sobre rochas impermeáveis com pequena capacidade de infiltração e maior potencial erosivo, com ampla predominância de Cambissolos.

- **Rebordos:** Delineiam parte dos limites entre os compartimentos, com declividade menor que 20%. Sua gênese pode estar associada ao controle litoestrutural, pedológico e hidrodinâmico (Martins *et al.*, 2004).
- **Escarpas:** Correspondem a rupturas abruptas de relevo com declividade alta (> 20%). Ocorrem mais expressivamente na porção norte do domo de Brasília. Essa feição marca a transição ou contato brusco entre as litologias com alto contraste de permeabilidade/erodibilidade. Podem ser do tipo erosivo ou estrutural (Martins *et al.*, 2004).

2.6. Hidrografia

O Distrito Federal é constituído por aproximadamente 57% de terras altas, fator que confere aos cursos d'água características típicas de drenagem de áreas de planalto. Em virtude disso, a região caracteriza-se por ser dispersora das drenagens que fluem para três grandes bacias fluviais do Brasil: Paraná, Tocantins/Araguaia e São Francisco. No DF predominam as nascentes e os cursos d'água pouco extensos e com vazões modestas.

Todos os seus rios são de planalto, sendo as principais bacias identificadas por um padrão de drenagem radial (Fonseca, 1999). Pela disposição da drenagem, o território do Distrito Federal é delimitado por dois de seus cursos de água: a Leste pelo rio Preto; e a Oeste pelo rio Descoberto.

A altitude dos divisores de água é da ordem de 1.200 e 1.300 m. Na separação entre as Regiões Hidrográficas Tocantins/Araguaia e do Paraná predominam vertentes formadas por planos elevados, enquanto nos limites entre as Regiões Hidrográficas do Paraná e do São Francisco as formas de relevo predominantes são serras e escarpas. Devido às características dos rios de planalto associados ao tipo de relevo predominante na região, é típica a ocorrência de perfis escalonados por zonas de corredeiras, ou mesmo grandes quedas d'água, formando

as cachoeiras que comumente despontam no Cerrado. Dadas as condições dos solos, da topografia e do clima, a grande maioria dos cursos da rede de drenagem local conta com regime perene (Fonseca, 1999).

No Distrito Federal encontram-se as bacias hidrográficas dos rios: São Bartolomeu, Paranoá, Descoberto, Corumbá, São Marcos, Preto e Maranhão (Figura 2.6).



Figura 2.6: Compartimentação de bacias hidrográficas nacionais e suas sub-bacias inseridas nos limites territoriais do Distrito Federal (Fonte: Comitê de Bacia Hidrográfica do Paranoá).

Com exceção das nascentes do rio Maranhão, as quais drenam terrenos de relevo acidentado, as nascentes de outros principais rios do DF se originam em áreas de chapada (ou planaltos de acordo com a nova caracterização geomorfológica), com relevo aplainado. As superfícies planas, como os Planaltos ou Chapadas, representam as áreas de recarga hídrica e seus rebordos sofrem uma dinâmica erosiva ativa.

Tabela 2.2: Divisões hidrográficas do Distrito Federal (Fonte: SEMATEC, 1994).

Região Hidrográfica	Bacia Hidrográfica	Unidade Hidrográfica
Bacia do Paraná	Rio São Bartolomeu	Pipiripau
		Mestre D'armas
		Sobradinho
		Paranoá
		Taboca
		Papuda
		Cachoeirinha
		Santana
	Lago Paranoá	Saia Velha/ Maria Pereira
		Santa Maria/ Torto
		Bananal
		Lago Paranoá
		Ribeirão do Gama
		Riacho Fundo
		Lago Descoberto
	Rio Descoberto	Dois Irmãos
		Melchior/ Belchior
Buriti		
Rio Corumbá	Engenho das Lages	
	Alagado/ Ponte Alta	
Rio São Marcos	Santa maria	
Bacia do São Francisco	Rio Preto	Samambaia
		Santa Rita
		Jacaré
		São José
		Extrema
		Buriti Vermelho
		Alto Jardim
		Médio Jardim
		Baixo Jardim
		Capão do Lobo
		São Bernardo
		Vereda Grande
Bacia do Tocantins/ Araguaia	Rio Maranhão	Sonhim
		Pedreira
		Palma

No Distrito Federal, a Região Hidrográfica do Paraná é constituída pelas bacias hidrográficas do rio São Bartolomeu, do Lago Paranoá, do rio Descoberto, do rio Corumbá e do rio São Marcos. Tais bacias hidrográficas correspondem à maior parte das drenagens do DF, representando 64% do território.

A Região Hidrográfica do São Francisco drena aproximadamente 1.407 km² do Distrito Federal, compreendendo a bacia do rio Preto, cuja nascente encontra-se próxima à cidade de Formosa.

A contribuição do DF para a bacia do Tocantins é representada pelo rio Maranhão, cuja nascente localiza-se próxima à divisa. Sua área de drenagem compreende toda a porção norte do território do DF, totalizando cerca de 773 km².

2.7. Vegetação

O polígono do Distrito Federal está inserido integralmente no bioma Cerrado. Ocupando cerca de 2.000.000 km², o Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, representando 23% do território nacional (Peres Júnior, 2011). A grande diversidade de espécies vegetais e fisionomias neste bioma é favorecida pela interação entre o clima e os tipos pedológicos.

A vegetação do Cerrado apresenta fisionomias que englobam formações florestais, savânicas e campestres. As formações florestais representam áreas onde predominam espécies arbóreas; as formações savânicas apresentam árvores e arbustos mais espalhados sobre um estrato de gramíneas; e as formações campestres compreendem as áreas com predomínio de espécies herbáceas e arbustivas. Seguem abaixo as principais descrições das fitofisionomias do bioma Cerrado.

➤ Formações Florestais

Mata Ciliar: formação que acompanha rios de médio e grande porte da região do Cerrado, cuja largura em cada margem é comumente proporcional à largura do leito do rio, raramente ultrapassando 100 m (Peres Júnior, 2011). De aspecto semidecíduo, o estrato arbóreo possui alturas que variam entre 20 e 25 m.

Mata de Galeria: formação perenifólia que acompanha rios de pequeno porte e córregos do Planalto Central, formando corredores fechados (galerias) sobre o curso d'água. A altura média das espécies arbóreas varia entre 20 e 30 m e essa vegetação florestal se localiza nos fundos dos vales ou nas cabeceiras de

drenagem, onde os cursos d'água ainda não escavaram canal definitivo (Peres Júnior, 2011).

Mata Seca: formação florestal que ocorre nos níveis de relevos que separam os fundos de vales (interflúvios) e que não possuem associação com cursos de água (Peres Júnior, 2011). Ocorre em solos mais ricos em nutrientes, como os desenvolvidos sobre rochas básicas ou derivados de rochas calcárias. O estrato arbóreo possui altura média variando entre 15 e 25 m, caracterizado por queda das folhas durante a estação seca.

Cerradão: formação caracterizada pela presença de espécies que ocorrem no Cerrado *sensu strictu* e também por espécies de floresta, com aspecto xeromórfico, que inclui caules e folhas carnudos para armazenar água ou folhas reduzidas e com cerosidade para diminuir a evaporação. A camada de árvores possui altura média variando entre 8 a 15 m.

➤ **Formações Savânicas**

Cerrado *sensu strictu*: formação caracterizada pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações retorcidas e irregulares. Algumas espécies apresentam órgãos subterrâneos perenes, que permitem rebrota após queimada (Peres Júnior, 2011). Devido à complexidade de fatores condicionantes da vegetação (clima, precipitação, fertilidade do solo), esta formação apresenta subdivisões fisionômicas: Cerrado Denso, Cerrado Típico, Cerrado Ralo e Cerrado Rupestre.

Parque de Cerrado ou Campo de Murundu: formação savânica caracterizada pela presença de árvores agrupadas junto a pequenas elevações do terreno, de convexidade variada (murundus). Nos locais em que se concentram, as árvores possuem altura média de 3 a 6 m.

Palmeiral: fitofisionomia caracterizada pela presença marcante de espécies de palmeiras arbóreas como a Macaúba, a Guariroba e o Babaçu. Em geral, os Palmeirais são encontrados em terrenos bem drenados (Peres Júnior, 2011).

Vereda: tipo de vegetação com a palmeira arbórea Buriti emergente em meio a agrupamentos de espécies arbustivo-herbáceas, sem a formação de uma cobertura contínua (dossel). Presente em solos argilosos e mal drenados, com alto índice de

saturação durante a maior parte do ano, a vereda possui buritis adultos com altura média de 12 a 15 m (Peres Júnior, 2011).

➤ **Formações Campestres**

Campo Sujo: formação composta por arbustos e subarbustos esparsos, menos desenvolvidos que as árvores do Cerrado *sensu strictu*, encontrada em solos rasos, eventualmente com pequenos afloramentos rochosos de pouca extensão, ou ainda, em solos profundos de baixa fertilidade (Peres Júnior, 2011).

Campo Rupestre: tipo fisionômico composto de vegetação predominantemente herbáceo-arbustiva com a presença eventual de arvoretas pouco desenvolvidas, que alcançam altura máxima de 2 m. Ocorre em solos ácidos, pobres em nutrientes ou nas frestas dos afloramentos rochosos (Peres Júnior, 2011).

Campo Limpo: formação caracterizada por vegetação predominantemente herbácea, com raros arbustos e ausência completa de árvores, encontrada com mais frequência nas encostas, nas chapadas, nos olhos d'água circundando as Veredas e na borda das Matas de Galeria (Peres Júnior, 2011).

2.8. Hidrogeologia

Os principais trabalhos acerca da hidrogeologia do Distrito Federal estão disponíveis em Romano & Rosas (1970), Barros (1987 e 1994), Amore (1994), Mendonça (1993), Freitas-Silva & Campos (1998 e 1999), Campos & Tröger (2000), Souza (2001), Cadamuro (2002), Joko (2002), Moraes (2004), Campos (2004), Lousada (2005) e Campos (2011).

O Distrito Federal situa-se no limite entre a Província Hidrogeológica do Escudo Central e a Província Hidrogeológica do São Francisco (Campos, 2011), que inclui a Faixa de Dobramentos Brasília e se estende para norte/noroeste, ocupando a Faixa de dobramentos Paraguai/Araguaia e a parte sul do Cráton Amazônico (Mapa Hidrogeológico do Brasil, escala 1:5.000.000). Nessa região a geologia caracteriza-se pela presença de rochas metassedimentares recobertas por solos espessos e rochas alteradas, o que permite a diferenciação de três grandes grupos de aquíferos hidraulicamente conectados: Domínio Aquífero Intergranular (ou Poroso), Domínio Aquífero Fraturado e Domínio Aquífero Físsuro-Cárstico. A grande

variação de tipos litológicos dentro das várias unidades litoestratigráficas existentes no DF, requer a subdivisão em subsistemas para uma caracterização hidrogeológica mais precisa, evidenciando a real diversificação dos domínios, sistemas e subsistemas aquíferos (Figura 2.7).

O **Domínio Aquífero Intergranular** é representado pelo regolito, que é formado pelo saprolito (rocha alterada) e o solo propriamente dito. Tais aquíferos caracterizam-se por serem meios geológicos inconsolidados, afetados pelo intemperismo físico e químico. Devido a isso, a porosidade nos aquíferos porosos é do tipo intergranular, logo, a água ocupa os espaços vazios entre os minerais constituintes do meio.

Os aquíferos do Domínio Intergranular são classificados como livres e/ou suspensos, são extensos e contínuos lateralmente, heterogêneos, anisotrópicos (apresentam variações laterais das propriedades hidráulicas), e, possuem espessuras do meio saturado variando de alguns centímetros a 80 metros, com predominância de espessuras entre 15 e 25 m (Freitas-Silva & Campos, 1998; Campos, 2011). A caracterização dos aquíferos desse domínio está vinculada aos parâmetros hidrodinâmicos, dos quais a condutividade hidráulica (K), a transmissividade (T) e o coeficiente de armazenamento (S) são diretamente proporcionais à espessura do meio poroso, à sua porosidade e permeabilidade. A espessura saturada (b) e a condutividade hidráulica (K) são diretamente controladas pela geologia e pelos solos nos quais os aquíferos se encontram.

Em função dos parâmetros hidrodinâmicos, sobretudo b e K, o Domínio Intergranular foi dividido em quatro sistemas denominados P₁, P₂, P₃ e P₄. Os sistemas P₁ e P₂ possuem espessuras maiores que 20 m e condutividades hidráulicas moderadas a superiores, com valores da ordem de grandeza iguais ou superiores a 10⁻⁶ m/s, respectivamente. O Sistema P₃ possui espessuras entre 5 e 10 m e condutividades hidráulicas baixas, com valores abaixo de 10⁻⁶ m/s. O Sistema P₄ é caracterizado por possuir espessuras menores que 1 m e baixa condutividade hidráulica.

Os aquíferos relacionados a esse domínio exercem funções filtro e reguladora de vazão, pois a partir da infiltração da água da chuva alimentam o domínio sotoposto, sendo responsáveis pela qualidade da água deste e pela manutenção da

perenidade das drenagens no período de estiagem da região. Suas águas são aproveitadas por meio de poços rasos.

O **Domínio Aquífero Fraturado** é representado pelas rochas metassedimentares proterozóicas subjacentes ao Domínio Intergranular. Nesse domínio a água encontra-se armazenada nas discontinuidades planares dos meios geológicos consolidados, representadas por planos de fraturas, microfraturas, diáclases, juntas, zonas de cisalhamento e falhas. Denomina-se, neste caso, de porosidade secundária, uma vez que a porosidade original foi obliterada em função dos processos metamórficos responsáveis pela recristalização dos minerais e cimentação dos grãos.

Os aquíferos do Domínio Fraturado são classificados como livres e/ou confinados, por estarem restritos a zonas que variam de alguns metros a centenas de metros. Lateralmente possuem extensão variável, são heterogêneos e fortemente anisotrópicos, pois as propriedades hidráulicas são muito variáveis em função do tipo de rocha, variando também significativamente em um mesmo tipo litológico. Comumente, esse domínio limita-se a profundidades em torno de 250 m, pois em zonas mais profundas há a tendência de fechamento dos planos de fraturas nas rochas em virtude do aumento da pressão (Freitas-Silva & Campos, 1998; Campos, 2011).

Os parâmetros hidrodinâmicos nos aquíferos do Domínio Fraturado são controlados pela densidade das discontinuidades na rocha. A condutividade hidráulica (K) e o coeficiente de armazenamento (S) têm valores mais altos quanto maior a densidade das fraturas no corpo rochoso (Campos, 2011).

A recarga é feita através de fluxo descendente e lateral de águas infiltradas a partir da precipitação pluviométrica. O relevo, o tipo e a espessura dos solos, a cobertura vegetal e a ocupação urbana são fatores que exercem controle na recarga dos aquíferos.

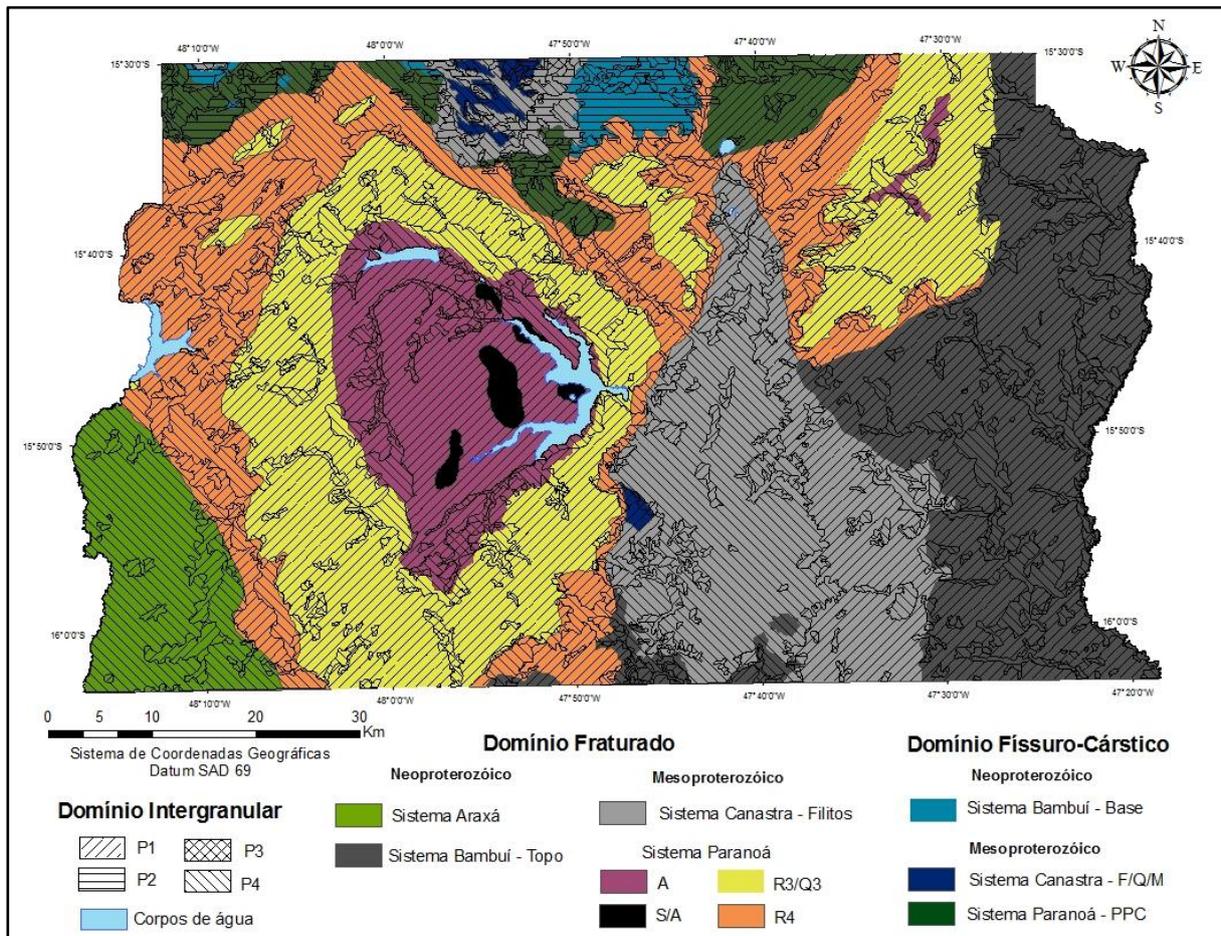


Figura 2.7: Mapa Hidrogeológico do Distrito Federal (fonte: adaptado de Freitas-Silva & Campos, 1998).

A compartimentação dos aquíferos desse domínio é feita em função da geologia, da análise estatística dos dados de vazões e de feições estruturais. São definidos, portanto, quatro sistemas aquíferos: Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí; dos quais o Paranoá, o Canastra e o Bambuí apresentam subdivisão em subsistemas, sendo alguns destes pertencentes ao Domínio Físsuro-Cárstico. A Tabela 2.3 apresenta os domínios aquíferos do DF e as respectivas compartimentações em sistemas e subsistemas.

O **Domínio Aquífero Físsuro-Cárstico** é constituído pelas rochas metassedimentares proterozóicas subjacentes ao Domínio Intergranular, de composição carbonática, que ocorrem na forma de lentes de calcários, dolomitos, margas e mármore. Tais sistemas possuem porosidade secundária resultante dissolução cárstica ocorrida após a diagênese e litificação das rochas. O Domínio

Físsuro-Cárstico ocorre sob a forma de lentes, com restrita continuidade lateral, interdigitadas com litologias menos permeáveis, tais como siltitos argilosos, folhelhos ou filitos (Campos, 2011). Esse domínio representa as vazões mais expressivas em poços individuais na região de estudo.

Os aquíferos do Domínio Físsuro-Cárstico são representados pelo Subsistema PPC do Sistema Paranoá, pelo Subsistema F/Q/M do Sistema Canastra e pelo Subsistema Bambuí-Base. A dissolução química das rochas, responsável pela porosidade, é limitada pela restrita circulação de água, em que as cavidades resultantes são inferiores a 3 m de abertura (Campos, 2011).

Tabela 2.3: Resumo da classificação dos Domínios e Sistemas Aquíferos do DF com respectivas vazões médias (Fonte: adaptado de Campos, 2011).

Domínio	Sistema	Subsistema	Litologia/Solo Predominante	Vazão Média (m ³ /h)
Intergranular	P ₁	-	Latossolos arenosos e Neossolos Quartzarênicos	< 0.8
	P ₂		Latossolos argilosos	< 0.5
	P ₃		Plintossolos e Argissolos	
	P ₄		Cambissolos e Neossolos Litólicos	< 0.3
Fraturado	Paranoá	S/A	Metassiltitos	12.5
		A	Ardósias	4.5
		R ₃ /Q ₃	Quartzitos e Metarritmitos Arenosos	12.0
		R ₄	Metarritmitos Argilosos	6.5
	Canastra	F	Filitos micáceos	7.5
	Bambuí	Topo	Siltitos e Arcóseos	6.0
	Araxá	-	Xistos	3.5
Físsuro-Cárstico	Paranoá	PPC	Metassiltitos e Lentes de Calcáreos	9.0
	Canastra	F/Q/M	Calcifilitos, Quartzitos e Lentes de Mármore	33.0
	Bambuí	Base	Calcáreo micrítico	6.0

CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Introdução

Visando alcançar os objetivos enumerados no capítulo 1, uma série de atividades sequenciais foi executada, o que em conjunto representa a metodologia adotada para o trabalho.

A caracterização hidroquímica das águas subterrâneas do Distrito Federal foi realizada mediante avaliação de dados físico-químicos obtidos *in situ* e através de análises laboratoriais, aliada ao estudo da bibliografia sobre a região, incluindo os perfis construtivos dos poços de água subterrânea selecionados. Para a coleta dos dados foram selecionados 34 poços tubulares profundos, sendo 32 construídos e monitorados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB. Dois poços tubulares selecionados são monitorados, respectivamente, pelo Jardim Zoológico e pela Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos - Finatec.

A seleção dos poços foi feita de acordo com seu perfil construtivo, levando em consideração a litologia do aquífero e o isolamento do poço até a profundidade da rocha, de forma a evitar entrada de águas do Sistema Poroso.

As análises dos parâmetros químicos foram realizadas no Laboratório de Geoquímica (LAGEQ) do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB).

Para o estudo integrado de geologia do DF e hidroquímica dos aquíferos, utilizou-se como ferramenta de suporte o Sistema de Informações Geográficas (SIG), uma vez que a pesquisa vincula-se à confecção de mapa contendo informações das variações composicionais da água subterrânea.

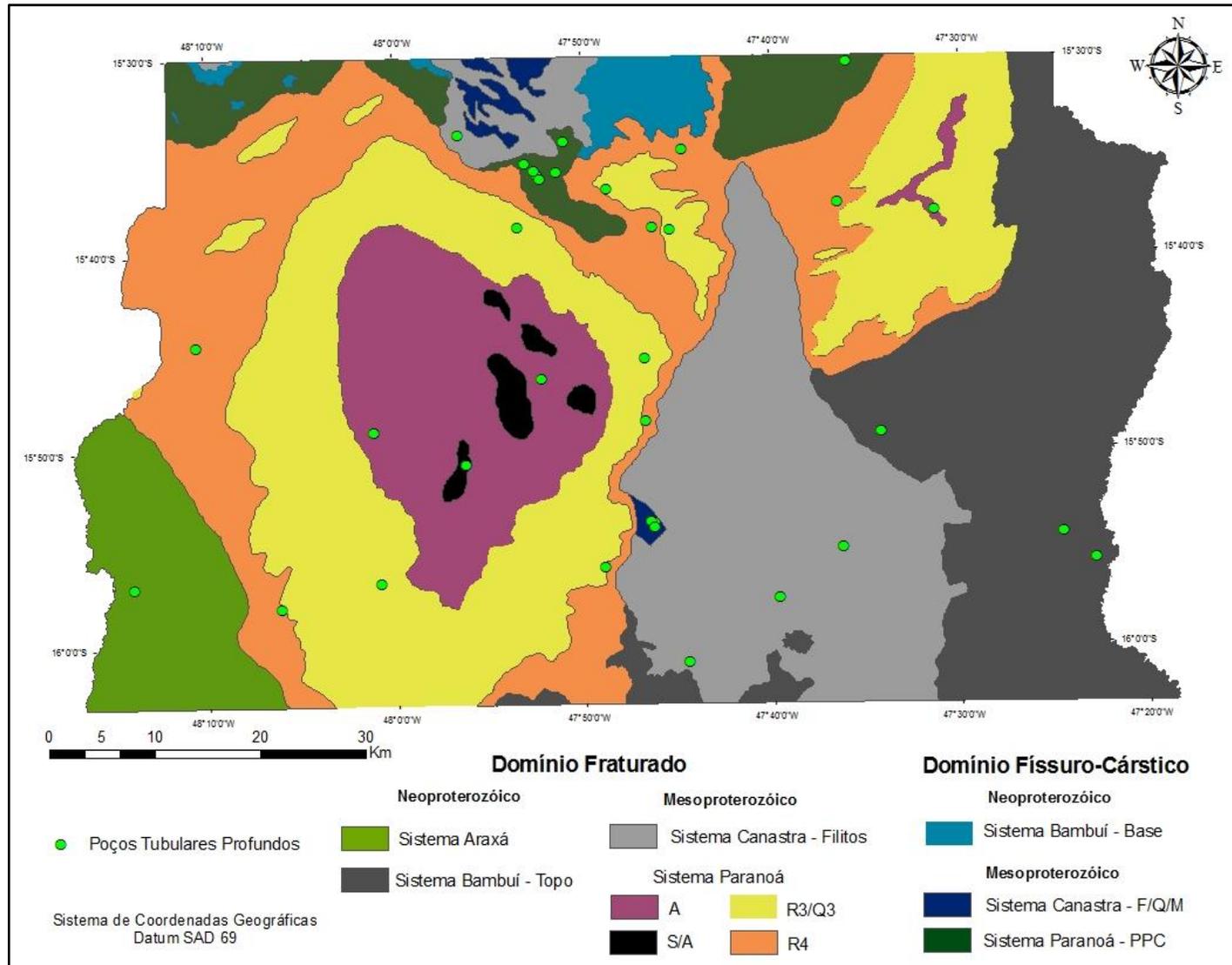


Figura 3.1: Distribuição dos poços selecionados no Mapa Hidrogeológico do DF (Fonte: adaptado de Freitas-Silva & Campos, 1998).

3.2. Poços Selecionados

A seleção dos poços foi feita de forma criteriosa, avaliando o perfil construtivo de diversos poços construídos e monitorados pela CAESB. Optou-se pelos poços construídos e monitorados por essa empresa em razão da credibilidade dos mesmos no que se refere ao isolamento do poço até a profundidade da rocha, de forma a evitar entrada de água do lençol freático.



Figura 3.2: Alguns dos poços selecionados monitorados pela CAESB.

Procurou-se selecionar o mesmo número de poços para cada litologia, entretanto isso não foi possível, uma vez que os poços são perfurados de acordo com a disponibilidade de água para abastecimento público. Ou seja, em litologias que possuem águas jorrando a vazões elevadas há mais poços do que nos aquíferos de menores porosidade e permeabilidade. A relação dos poços e as respectivas litologias estão apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Relação dos poços com as respectivas litologias e coordenadas geográficas.

Poço	Nome	Unidade/ Sistema	UTM E	UTM N
I 8 - 05	Inkra 8	R4 - Metarritmito Argiloso	159664	8256838
EPO-CG2	Núcleo Rural Casa Grande	R4 - Metarritmito Argiloso	167839	8232270
MS-05	Morada do Sul	R4 - Metarritmito Argiloso	202326	8250104
EPO-CATO	Córrego do Atoleiro	R4 - Metarritmito Argiloso	220375	8270733
SO-08	Sobradinho	R4 - Metarritmito Argiloso	202810	8268341
NC-04	Nova Colina	R3/Q3 - Metarritmito Arenoso	204536	8268073

BA-03	Basevi	R3/Q3 - Metarritmito Arenoso	190089	8268201
IT-01	Itapoã	R3/Q3 - Metarritmito Arenoso	202232	8255992
SO-18	Polo de Cinema	R3/Q3 - Metarritmito Arenoso	198474	8271924
EPO-CAU4	Combinado Agroubano CAUB	R3/Q3 - Metarritmito Arenoso	177305	8234705
EPO-NB2	Nova Betânia	R3/Q3 - Metarritmito Arenoso	198463.23	8236330.7
EPO-VP	Vicente Pires	A - Ardósia	176500	8248878
EPO-TAQ2	Taquara	A - Ardósia	229643	8270099
ZOO	Jardim Zoológico	S/A - Siltito/Ardósia	185239	8245936
Finatec	Finatec	S/A - Siltito/Ardósia	192401	8253980
EPO-QL2	Queima Lençol	PPC - Psamo-pelito carbonatada	194348.23	8276389.7
EPO-BON	Bonsucesso	PPC - Psamo-pelito carbonatada	221224	8284017
EPO-SAR	Sarandi	PPC - Psamo-pelito carbonatada	205662	8275654
EPO-EV1	Engenho Velho	PPC - Psamo-pelito carbonatada	191995.24	8273069.68
EPO-EV2	Engenho Velho	PPC - Psamo-pelito carbonatada	192181.24	8272816.68
EPO-BAN2	Bananal	PPC - Psamo-pelito carbonatada	193738.24	8273428.68
EPO-ABV	Alto da Bela Vista	PPC - Psamo-pelito carbonatada	191617.24	8273542.68
EPO-FO	Fercal Oeste	PPC - Psamo-pelito carbonatada	190685	8274199
AQ-3A	Água Quente	Grupo Araxá	153863	8233952
EPO-TAB	Tabatinga	Grupo Bambuí - Topo	224590.23	8249252.7
EPO-BUV	Buriti Vermelho	Grupo Bambuí - Topo	241966.24	8239939.68
EPO-ITA	Itapeti	Grupo Bambuí - Topo	245071	8237501.7
EPO-CAT2	Catingueiro	F - Filito Grupo Canastra	184438	8276848
EPO-QN	Escola Classe Café sem Troco	F - Filito Grupo Canastra	221081	8238286
EPO-SBAT	Núcleo Rural São Bartolomeu	F - Filito Grupo Canastra	215097.5	8233504.61
EPO-CHA2	Chapada	F - Filito Grupo Canastra	206458.24	8227471.68
SS-06A	São Sebastião	F/Q/M - Grupo Canastra	203222	8240518
SS-18	São Sebastião	F/Q/M - Grupo Canastra	202876	8240620
SS-01A	São Sebastião	F/Q/M - Grupo Canastra	203158	8240121

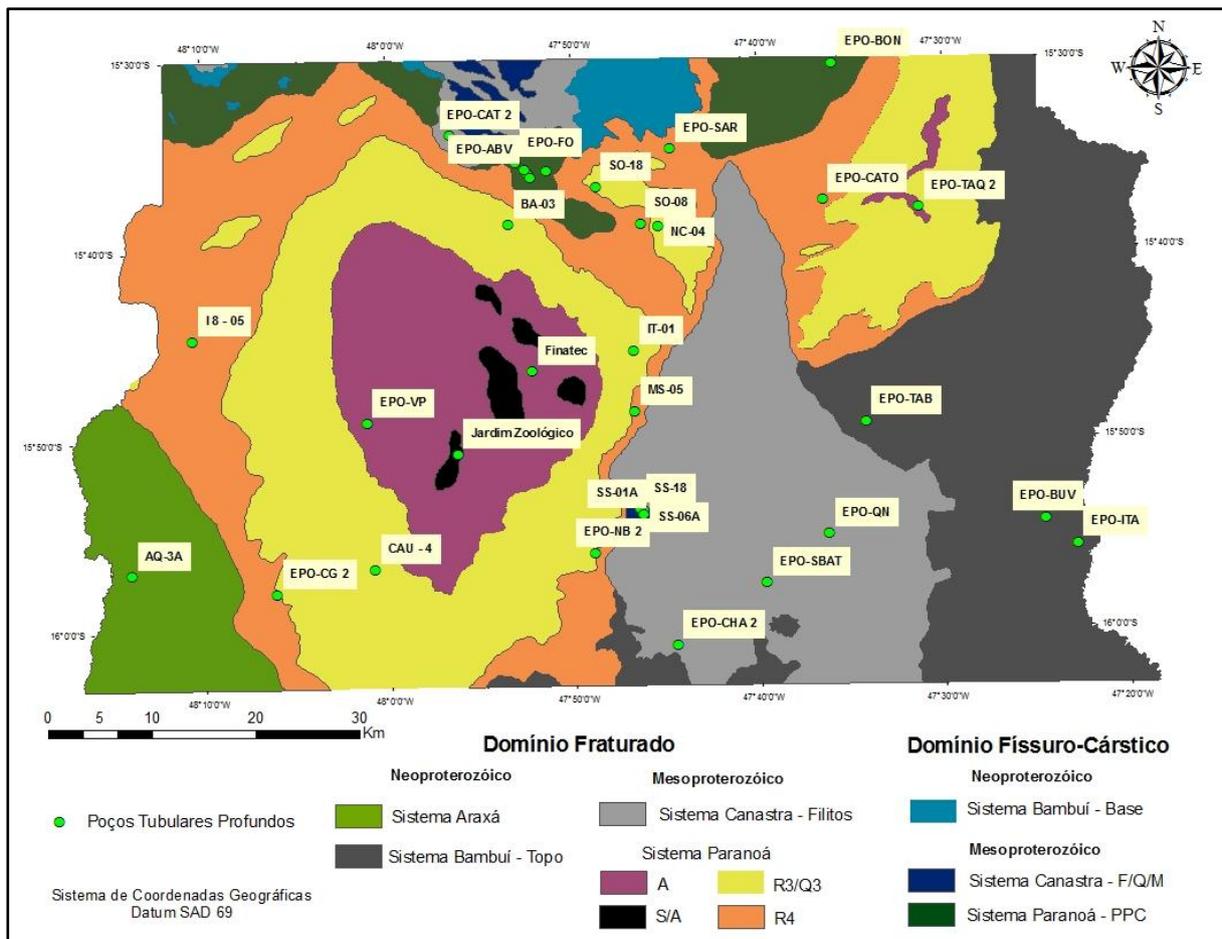


Figura 3.3: Mapa hidrogeológico com os poços selecionados para a pesquisa.

3.3. Metodologia de Amostragem

A coleta das amostras compreendeu uma etapa importante na execução deste trabalho, pois nesta fase o risco de contaminação é alto, o que poderia resultar em adulterações nos resultados.

Foram realizadas duas campanhas de coletas – a primeira em abril/2010, após o período de chuvas na região, e a segunda em setembro/2010, após o período de estiagem – com finalidade verificar uma possível variação nas concentrações dos elementos químicos ou mesmo nos parâmetros físicos correlacionada à sazonalidade climática da região.

O processo de amostragem constituiu-se de duas etapas. Foram determinados *in situ* os parâmetros físico-químicos: pH, condutividade elétrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidade (‰) e total de sólidos dissolvidos (mg/l). Para

esta etapa foram utilizados os equipamentos *pH meter SHOTT GERATECG813* e *Conductivity/TDS meter da Hach Company CO-150*. A outra etapa compreendeu a análise laboratorial, descrita no tópico a seguir.



Figura 3.4: Equipamentos utilizados na medição dos parâmetros *in situ*.

Aplicou-se metodologia analítica específica para análise de água seguindo os critérios e normas do *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*, edição da *American Public Health Association (APHA)*, da *American Water Works Association (AWWA)*, e da *Water Pollution Control Federation (WPCF)*. O controle de qualidade dos resultados foi realizado por meio da análise de amostra de água de concentração conhecida.

3.4. Metodologia Analítica

A água coletada em cada poço foi armazenada em recipientes esterilizados e levada ao Laboratório de Geoquímica (LAGEQ) do Instituto de Geociências da UnB para as análises químicas. Antes da coleta da água em cada poço, foi feito o rejeito da água armazenada nas tubulações, deixando escoar por 5 minutos.

Os ensaios escolhidos foram os necessários para a determinação dos elementos constituintes do diagrama de Piper (1944), incluindo os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ e os ânions SO_4^{2-} , Cl^- e HCO_3^- . Além destes, foram medidas também as concentrações dos íons Si^{4+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , NH_4^+ e dos elementos-traço.

Todas as amostras foram filtradas utilizando-se membranas em ésteres de celulose *milipore* de 0,45 μm , acidificadas com HNO_3 (ácido nítrico) e refrigeradas para análise química posterior.

Antes de filtrar e acidificar cada amostra, foi realizado o ensaio de alcalinidade para a determinação do ânion bicarbonato (HCO_3^-), sendo ácido sulfúrico (0,02N) o titulante e fenolftaleína e bromocresol vermelho de metila os indicadores.



Figura 3.5: Filtragem e acidificação das amostras.

Para determinação de teores de Ca, Mg, Si, Al, Fe e elementos-traço (Sr, La, Ti, V, Ni, Zr, Cu, Cr, Mn, Ba, Co, Zn, Cd, Mo) foi feita análise seguindo metodologia própria utilizando Espectrometria de Emissão Atômica com fonte de Plasma (ICP/AES) da marca *Spectro Analytical Instruments GmbH*, modelo *Spectroflame-Fvmo3*, utilizando nebulizador *Meinhard* e demais condições operacionais de acordo com as especificações do fabricante.

Os cátions Na^+ e K^+ foram determinados através de espectrometria de emissão pela chama usando equipamento *Perkim Elmer AAnalyst 200 Atomic Absorption Spectrometer*.

O íon amônia (NH_4^+) das amostras foi determinado através de leitura em espectrômetro de leitura direta (*Hach DR/2000*), pelo método 680 e na linha espectral de 450 nm. As amostras foram dispostas em cubetas de vidro de 25 ml, às quais foram adicionados os reagentes: mineral *stabilizer*, *polivinial alcool* e reagente de *Nessler* para o volume citado, com tempo de reação de 5 minutos.

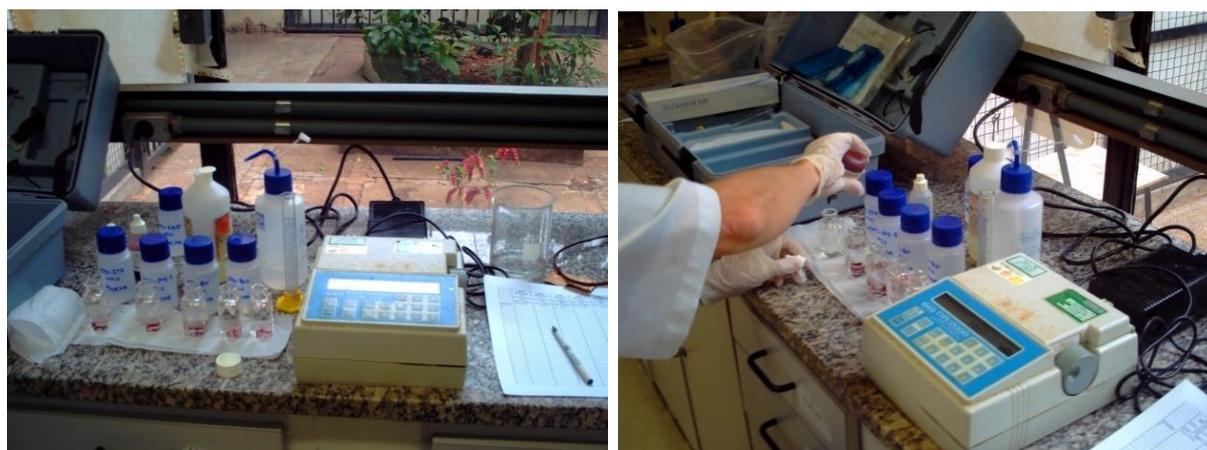


Figura 3.6: Determinação dos ânions.

Os ânions fosfato (PO_4^{3-}), nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}), fluoreto (F^-) e cloreto (Cl^-) foram determinados utilizando cromatografia líquida de alta performance (HPLC) Cromatógrafo *Dionex ICS-90 system*.

CAPÍTULO 4: MINERALOGIA DOS DOMÍNIOS AQUÍFEROS

A caracterização mineralógica dos domínios aquíferos da área da pesquisa foi baseada no estudo da bibliografia existente sobre a região, aliado a uma análise minuciosa dos perfis construtivos dos poços de água subterrânea selecionados.

No **Domínio Fraturado** distinguem-se os subsistemas **S/A**, **A**, **R₃/Q₃** e **R₄** do **Sistema Aquífero Paranoá**; o Subsistema **F** do **Sistema Aquífero Canastra**; o **Sistema Aquífero Araxá**; e o **Subsistema Bambuí-Topo**.

A litologia do **Sistema Aquífero Paranoá** é constituída, basicamente, em sua base por siltitos metamorfisados e ardósias, e, em direção ao topo predominam os ritmitos metamorfisados, constituídos de metapelitos e quartzitos. Níveis arcoseanos e lentes carbonáticas são comuns neste sistema.

O **Subsistema S/A** é composto por metassiltitos maciços e, próximo ao topo da sequência por metarritmitos arenosos. Subordinadamente ocorrem raras lentes de calcáreo, que, no entanto não configuram feições cársticas (Campos, 2011). Este subsistema tem ocorrência restrita no Distrito Federal, como ilhas na Unidade A, em áreas com grande densidade de ocupação urbana. Em virtude da presença de camadas psamíticas em direção ao topo da unidade S, o subsistema aquífero S/A possui boa capacidade armazenadora de água e é utilizado como fonte alternativa de abastecimento de água, por meio da perfuração de poços tubulares. A perfuração dos poços é iniciada sobre as ardósias antes de interceptar a Unidade S, e em razão disso, pode haver relevante contribuição das características físico-químicas das águas que circulam na Unidade A.

Os poços tubulares profundos localizados no S/A selecionados para coleta de amostras desta pesquisa foram: Finatec, localizado próximo ao prédio da Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos na Asa Norte; e Zoo, dentro do Jardim Zoológico de Brasília. Não foi possível ter acesso aos perfis geológicos dos mesmos, entretanto, a indicação destes poços foi feita pelo geólogo responsável quando da perfuração deles, que possui conhecimento da litologia local.

As rochas pelíticas compreendem os sedimentos cuja granulação predominante situa-se nos intervalos entre silte (0,062 a 0,004 mm) e argila (menores que 0,004 mm). De maneira geral, os pelitos compõem-se de quartzo, feldspatos e alta proporção de argilominerais, micas e cloritas. Os filossilicatos

perfazem mais de 50% dos minerais das rochas sedimentares pelíticas; portanto, essas rochas são mais ricas em Al^{3+} e Si^{4+} e pobres em Ca^{2+} (Suguio, 2003). A razão sílica/alumina constitui um indicador da granulometria das rochas pelíticas, sendo as rochas mais ricas em sílica em geral mais arenosas, e, as mais ricas em alumina, mais argilosas.

Para o **Subsistema A** foram selecionados dois poços, que são utilizados para o abastecimento público. Este subsistema é constituído predominantemente por ardósias, podendo ocorrer lentes de quartzitos e veios de quartzo branco intercalados, conforme consta nos perfis construtivos dos poços. As ardósias apresentam coloração vermelho-escura e aspecto maciço e laminar (poço EPO-TAQ2); e, coloração marrom-escura a esverdeada com clivagem bem definida (poço EPO-VP).

As ardósias são formadas sob condições de metamorfismo regional de baixo grau, em fácies xisto-verde, a partir de rochas sedimentares pelíticas - folhelhos, argilitos e margas. Sua paragênese congrega quartzo, sericita, fengita, clorita e pirofilita.

Os subsistemas **R₃/Q₃** e **R₄** são formados por metarritmitos intercalados com bancos de quartzitos, sendo que no R₃/Q₃ predomina a fração arenosa; enquanto no R₄, que está em contato gradacional com o Q₃, a frequência e a espessura dos bancos de quartzitos diminuem progressivamente, predominando os metarritmitos argilosos. No que se refere às características hidráulicas dos aquíferos, as unidades geológicas R₃ e Q₃ possuem propriedades similares, sendo por isso, classificadas hidrogeologicamente como um único aquífero. Devido à disponibilidade de poços nestes subsistemas e facilidade de acesso aos mesmos, foram selecionados para este estudo seis poços localizados no R₃/Q₃ e cinco poços pertencentes ao R₄.

Na fração pelítica do Subsistema **R₃/Q₃** são observados metassiltitos avermelhados (poço EPO-CAU4), siltitos brancos (poço NC-04) e cinzas (poço SO-18) e estratos de argilitos vermelhos (poço NC-04) ou esverdeados (poço IT-01). Podem ocorrer ainda metalamitos siltosos e micáceos. Na fração arenosa, que é a predominante nestes aquíferos, ocorrem os quartzitos de coloração cinza a branca, por vezes avermelhados, de granulação fina a média.

A mineralogia básica do subsistema R₃/Q₃ constitui-se de quartzo e filossilicatos, dentre os quais se destaca a illita e lâminas finas de muscovita. Localmente são observados em alguns poços óxidos de ferro.

No **Subsistema R₄**, composto em sua maior extensão e espessura por rochas pelíticas, foram caracterizados metargilitos cinza-escuros foliados (poço SO-08), metassiltitos com níveis de óxidos de ferro abundantes (poço EPO-CATO), metassiltitos azulados a cinzas (poço I8-05) e metargilitos avermelhados com níveis de pirita e lamelas de óxido de ferro (poço EPO-CG2). Ocorrem também nestes aquíferos metassiltitos sericíticos e ricos em magnetita. São comuns níveis de marga e veios de calcita em profundidade (poço SS-18).

Os filossilicatos constituem os principais componentes dos argilitos, dentre os quais incluem os argilominerais - illita, caulinita e esmectita; as cloritas; e as micas – muscovita, biotita, glauconita, sericita e pirofilita.

A fração psamítica do Subsistema R₄ é constituída por material quartzítico fino. Quartzitos feldspáticos são comuns neste subsistema. Os quartzitos são compostos por quartzo em fração maior que 75%, tendo como protólito principalmente arenitos quartzosos. Além do quartzo, os minerais comumente presentes nos quartzitos do DF são as micas (muscovita, sericita e biotita) e os feldspatos.

Para o **Subsistema F** do **Sistema Aquífero Canastra** foram selecionados quatro poços, dos quais três localizam-se no Vale do Rio São Bartolomeu (EPO-QN, EPO-SBAT, EPO-CHA2), na porção central do DF, e um poço (EPO-CAT2) situa-se na porção centro-norte do DF, no Vale do Rio Maranhão.

A litologia característica da Unidade F caracteriza-se por fengita filitos, clorita filitos, quartzo filitos, fengita-clorita-filitos e lentes de quartzitos. Na evolução metamórfica dos pelitos, os filitos são as rochas intermediárias entre ardósia e xisto, metamorfisados em fácies xisto verde, cuja mineralogia principal consiste de quartzo, clorita e mica muscovítica. Na área de estudo ocorrem filitos maciços de coloração cinza (poços EPO-CHA2 e EPO-SBAT) e vermelha (poço EPO-QN) com veios de quartzo. Localmente, alguns filitos apresentam grande porcentagem de sericita.

Para o **Sistema Aquífero Araxá** foi selecionado apenas um poço para análise de água, devido à escassez de poços disponíveis para abastecimento público pela CAESB nesta unidade, uma vez que o Sistema Araxá é o aquífero que apresenta as menores vazões no DF.

Este sistema aquífero ocupa uma porção restrita no sudoeste do Distrito Federal. É composto por xistos - rochas formadas a partir do metamorfismo ocorrido em grau mais elevado que as ardósias e os filitos. No DF, ocorrem basicamente muscovita xistos, quartzo-muscovita xistos e clorita xistos, além de lentes de quartzitos micáceos (Campos, 2011). O perfil construtivo do poço selecionado (poço AQ-3A) descreve a ocorrência de micaxisto de coloração cinza, com presença de pirita e fragmentos de quartzo. Os minerais comumente presentes nestes xistos derivados de sedimentos argilosos são quartzo, muscovita, biotita e clorita.

O **Sistema Bambuí**, conforme detalhado no capítulo 2, foi compartimentado em dois subsistemas: Base – pertencente ao Domínio Fissuro-Cárstico; e Topo – pertencente ao Domínio Fraturado. Para o Bambuí-Base não foram encontrados poços profundos sob monitoramento da CAESB. Foram então selecionados para este estudo três poços profundos apenas para o Domínio Fraturado do Bambuí. Segundo Campos (2011), no Subsistema Bambuí-Topo ocorrem siltitos, folhelhos e arcóseos. Pela análise geológica do perfil construtivo dos poços selecionados, tem-se uma litologia constituída de arcóseos intercalados com metassiltitos.

Os arcóseos são constituídos por feldspatos, de origem detrítica ou autigênica, em proporção acima de 25% que os demais constituintes da rocha. Sua composição inclui, além de quartzo e feldspatos em grande quantidade, porções subordinadas de fragmentos líticos e argilominerais, principalmente caulinita (Guimarães, 1997). Na área de estudo ocorrem arcóseos de granulação grossa a muito grossa, de coloração cinza clara a esbranquiçada (poço EPO-BUV) e vermelha a rósea (poço EPO-ITA). Os metassiltitos desta unidade ocorrem intercalados com os arcóseos, variam de cor cinza a verde. Ocorrem ainda níveis de quartzitos com veios de quartzo e porções de metargilitos rosados (poço EPO-ITA).

Para esta pesquisa foram estudados no **Domínio Fissuro-Cárstico**, os subsistemas: **PPC do Sistema Aquífero Paranoá**; e **F/Q/M do Sistema Canastra**. Essas unidades geológicas possuem litologias cuja porosidade secundária é

resultante da dissolução cárstica, que se dá após a diagênese e litificação das rochas. Tais condições de porosidade conferem aos aquíferos fissuro-cársticos características hidrológicas distintas dos demais aquíferos fraturados, e, por esse motivo constituem um domínio à parte. Entretanto, o Domínio Fissuro-Cárstico aparece no DF de forma restrita, pois seus tipos litológicos ocorrem sob a forma de lentes interdigitadas com litologias pouco permeáveis, tais como siltitos argilosos, folhelhos ou filitos (Campos, 2011).

O **Subsistema PPC** ocorre na região norte do Distrito Federal, em associação litológica com a Unidade Psamo Pelito Carbonatada do Grupo Paranoá. Em razão de excelentes vazões hidráulicas nos poços perfurados neste subsistema e, portanto, da quantidade de poços tubulares profundos disponíveis, foram selecionados para esta pesquisa oito poços para análise de água.

O Subsistema PPC é composto por lentes de metacalcários e camadas centimétricas a métricas de quartzitos grossos interdigitados com metassiltitos e metargilitos. Localmente ocorrem níveis espessos de margas de coloração cinza a negra (poço EPO-QL2), intercalados às finas camadas de metassiltitos e quartzitos.

As rochas sedimentares carbonáticas têm como principais representantes o calcário, composto predominantemente por calcita (CaCO_3); e o dolomito, composto pelo mineral dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$].

O **Subsistema F/Q/M** representa uma área reduzida inserida no Sistema Canastra, caracterizada geologicamente por lentes de mármore, calcifilitos e quartzitos, que são interdigitados aos filitos.

Os mármore foram bem delimitados sob o espesso manto de intemperismo na região de São Sebastião e também em afloramentos na porção centro-norte do Distrito Federal. Nos mármore, os carbonatos são os minerais dominantes, sendo muitos mármore compostos somente por calcita, com proporções menores de quartzo e filossilicatos. É comum também a presença de grafite e pirita como acessórios. Os calcifilitos apresentam em sua composição carbonatos associados a micas, cloritas e quartzo.

Os sedimentos margosos contêm uma mistura de componentes carbonáticos e silicáticos, uma vez que sua composição integra 35 a 60% de argilas. Os minerais

presentes nas margas são argilominerais, quartzo, micas, calcita e, menos comumente, dolomita.

Tomando como referência Klein C. & Hurlbut (1993), foi feita, para as litologias estudadas, uma análise dos elementos químicos presentes em cada mineral, a partir de suas fórmulas químicas. Partindo dessas informações foi construída para a presente pesquisa a Tabela 4.1, contendo os principais minerais presentes nos aquíferos da área de estudo, os íons liberados por eles através do intemperismo químico de acordo com a solubilidade de cada elemento e o sistema aquífero correspondente.

Tabela 4.1: Mineralogia dos Aquíferos e íons liberados.

Mineral	Íons Liberados	Litogia
Plagioclásio	Na ⁺ ; Si ⁴⁺	Arcóseos (Sistema Bambuí–Topo) Quartzitos (Sistemas Paranoá, Araxá e Canastra)
K- feldspato	K ⁺ ; Si ⁴⁺	Arcóseos (Subsistema Bambuí–Topo)
Muscovita	K ⁺ ; Si ⁴⁺	Xistos (Sistema Araxá) Quartzitos (Sistemas Paranoá, Araxá e Canastra)
Fengita	K ⁺ ; Si ⁴⁺ ; Fe ²⁺ ; Mg ²⁺	Ardósias (Subsistema A) Filitos e calcifilitos (Subsistema F e F/Q/M)
Sericita	K ⁺ ; Si ⁴⁺	Metapelitos e metamargas (Subsistema R ₄) Ardósias (Subsistema A) Filitos e calcifilitos (Sistema Canastra) Quartzitos (Sistemas Paranoá, Araxá e Canastra)
Biotita	Fe ²⁺ ; Mg ²⁺ ; Si ⁴⁺	Metapelitos (Subsistema R ₄) Xistos (Sistema Araxá) Quartzitos (Sistemas Paranoá, Araxá e Canastra) Calcáreos e dolomitos silicáticos
Glauconita	Fe ²⁺ ; Mg ²⁺ ; Si ⁴⁺	Subsistema R ₄
Pirofilita	Si ⁴⁺	Ardósias (A) Metapelitos (R ₃ /Q ₃ e R ₄)
Clorita	Fe ²⁺ ; Mg ²⁺ ; Si ⁴⁺	Ardósias (Subsistema A) Filitos e calcifilitos (Sistema Canastra) Xistos (Sistema Araxá) Metapelitos (R ₃ /Q ₃ e R ₄)
Caulinita	Si ⁴⁺	Arcóseos (Sistema Bambuí – Topo) Metapelitos (R ₃ /Q ₃ e R ₄)
Ilita	K ⁺ ; Fe ²⁺ ; Mg ²⁺ ; Si ⁴⁺	Argilitos (R ₄ e R ₃ /Q ₃)
Esmectita	Mg ²⁺ ; Ca ²⁺ ; Na ⁺ ; Si ⁴⁺	Argilitos (R ₄ e R ₃ /Q ₃)
Calcita	Ca ²⁺ ; HCO ₃ ⁻	Calcáreos, margas, calcifilitos e mármore (PPC, Bambuí – Base, F/Q/M, R ₄ e S/A)
Dolomita	Mg ²⁺ ; Ca ²⁺ ; HCO ₃ ⁻	Dolomitos (Bambuí – Base e S/A) Carbonatos (PPC, F/Q/M, R ₄)

CAPÍTULO 5: DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Introdução

Nas águas subterrâneas, grande parte das substâncias dissolvidas encontra-se no estado iônico; assim, suas características e concentrações podem ser usadas para uma análise hidrogeoquímica da área de estudo. Alguns constituintes iônicos principais estão presentes em todas as águas subterrâneas e sua soma representa a quase totalidade dos íons presentes (Mestrinho, 2008). No grupo dos cátions, destacam-se o sódio (Na^+), o potássio (K^+), o cálcio (Ca^{2+}), o magnésio (Mg^{2+}) e o silício (Si^{4+}). No grupo dos ânions, cloreto (Cl^-), nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-).

Este capítulo apresenta os resultados de análises físico-químicas das águas subterrâneas realizadas em 34 poços tubulares profundos na área de estudos em dois períodos climáticos distintos. Foram efetuadas 68 análises no Laboratório de Geoquímica (LAGEQ) do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB) em maio de 2010 e em outubro de 2010, que correspondem a amostras de 34 poços coletadas em abril de 2010 e de 34 poços em setembro do mesmo ano.

5.2. Resultados

Para interpretar os dados, foram inicialmente selecionados os parâmetros relevantes, que são os componentes iônicos principais e os parâmetros físico-químicos, utilizados na caracterização hidroquímica de águas subterrâneas (ver Anexo III). Os elementos maiores e o HCO_3^- , devido à sua alta solubilidade em água, ocorrem em maiores concentrações nas águas subterrâneas, especialmente naquelas armazenadas nos subsistemas aquíferos cujas litologias são ricas nestes elementos (Tabela 4.1).

Os parâmetros físicos relevantes para a discussão dos resultados desta pesquisa são: Condutividade Elétrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$) e pH. Dos parâmetros químicos, foram considerados relevantes: os constituintes iônicos cujas concentrações nas águas subterrâneas geralmente são maiores que 5 mg/L: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- ; e os constituintes iônicos cujos teores nas águas subterrâneas geralmente estão entre 0,01 e 10 mg/L: K^+ , Si^{4+} , NO_3^- .

Os elementos Al^{3+} , Fe^{2+} , F^- , assim como o SO_4^{2-} , o NH_4^+ e os elementos-traço (Sr, La, Ti, V, Ni, Zr, Cu, Cr, Mn, Ba, Co, Zn, Cd, Mo) foram descartados da discussão preliminar dos resultados, pois seus teores estão, na maior parte das amostras, abaixo do Limite de Detecção (LD) e do Limite de Quantificação (LQ). Conforme os resultados das medidas realizadas, as concentrações destes elementos nas águas subterrâneas da área de estudo são menores que 0,1 mg/L (ver Anexo I).

Para uma análise mais objetiva dos parâmetros e sua correlação com a litologia e com possíveis fatores antrópicos, utilizou-se o método estatístico da Análise de Principais Componentes (APC). Nessa metodologia foram utilizados os valores medidos na segunda campanha (setembro) dos parâmetros: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , F^- , Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , pH e Condutividade Elétrica (CE).

Finalizando a discussão dos resultados empregou-se o Diagrama de Piper (1944), fundamentando a classificação das águas subterrâneas, ao permitir a visualização da abundância relativa dos parâmetros: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} e Condutividade Elétrica (CE).

As coletas e análises das amostras de água subterrânea para este estudo foram realizadas em dois períodos distintos, com o intuito de verificar uma possível variação nas concentrações dos elementos químicos ou mesmo nos parâmetros físicos correlacionada à sazonalidade climática da região. Conforme observado nas tabelas de resultado das análises (Anexo I) houve variações de alguns décimos de miligramas em algumas amostras, e essas alterações não seguem um padrão. Ou seja, alguns parâmetros tiveram suas concentrações aumentadas em alguns poços e diminuídas em outros, independente da litologia. Verifica-se, portanto, que as águas armazenadas na zona saturada dos domínios Fraturado e Físsuro-Cárstico são pouco vulneráveis às flutuações climáticas.

5.3. Discussão Preliminar dos Resultados

Para uma análise preliminar dos parâmetros selecionados, foram gerados gráficos padrões de concentrações iônicas versus litologia (Figuras 5.1 a 5.8). A seguir são apresentados os gráficos de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Si^{4+} , HCO_3^- e

Condutividade Elétrica, medidos nos dois períodos distintos, bem como a discussão preliminar das variações obtidas para cada tipo litológico.

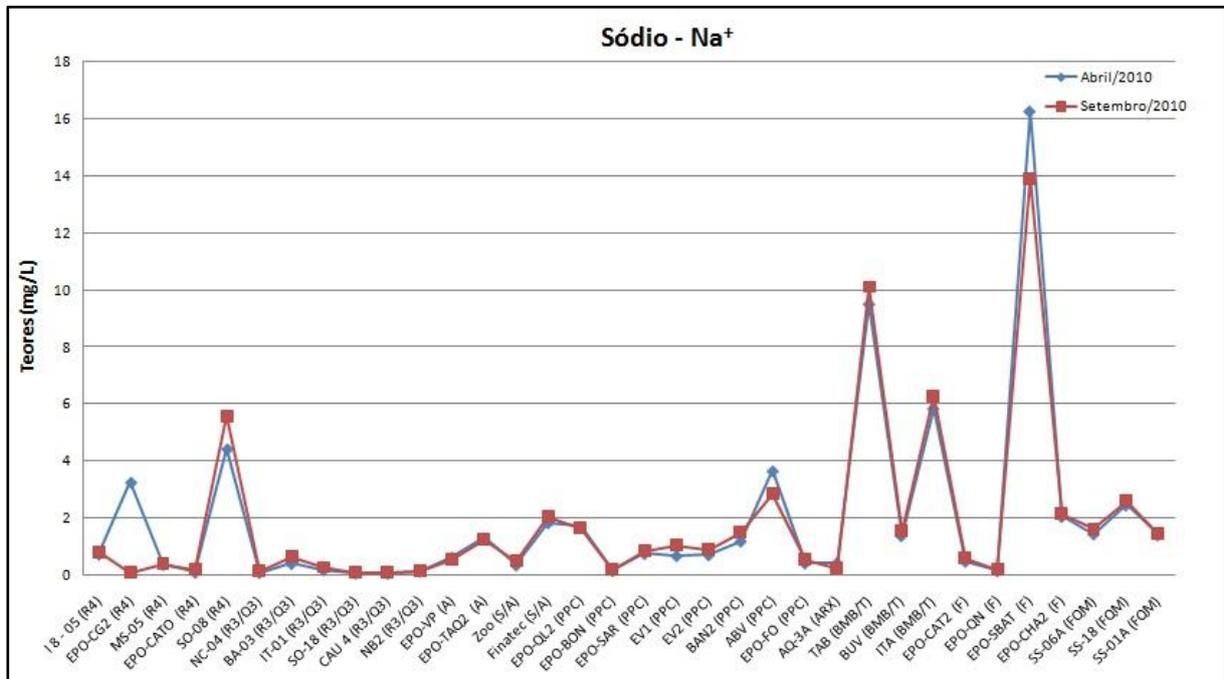


Figura 5.1: Gráfico dos teores de Na⁺.

O íon sódio (Na⁺) apresentou os menores teores na unidade R₃/Q₃; teores intermediários nas demais unidades do Sistema Paranoá, no Subsistema F do Sistema Canastra e no Sistema Araxá; e, teores mais elevados nas águas pertencentes aos aquíferos dos subsistemas Bambuí–Topo e Canastra (F/Q/M).

Nas águas subterrâneas, o Na⁺ ocorre sob a forma de cloretos, possui solubilidade elevada e é de difícil precipitação. Os minerais que o contêm possuem baixa estabilidade química e são facilmente atacados pelos processos intempéricos. Para os sistemas aquíferos estudados nesta pesquisa, os principais minerais fontes de Na⁺ são feldspatos sódicos (plagioclásios), que são constituintes dos arcóseos e dos quartzitos, presentes em diversas proporções em todos os sistemas aquíferos da região de pesquisa.

Nas águas provenientes das unidades R₄, A, S/A e PPC do Sistema Paranoá, do Subsistema Filitos (Sistema Canastra) e do Sistema Araxá, o Na⁺ apresenta

valores bastante próximos, com exceção de alguns poços. Os teores variam de 0,1 a 3,65 mg/L, e, dentro deste grupo a subunidade PPC possui os teores mais elevados desse cátion.

Localizado no Subsistema R₄, as amostras do poço SO-08 apresentam concentrações de Na⁺ bem acima da média dos demais poços localizados no mesmo subsistema. As concentrações são de 4,42 mg/L medida na primeira campanha e de 5,6 mg/L medida na segunda campanha. O poço EPO-CG2 apresenta uma medida deste íon discrepante da outra. Nesse poço, a concentração do elemento na primeira campanha é de 3,25 mg/L e na segunda de 0,11 mg/L, estando essa última medida correlacionada com a média do Subsistema R₄. Seu perfil construtivo denota níveis em que há predominância de quartzito, de 66,5 m a 92 m de profundidade, com intercalações subordinadas de metassiltitos e metargilitos.

Na unidade R₃/Q₃ as concentrações de Na⁺ variam de 0,05 a 0,4 mg/L na primeira campanha e de 0,09 a 0,64 mg/L na segunda.

Para os subsistemas A e S/A, os valores de Na⁺ são similares. Isso ocorre porque o Subsistema S/A, composto predominantemente por metassiltitos, ocorre como ilhas sotopostas à Unidade A, e, a perfuração dos poços é iniciada sobre as ardósias, antes de interceptar a Unidade S. Espera-se, portanto, que os poços com maior contribuição de água circulando na Ardósia tenham valores de Na⁺ mais elevados do que os poços com maior contribuição de água circulando no siltito (S/A). Entretanto, os poços EPO-TAQ2 (A) e Finatec (S/A) possuem assinatura mais semelhante com a unidade A; e os poços EPO-VP (A) e Zoo (S/A), valores de Na⁺ menores, mais compatíveis com os siltitos.

Os teores do íon Na⁺ nas águas do Subsistema PPC são também intermediários. Os menores valores são do poço EPO-BON, localizado no extremo norte da área de estudo, distante dos outros poços pertencentes a esta unidade. O referido poço atravessa níveis de quartzito e metargilito antes de atingir o nível dos calcários, conforme observado em seu perfil construtivo. Logo, os baixos teores de Na⁺ em suas águas estão relacionados ao fato de haver contribuições do Subsistema R₃/Q₃. Já as águas provenientes do poço EPO-ABV, possuem os teores mais elevados para o Na⁺, que não são justificáveis pela geologia, mas podem estar

relacionados à ocupação antrópica ou depósito de lixo próximo que evoquem contaminação das águas, já que esse poço localiza-se em meio ao povoado da Fercal.

Os valores das concentrações de Na^+ no poço do Sistema Araxá são 0,42 mg/L para a primeira campanha e 0,26 mg/L para a segunda campanha. São teores intermediários, correlacionáveis para sua litologia, que é composta de micaxisto com níveis quartzosos.

Para o Subsistema Bambuí-Topo, os níveis de Na^+ nas águas são mais altos, justificável em função do contato das águas com os arcóseos da unidade, ricos em feldspatos sódicos. Entretanto, ocorrem variações composicionais dentro da própria unidade. As águas do poço EPO-BUV contêm baixo teor de Na^+ , comparado com os demais poços selecionados do subsistema. Diferentemente desses, aquele poço atravessa litologia mais síltica, intercalada com níveis subordinados quartzíticos e arcoseanos, conforme atesta seu perfil construtivo.

Nas águas que circulam pelos filitos do Grupo Canastra, as concentrações de Na^+ se aproximam das encontradas no Subsistema PPC, mas existem variações nas concentrações do elemento na unidade. O poço EPO-QN, possui valores mais baixos de Na^+ para esse subsistema - 0,14 mg/L na primeira campanha e 0,19 mg/L na segunda. No poço EPO-SBAT, o teor medido de Na^+ é o mais elevado de todas as unidades - 16,28 mg/L na primeira campanha e 13,4 mg/L na segunda. O poço EPO-CHA2 está com assinatura de Na^+ mais semelhante com F/Q/M, o que pode ser um indicativo de níveis de calcifilitos na unidade.

No Subsistema F/Q/M os teores de Na^+ variam de 1,4 a 2,5 mg/L.

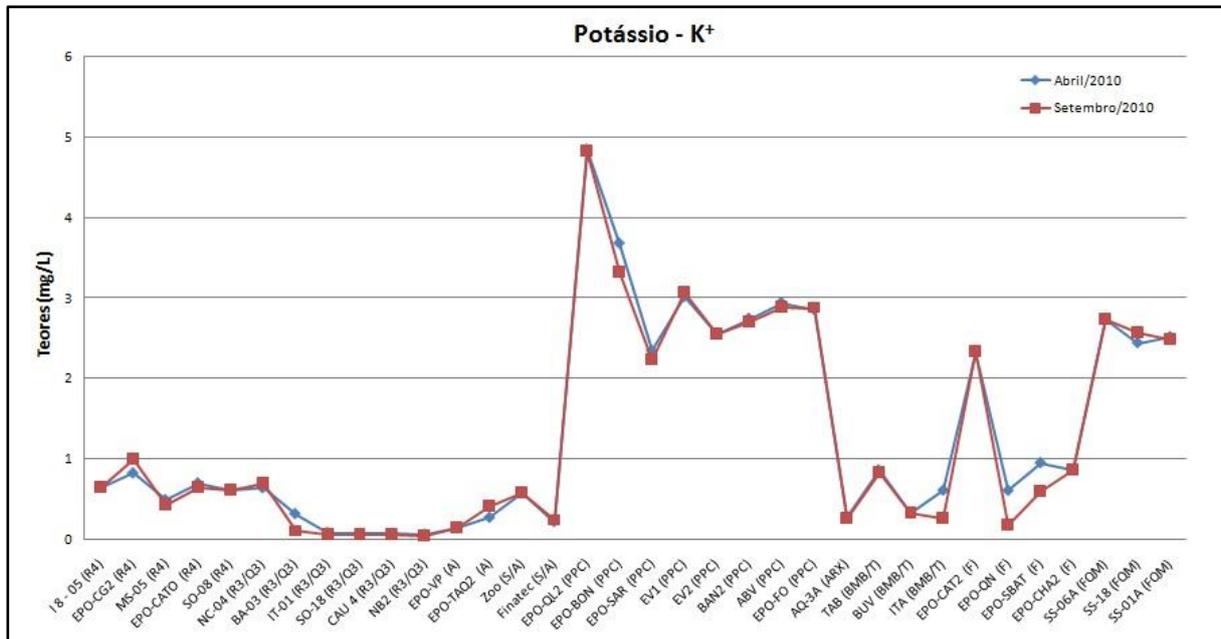


Figura 5.2: Gráfico dos teores de K⁺.

O potássio (K⁺), assim como o Na⁺, apresenta concentrações menores nas águas do Subsistema Aquífero R₃/Q₃; mas, diferentemente do Na⁺, os teores mais elevados de K⁺ são verificados no Subsistema PPC, seguido do Subsistema F/Q/M (Sistema Canastra). Apesar dos elementos K⁺ e Na⁺ pertencerem ao mesmo grupo dos metais alcalinos, seus comportamentos nos processos de solubilização são diferentes.

O K⁺ é considerado o sexto elemento em escala de abundância nas rochas, entretanto, ocorre em pequenas quantidades nas águas subterrâneas devido à sua participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de adsorção pelos argilominerais e pela matéria orgânica (Santos, 2008). De maneira geral, nas regiões do DF em que não há influência antrópica, o K⁺ se concentra nas águas subterrâneas dos domínios Fraturado e Físsuro-Cárstico em virtude da dissolução de feldspatos potássicos e dos filossilicatos que contenham K⁺ em sua estrutura, dos quais se destacam as muscovitas e, subordinadamente, as fengitas e ilitas.

No Subsistema R₄ as concentrações de K⁺ nas águas variam de 0,49 a 0,82 mg/L na primeira campanha e de 0,44 a 1,0 mg/L na segunda campanha. O poço EPO-CG2 é o que apresenta o valor mais elevado de K⁺ nesta unidade - 0,82 e 1,00 mg/L. O perfil geológico desse poço fornece informações que justificam elevados

teores de K^+ e Na^+ , atestando a predominância de níveis de quartzito em detrimento dos níveis de siltitos e argilitos.

Nas águas do Subsistema R_3/Q_3 , os valores de K^+ respondem de maneira muito semelhante ao Na^+ , estando caracterizado com os menores teores: entre 0,06 e 0,64 mg/L na primeira campanha, e 0,04 e 0,70 mg/L na segunda campanha.

Nos subsistemas A e S/A, os valores de K^+ são igualmente baixos e estão próximos dos obtidos nos subsistemas R_4 e R_3/Q_3 . Com caráter pelítico, ambas as unidades são compostas por litologias que não envolvem os minerais ricos em K^+ . Diferentemente do íon Na^+ , a assinatura do K^+ para estas unidades não apresenta a mesma correlação. Enquanto o íon Na^+ demonstrou um comportamento mais correlacionável com a Unidade A para os poços EPO-TAQ2 (A) e Finatec (S/A) e mais similar à assinatura da Unidade S/A para os poços EPO-VP (A) e Zoo (S/A); o íon K^+ não apresenta a mesma resposta. O poço Zoo apresenta valores mais elevados de K^+ , o que está coerente com sua litologia. No mapa hidrogeológico, observa-se que o poço Finatec não se localiza exatamente no ponto da Unidade S/A, e, apesar de ser considerado como pertencente a esta unidade, sua assinatura hidroquímica está mais condizente com águas circulando em meio de ardósias (Subsistema A).

As águas do Subsistema PPC apresentam os maiores teores do íon K^+ , com algumas pequenas variações composicionais dentro da unidade. Os valores medidos na primeira campanha estão entre 2,35 a 4,85 mg/L; e na segunda campanha estão entre 2,23 a 4,83 mg/L. O poço EPO-SAR apresenta teores bem abaixo da média desse subsistema, o que é condizente com a informação do seu perfil construtivo, que atesta entradas de água entre 18 e 20 m de profundidade, e depois aos 150 m. A litologia calcárea ocorre a partir dos 114 m de profundidade, predominando quartzitos e argilitos da Unidade R_4 , sobreposta àquela. Fica claro então que há mistura de água nesse poço, e os íons provenientes da dissolução das rochas carbonáticas estão diluídos pelas águas mais ácidas que circulam nos metarritmitos. O mapa hidrogeológico do DF (Campos, 1998 e Campos, 2011) não mostra a presença do subsistema PPC na localização desse poço e o mesmo está plotado sobre o R_4 no mapa.

Ainda no Subsistema PPC, o poço EPO-QL2 encontra-se muito próximo do contato com a Unidade Bambuí-Base e apresenta mais elevada concentração de K^+ (4,8 mg/L). Seu perfil geológico descreve intercalações de metassiltitos com quartzitos até os 74 m de profundidade, onde começam a aparecer níveis de marga, ainda assim com intercalações de metassiltitos e metarenitos.

As águas que circulam pelo Sistema Araxá possuem baixos teores para o K^+ , correlacionáveis para sua litologia, que é composta de micaxisto com níveis quartzosos.

No Subsistema Bambuí-Topo, as águas apresentam teores de K^+ entre 0,61 e 0,86 mg/L na primeira campanha; e 0,27 e 0,83 mg/L na segunda. Assim como o comportamento do Na^+ , o K^+ também apresenta variações composicionais na unidade. O poço que possui maior teor de Na^+ também possui maior concentração de K^+ . Essa assinatura hidroquímica, com teores mais altos de Na^+ e K^+ dentro da própria unidade pode ser atribuída à presença de níveis mais arcoseanos, que são ricos em feldspatos tanto potássicos como sódicos; enquanto os demais poços deste subsistema estariam com as águas circulando nos níveis mais sílticos e quartzíticos da unidade.

As amostras do Subsistema F do Grupo Canastra possuem concentrações de K^+ que variam em torno de 0,6 a 1,0 mg/L, com exceção de um poço (EPO-CAT2), cujas concentrações estão em torno de 2,3 mg/L. O elevado teor de K^+ está relacionado à presença de fengita filitos, comuns na unidade. Além disso, o contato com os calcifilitos do Subsistema F/Q/M contribuem para o enriquecimento desse cátion nas águas, levando em consideração que o poço EPO-CAT2 localiza-se no extremo norte da área de estudo, muito próximo do contato.

Assim como o Na^+ , as concentrações de K^+ nas águas do Subsistema F/Q/M (Sistema Canastra) não possuem grandes variações dentro da unidade. Foram obtidos os teores variando de 2,52 a 2,74 mg/L na primeira campanha; e de 2,49 a 2,75 mg/L na segunda campanha.

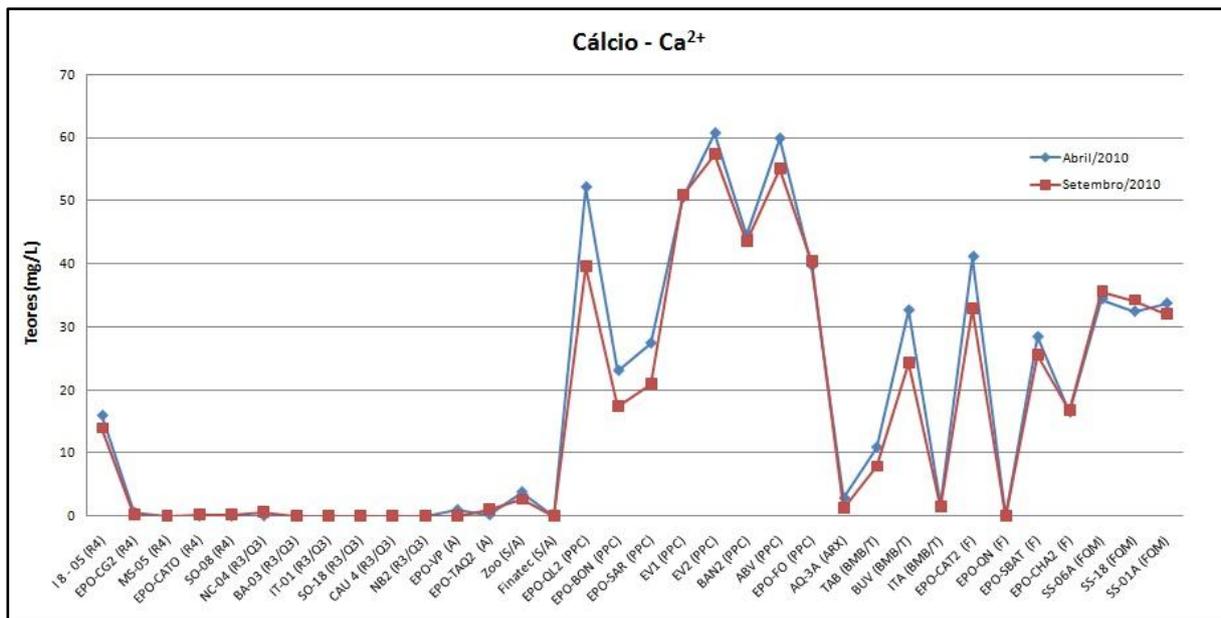


Figura 5.3: Gráfico dos teores de Ca^{2+} .

O gráfico das concentrações para o íon cálcio (Ca^{2+}), demonstra claramente que esse cátion apresenta teores muito baixos para as águas dos metarritmitos do Paranoá, teores elevados para os subsistemas PPC e F/Q/M, e, teores variados nos subsistemas Bambuí-Topo e F.

O Ca^{2+} é o elemento mais abundante na maioria das águas naturais, pois possui moderada a alta solubilidade. Os principais minerais que liberam o íon Ca^{2+} para as águas na região estudada são: calcita e dolomita nas rochas calcárias; plagioclásios; e, subordinadamente, os argilominerais, especialmente a esmectita.

Nas águas dos subsistemas aquíferos R_4 e R_3/Q_3 as concentrações do elemento Ca^{2+} foram muito baixas, todas abaixo de 1 mg/L, e a maioria com concentrações abaixo do valor do Limite de Detecção (LD). A única exceção é o poço I8-05, localizado no Subsistema R_4 , no extremo oeste da área de estudos, cujas concentrações são 15,93 mg/L na primeira campanha de análises e 13,91 mg/L na segunda campanha. Estima-se que possa haver um nível extremamente cálcico, como uma lente de calcáreo cortando a litologia predominante neste local.

Nos subsistemas A e S/A, os teores de Ca^{2+} variam entre 0,01 mg/L (abaixo do LD) e 3,81 mg/L nas análises realizadas na primeira campanha; e variam entre 0,01 mg/L (abaixo do LD) e 2,62 mg/L nas análises realizadas na segunda

campanha. Para esse conjunto de amostras acontece o mesmo que se observa para o elemento K^+ : as águas provenientes dos poços EPO-VP (A), EPO-TAQ2 (A) e Finatec (S/A) possuem assinatura hidroquímica similar, com valores correlacionáveis para Ca^{2+} também. Por outro lado, os teores de Ca^{2+} , assim como K^+ são mais altos no poço Zoo, que está localizado sobre a Unidade S/A.

No Subsistema PPC encontram-se as mais elevadas concentrações de Ca^{2+} , com alguma variação dentro da própria unidade, mas correlacionada com a litologia, composta por calcáreos. Neste aquífero, os teores estão entre 23,06 a 60,64 mg/L na primeira campanha de amostras; e entre 17,41 e 57,3 mg/L na segunda campanha. Os poços EPO-BON e EPO-SAR possuem os valores de Ca^{2+} nas águas mais baixos que a média da unidade.

O poço EPO-BON intercepta níveis não muito espessos de calcáreo da Unidade PPC, atravessando camadas de quartzito e argilito intercaladas ao calcáreo. Logo, as baixas concentrações de Ca^{2+} nas águas desse poço são esperadas, pois há mistura de águas de distintas unidades, com contribuição em torno de 80 a 90% do quartzito, em detrimento do calcáreo do PPC. As águas provenientes do poço EPO-SAR, demonstram para o íon Ca^{2+} o mesmo comportamento que para o K^+ . Ocorre mistura das águas que circulam no Subsistema PPC com as águas que circulam no Subsistema R₄, em razão das entradas de água nesse poço entre os 18 e 20 m de profundidade, e depois aos 150 m.

As águas do Sistema Araxá, são pouco mineralizadas e os valores de Ca^{2+} , assim como para os demais cátions, são muito baixos.

Nas águas do Subsistema Bambuí-Topo o Ca^{2+} possui um comportamento instável, pois suas concentrações variam bastante de um poço para outro dentro da mesma unidade. A base do Grupo Bambuí é constituída por pelitos, calcáreos e dolomitos, logo, é possível inferir que alguns poços localizados no Subsistema Bambuí-Topo alcancem níveis mais profundos da unidade, e suas águas circulem por litologias mais calcílicas, apresentando uma assinatura correspondente. O íon Ca^{2+} apresenta concentrações que variam de 1,89 a 32,61 mg/L na primeira campanha; e de 1,4 a 24,18 mg/L na segunda campanha. O perfil geológico desses poços não indica a presença de rochas carbonáticas.

Para o Subsistema F o elemento Ca^{2+} também demonstra variações composicionais, entretanto, é possível fazer algumas observações interessantes quando se compara o resultado de outros elementos para o mesmo poço. O poço EPO-CAT2 possui os teores mais elevados de Ca^{2+} para essa unidade, próximos dos valores medidos nos poços situados na Unidade F/Q/M. O referido poço localiza-se no extremo norte do DF, próximo ao contato com o Subsistema F/Q/M do Canastra; portanto, espera-se que haja maior contribuição de água circulando nos calcifilitos deste poço. O poço EPO-QN possui os menores valores do Subsistema F, para todos os cátions. No caso do Ca^{2+} , sua concentração medida está abaixo do Limite de Detecção (LD) nas águas desse poço, provavelmente devido a mistura de águas. O seu perfil geológico indica entrada de água a 46 m de profundidade, onde ocorre filito com grande ocorrência de veios de quartzo, e a 154 m de profundidade. Os outros dois poços da Unidade F possuem águas com concentrações elevadas do íon Ca^{2+} , confirmando a hipótese da influência de níveis carbonáticos nas águas.

Por fim, o Subsistema F/Q/M apresenta elevadas concentrações de Ca^{2+} , variando entre 32,42 e 34,38 mg/L na primeira campanha; e 32,02 e 35,53 mg/L na segunda campanha. A assinatura hidroquímica do Ca^{2+} para esse subsistema corrobora o esperado para sua litologia. O comportamento dos íons maiores, inclusive o Ca^{2+} , nas águas provenientes do F/Q/M demonstra uniformidade, não havendo variações composicionais discrepantes dentro da unidade e os valores obtidos estando bastante próximos.

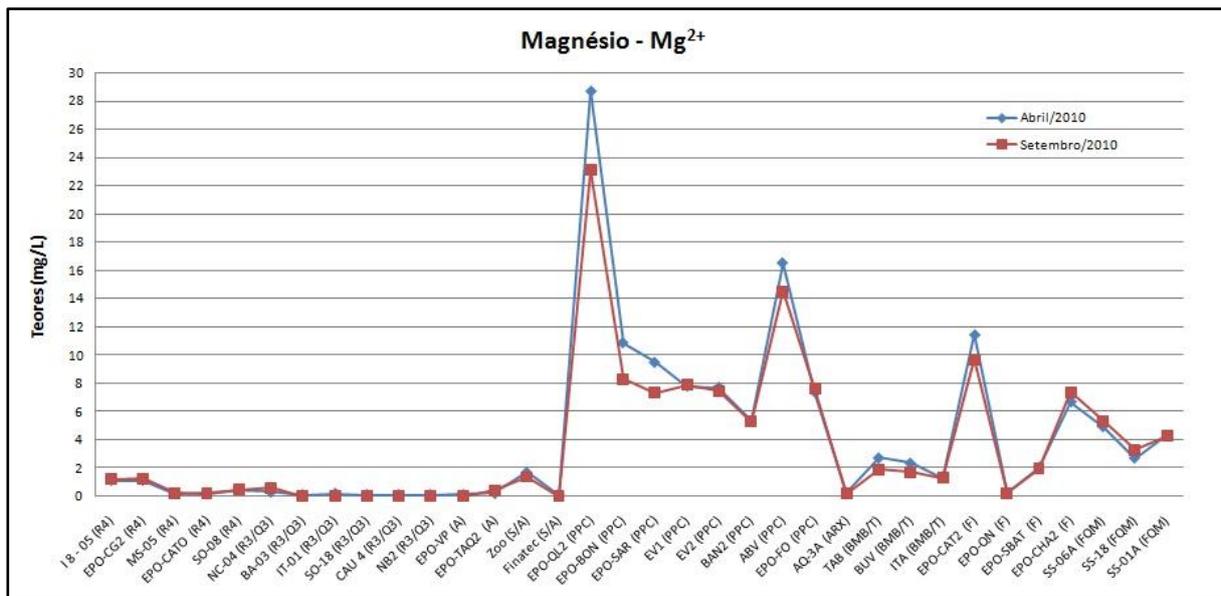


Figura 5.4: Gráfico dos teores de Mg²⁺.

O íon magnésio (Mg²⁺) apresentou os menores teores nas águas pertencentes aos sistemas aquíferos R₃/Q₃ e A, e, em parte das amostras desses subsistemas, o cátion possui concentrações abaixo do Limite de Detecção. As mais elevadas concentrações de Mg²⁺ ocorrem nas águas do Subsistema PPC, seguidas pelos subsistemas F e F/Q/M (Sistema Canastra).

O Mg²⁺ apresenta propriedades similares às do Ca²⁺, entretanto, é mais solúvel e mais difícil de precipitar. Quando em solução, tem a tendência de nela permanecer, sob a forma iônica. Os minerais fontes que frequentemente liberam Mg²⁺ para as águas na região de estudo são: dolomita; clorita; micas, especialmente biotita, subordinadamente glauconita e fengita; e, alguns argilominerais, especialmente illita e esmectita.

No Subsistema R₄, o íon Mg²⁺ apresenta concentrações variando entre 0,21 e 1,15 mg/L nas amostras da primeira campanha; e entre 0,22 e 1,28 mg/L nas amostras da segunda campanha. O resultado das análises de Mg²⁺ para essa unidade foi compatível com sua natureza litológica.

O Subsistema R₃/Q₃ possui os menores teores do cátion Mg²⁺, com a maioria das amostras apresentando valores inferiores ao Limite de Detecção para este elemento (0,11 mg/L). O fato dos valores serem mais elevados nas amostras

advindas dos poços da Unidade R₄ em relação às amostras da Unidade R₃/Q₃ já era esperado, uma vez que no R₄ predominam os metargilitos e metapelitos em detrimento da fração arenosa. A litologia dos metapelitos do Subsistema R₄ é constituída principalmente por filossilicatos, dentre os quais incluem os ricos em Mg²⁺: argilominerais - illita e esmectita; as cloritas; e micas - biotita, glauconita.

Nos subsistemas A e S/A, os teores de Mg²⁺ variam entre 0,11 mg/L (abaixo do LD) e 1,74 mg/L na amostras da primeira campanha; e variam entre 0,02 mg/L (abaixo do LD) e 1,38 mg/L nas amostras da segunda campanha. No Subsistema A, os cátions Mg²⁺, Ca²⁺ e K⁺ estão presentes em quantidades inferiores que as do Subsistema S/A. As águas que circulam nos siltitos tendem a incorporar os íons dissolvidos dos argilominerais, das cloritas e das micas; enquanto as águas armazenadas nas ardósias ficam mais enriquecidas em Na⁺. Denota-se então, que a assinatura hidroquímica dos poços EPO-VP (A), EPO-TAQ2 (A) e Finatec (S/A) é muito semelhante, com valores correlacionáveis para os íons Ca²⁺, K⁺ e Mg²⁺. Sendo assim, o único poço que representa com segurança uma assinatura hidroquímica dos metassiltitos do Subsistema S/A é o Zoo.

As mais elevadas concentrações de Mg²⁺ estão nas águas provenientes do Subsistema PPC, em razão desse subsistema aquífero ser composto por rochas sedimentares carbonáticas, ou seja, contêm no mínimo 50% de carbonatos em sua composição, os quais incluem a dolomita – CaMg(CO₃)₂. As variações do elemento Mg²⁺ na unidade são similares às que ocorrem para o Ca²⁺ e K⁺. Os valores medidos na primeira campanha estão entre 5,34 e 28,69 mg/L; e os valores medidos na segunda campanha estão entre 5,32 e 23,08 mg/L, sendo que os valores médios estão em torno de 7,5 mg/L.

Os gráficos de Ca²⁺ x Mg²⁺ (Figuras 5.5 e 5.6) demonstram as semelhanças e as diferenças de concentrações desses dois cátions para as amostras analisadas.

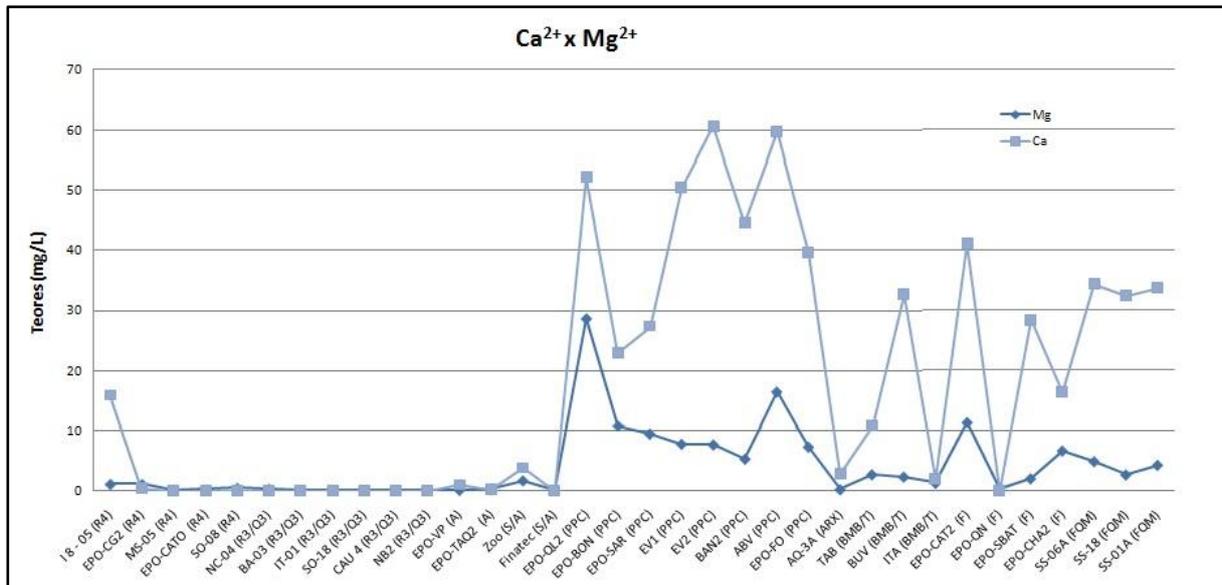


Figura 5.5: Concentrações de Ca²⁺ e Mg²⁺ medidas na primeira campanha.

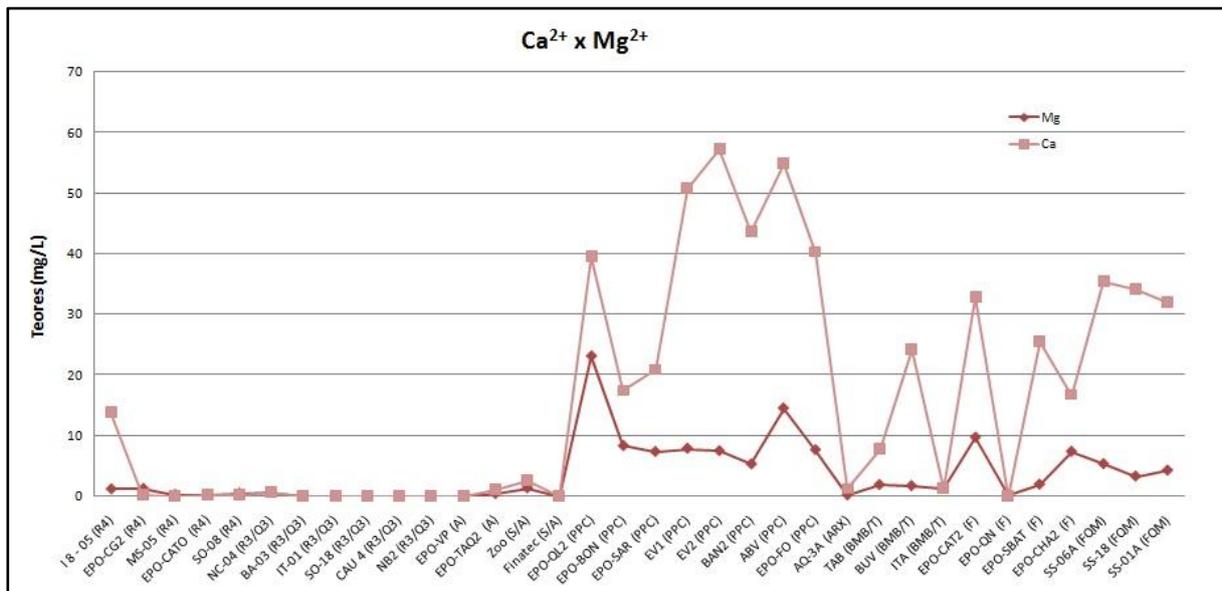


Figura 5.6: Concentrações de Ca²⁺ e Mg²⁺ medidas na segunda campanha.

As águas do Sistema Araxá apresentam baixas concentrações de Mg²⁺, cujo teor está em torno de 0,2 mg/L. Os minerais que compõem a litologia desse subsistema são pouco solúveis.

No Subsistema Bambuí-Topo o elemento Mg^{2+} possui teores que variam de 1,32 a 2,76 mg/L nas amostras da primeira campanha; e variam de 1,31 a 1,91 mg/L nas amostras da segunda campanha.

Nas águas que circulam pelos filitos do Sistema Canastra, o Mg^{2+} apresenta teores mínimos de 0,24 mg/L e máximos de 11,45 mg/L. O poço EPO-CAT2 possui os teores mais elevados de Mg^{2+} para esta unidade, o que é coerente com a natureza geológica do subsistema, rico em fengita filitos, clorita filitos e fengita-clorita filitos. Além disso, pode ocorrer influência de níveis carbonáticos nas águas, já que esse poço localiza-se no extremo norte do DF, próximo ao contato com o Subsistema F/Q/M do Canastra. As águas do poço EPO-QN possuem concentrações muito baixas de Mg^{2+} , assim como de todos os demais cátions.

No mesmo subsistema, o poço EPO-SBAT não apresenta teores tão elevados para Mg^{2+} como os obtidos para Ca^{2+} e Na^+ . O poço EPO-CHA2 possui teor elevado de Mg^{2+} , maior que os valores encontrados no Subsistema F/Q/M. Tal assinatura hidroquímica demonstra haver circulação de águas em níveis mais calcínicos e dolomíticos.

No Subsistema F/Q/M a concentração de Mg^{2+} nas águas não apresentou grandes variações. O menor valor medido foi 2,73 mg/L e o teor mais elevado foi 5,35 mg/L.

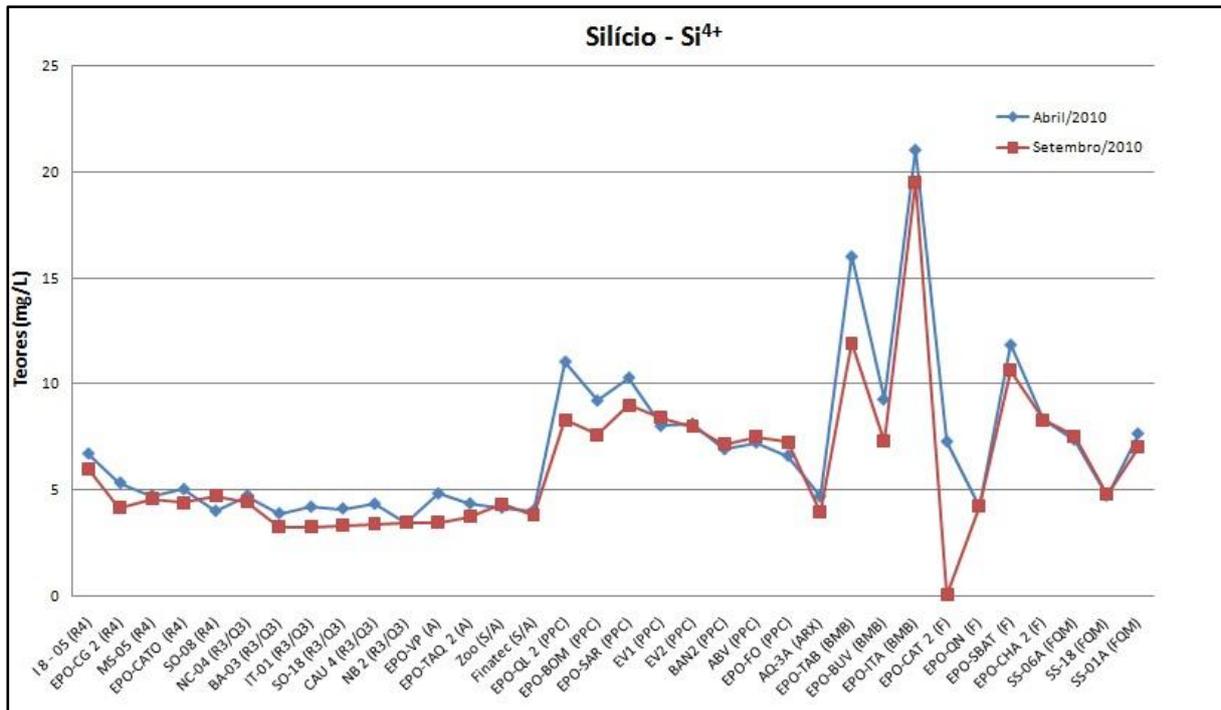


Figura 5.7: Gráfico dos teores de Si^{4+} .

As concentrações de silício (Si^{4+}) são menores, próximas de 5 mg/L, nas águas provenientes dos aquíferos formados por metarritmitos, metassiltitos e ardósias do Sistema Paranoá e nas águas advindas do Sistema Araxá. As concentrações mais elevadas deste íon estão nas águas do Subsistema Bambuí-Topo, seguidas do Canastra e PPC.

O Si^{4+} é o segundo elemento mais abundante, em peso, na crosta terrestre. Ocorre principalmente na forma de silicatos e no quartzo. Quando em solução, a sílica ocorre na forma de ácido monossilícico - $\text{Si}(\text{OH})_4$.

Nos subsistemas aquíferos R_4 , R_3/Q_3 , S/A e A, quase todas as amostras apresentam concentrações de Si^{4+} abaixo de 5 mg/L, apenas três poços do R_4 possuem águas com teores em torno de 5,5 e 6,7 mg/L.

Nas águas provenientes do Subsistema PPC, as concentrações do íon Si^{4+} estão entre 6,61 e 11,05 mg/L. Em ambientes mais alcalinos, como este subsistema aquífero, as águas elevam seus teores de ácido carbônico (H_2CO_3) ao reagirem com altas concentrações de CO_2 , elevando seu poder corrosivo.

O teor de Si^{4+} nas águas do Sistema Araxá é de 4,98 mg/L na primeira campanha e de 3,93 mg/L na segunda campanha.

O íon Si^{4+} possui teores mais elevados nas águas do Subsistema Bambuí-Topo, alcançando a concentração de 21,07 mg/L no poço EPO-ITA. O perfil construtivo desse poço informa que a entrada de água ocorre aos 54 m, próximo da transição de nível de saprolito para rocha sã. O elevado teor do íon nas águas demonstra maior nível de saprolito do que de rocha sã nos poços de mesma litologia, uma vez que na dissolução dos silicatos, o $\text{Si}(\text{OH})_4$ é um dos principais produtos.

Para o Subsistema F o elemento Si^{4+} também demonstra variações composicionais, assim como para os demais cátions. As variações composicionais dentro da unidade não são correlacionáveis com os valores dos cátions alcalinos, pois estes possuem solubilidade mais elevada que o Si^{4+} e estão associados em geral aos minerais carbonáticos. O poço EPO-CAT2 possui concentrações baixas de Si^{4+} , apesar de valores distintos nas duas campanhas. O perfil litológico desse poço informa que a entrada de água ocorre a partir dos 72 m, onde se tem rocha sã, filito maciço. O poço EPO-SBAT, com teores em torno de 11 mg/L, pode estar associado a um grau maior de rocha intemperizada da unidade.

As águas do Subsistema F/Q/M possuem concentrações do íon variando entre 4,7 e 7,6 mg/L, o que corrobora o fato de que os elevados teores de Si^{4+} nas águas estão mais relacionados ao grau de intemperismo das rochas silicáticas.

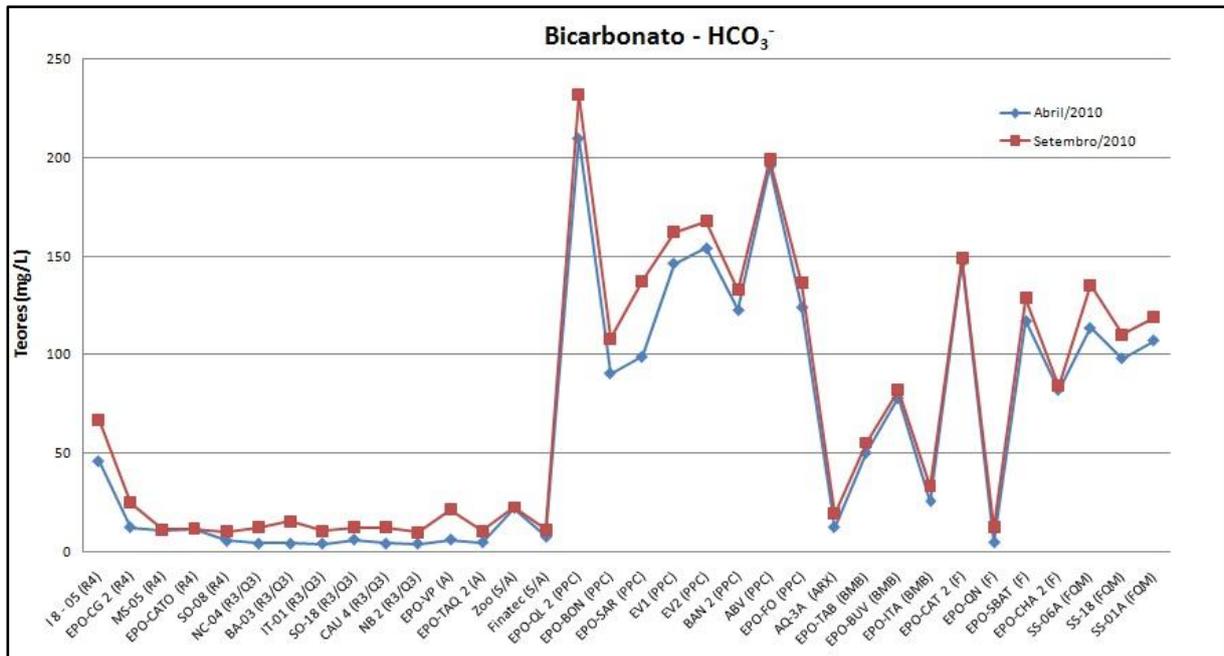


Figura 5.8: Gráfico dos teores de HCO_3^- .

O ânion bicarbonato (HCO_3^-) demonstrou um comportamento semelhante ao íon Ca^{2+} , com os picos de maiores e menores concentrações nas mesmas amostras. Assim, como era o esperado, as concentrações mais elevadas de HCO_3^- foram nas subunidades PPC e F/Q/M, além de dois poços do Subsistema F, idêntico ao comportamento do cátion Ca^{2+} .

O HCO_3^- não sofre oxidação ou redução em águas naturais, encontra-se em equilíbrio com carbonatos, água e CO_2 , porém, precipita com facilidade como bicarbonato de cálcio (CaCO_3).

Para as águas dos subsistemas R_4 , R_3/Q_3 , A e S/A o teor médio do ânion é 13 mg/L. Apenas as amostras do poço I8-05 apresentam teores de HCO_3^- fora do padrão da Unidade R_4 . Os valores obtidos para o referido poço são de 46 mg/L na primeira campanha e de 66,8 mg/L na segunda. Apesar do perfil construtivo do poço não indicar a interceptação de rocha carbonática, a assinatura hidroquímica de suas águas indica haver mistura de águas, com contribuição de litologias de composição calcárea.

No Subsistema PPC encontram-se as mais elevadas concentrações de HCO_3^- , assim como de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . Os teores de HCO_3^- estão compatíveis com a

natureza geológica do subsistema composta principalmente por calcáreos e dolomitos. Os menores teores de HCO_3^- nessa unidade são das amostras dos poços EPO-BON E EPO-SAR, que estão relacionados com a mistura de águas e diluição dos íons provenientes da dissolução do calcáreo. O poço EPO-BON atravessa camadas de quartzito e argilito intercaladas ao calcáreo. Logo, as baixas concentrações de Ca^{2+} e de HCO_3^- nas águas desse poço estão relacionadas à mistura de águas de distintas unidades, com contribuição em torno de 80 a 90% do quartzito, e, em torno de 20 a 10% do calcáreo.

O poço EPO-SAR possui entradas de água entre 18 e 20 m de profundidade, e depois aos 150 m. A litologia calcárea ocorre a partir dos 114 m de profundidade, predominando quartzitos e argilitos da Unidade R_4 , sobreposta àquela. Devido à mistura das águas no poço, os íons provenientes da dissolução das rochas carbonáticas estão diluídos pelas águas mais ácidas que circulam nos metarritmitos. No mapa hidrogeológico do DF (Campos, 1998 e Campos, 2011) o poço EPO-SAR não está sobre a Unidade PPC, e sim sobre o R_4 .

As águas do Sistema Araxá, são pouco mineralizadas e os valores de HCO_3^- , assim como dos cátions principais, são muito baixos.

Para as amostras do Subsistema Bambuí-Topo, o HCO_3^- obteve teores que variam entre 25,4 a 78,0 mg/L na primeira campanha; e entre 33,2 a 82,0 mg/L na segunda campanha. As concentrações de HCO_3^- se assemelham às de Ca^{2+} , com um pico de concentração no poço EPO-BUV, cujo valor está acima da média da unidade. A análise do perfil construtivo desse poço, entretanto, não demonstra claramente a diferença na composição litológica dentro da unidade. Compõe-se basicamente de metassilitos intercalados com arcóseos, assim como os demais poços estudados neste subsistema. Entretanto, nos níveis mais profundos do Subsistema Bambuí-Topo, é possível que haja forte contribuição dos calcáreos e dolomitos que compõem o Subsistema Bambuí-Base nas águas.

Os teores de HCO_3^- para as águas do Subsistema F apresentam variações composicionais, da mesma maneira que os cátions principais. Os poços EPO-CAT2 e EPO-SBAT possuem concentrações de HCO_3^- similares às obtidas para o Subsistema F/Q/M. O poço EPO-CAT2 localiza-se no extremo norte do DF, próximo ao contato com o F/Q/M. Por outro lado, o poço EPO-SBAT, distante do contato com

o F/Q/M, possui concentrações elevadas de HCO_3^- , e também de Ca^{2+} e Na^+ . É provável que haja mistura de águas em ambos, com contribuição de águas que circulam nos calcifilitos.

Já o poço EPO-QN possui os menores valores do Subsistema F, para o HCO_3^- e para todos os cátions. O seu perfil geológico indica entrada de água a 46 m de profundidade, nível em que o filito está com presença de veios de quartzo, e outra entrada de água a 154 m de profundidade.

Nas amostras do Subsistema F/Q/M, as concentrações de HCO_3^- em geral estão acima de 100 mg/L, com exceção de uma medida da primeira campanha, em torno de 98 mg/L. Os elevados valores medidos para HCO_3^- nesta unidade, próximos aos encontrados no Subsistema PPC, são naturalmente esperados, pois decorrem da dissolução de rochas carbonáticas.

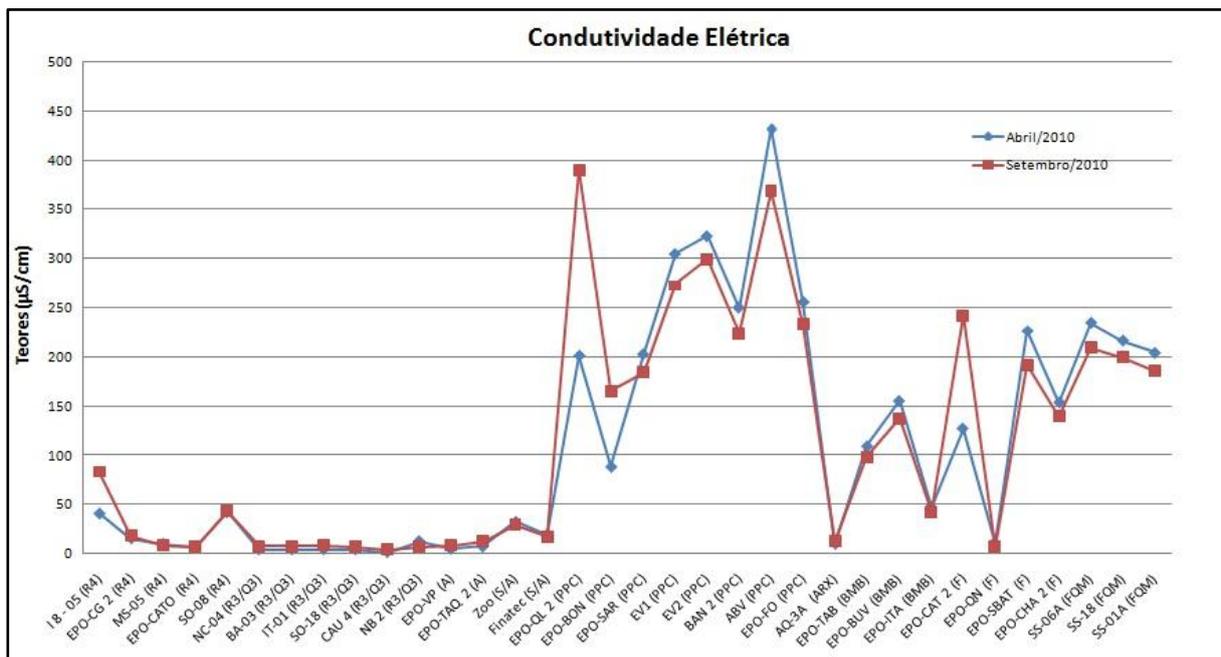


Figura 5.9: Gráfico dos teores de Condutividade Elétrica.

As medidas encontradas para Condutividade Elétrica (CE) atestam teores mais elevados nos subsistemas aquíferos que possuem maior quantidade de íons dissolvidos proveniente da dissolução das rochas mais solúveis, tais como o PPC e

F/Q/M, seguido pelo Bambuí-Topo e F. Os menores valores de CE ocorrem nas águas dos subsistemas R₄, R₃/Q₃, A, S/A e Sistema Araxá.

A Condutividade Elétrica representa a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Os sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na num eletrólito capaz de conduzir corrente elétrica.

Nos subsistemas R₄ e R₃/Q₃ a maioria das amostras tiveram valores de CE abaixo de 10 µS/cm, com exceção de alguns poços. O poço I8-05 apresenta resultado de condutividade de 40,9 µS/cm para a primeira campanha e 83,2 µS/cm para a segunda campanha. Conforme já discutido anteriormente, o poço I8-05 apresenta teores de Ca²⁺ e HCO₃⁻ bem acima da média dos valores característicos das águas do Subsistema R₄, corroborando a hipótese da interceptação de um nível carbonático nesta região.

Os valores de CE obtidos para o Subsistema A são menores que os do Subsistema S/A. Dos quatro poços selecionados nessas unidades, o poço Zoo apresenta as concentrações mais elevadas de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, e, condutividade elétrica, conseqüentemente. As águas advindas do Subsistema Ardósia apresentam teores mais elevados apenas de Na⁺.

No Subsistema PPC, naturalmente, devido à dissolução das rochas carbonáticas, os valores de condutividade elétrica são os mais elevados. Existe variação composicional dentro da unidade, seguindo o mesmo padrão dos demais elementos maiores.

As águas do Sistema Araxá, que possuem baixos teores de íons maiores, apresentam também baixos valores de condutividade elétrica, conseqüência de sua litologia pouco solúvel.

A condutividade elétrica nas águas do Subsistema Bambuí-Topo apresenta-se correlacionável com as altas concentrações dos íons Na⁺, Ca²⁺ e HCO₃⁻.

O Subsistema F demonstra variações nos valores de condutividade, da mesma maneira que as variações composicionais de Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺ e HCO₃⁻. Assim, os poços EPO-CAT2 e EPO-SBAT possuem os valores mais elevados, sendo comparáveis aos do Subsistema F/Q/M. Conforme já discutido anteriormente, o poço EPO-CAT2 localiza-se próximo ao contato com o F/Q/M, e suas águas podem

circular pelos calcifilitos, apesar do poço estar perfurado sobre a unidade F e seu perfil construtivo não indicar claramente níveis de rochas carbonáticas. O poço EPO-SBAT não está localizado próximo do Subsistema F/Q/M, mas, além de alta CE, possui elevados teores de Ca^{2+} e HCO_3^- , e, elevadíssima concentração de Na^+ .

As águas do Subsistema F/Q/M apresentam elevados valores de condutividade elétrica, HCO_3^- , Ca^{2+} e K^+ . As amostras dos três poços deste subsistema possuem valores muito próximos uns dos outros, não havendo discrepâncias e variações dentro da unidade.

5.4. Balanço Iônico

A partir dos parâmetros selecionados e com a finalidade de visualizar as variações e os contrastes nos seus teores, é realizado o Balanço de Carga Iônica, que consiste em verificar se a soma dos miliequivalentes dos cátions é igual à soma dos miliequivalentes dos ânions. Em uma substância aquosa ideal, de acordo com a propriedade fundamental das soluções aquosas, o resultado dos dois somatórios deve ser igual, ou seja, o balanço das cargas iônicas é eletronicamente neutro. Entretanto, na prática, verifica-se sempre uma margem de diferença entre estes dois somatórios, devida aos erros acumulados em cada uma das determinações. Segundo Freeze & Cherry (1979, *in* Kehew, 2001) é aceitável uma margem de erro de até 5% para que a análise de uma amostra seja considerada válida. Outros autores admitem erros de balanço iônico de 10% ou 20% (Bahia *et al.* 2011), de acordo com o credenciamento do laboratório, ou com a particularidade dos fatores envolvidos no cálculo.

O erro do Balanço Iônico, ou Erro Prático (EP) é definido como:

$$\text{EP (\%)} = \frac{\sum \text{cátions} - \sum \text{ânions}}{\sum (\text{cátions} + \text{ânions})} \times 100; \text{ onde:}$$

$$\sum \text{cátions} = [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{Mg}^{+2}] + [\text{Ca}^{+2}]$$

$$\sum \text{ânions} = [\text{Cl}^-] + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{NO}_3^-]$$

O valor percentual terá carga positiva ou negativa dependendo se a amostra tiver maior quantidade de cátions do que ânions ou vice-versa.

No presente estudo, em virtude das baixas concentrações, o erro prático calculado não se mostra tão adequado para representar a qualidade das análises químicas realizadas. Das 34 amostras analisadas, 11 apresentaram erro de balanço iônico menor que $\pm 5\%$, 9 apresentaram erro de até $\pm 20\%$ e 14 amostras apresentaram erro maior que $\pm 20\%$.

Os erros de balanço iônico acima de 20% são associados a águas pouco mineralizadas, como é o caso das águas subterrâneas do DF. Nelas, é difícil quantificar íons com baixas concentrações, já que pequenas diferenças em termos percentuais podem tomar exageradas proporções, sem que representem erros significativos. Entretanto, mesmo com os erros de balanço iônico além do limite aceitável ($\pm 10\%$), as concentrações de cátions, ânions e parâmetros físicos demonstraram um padrão nas concentrações ao longo das duas campanhas (Abril e Setembro de 2010), sendo os resultados, portanto, reprodutíveis e passíveis de interpretação.

5.5. Análise dos Principais Componentes

O tratamento estatístico de dados experimentais é a maneira mais segura de validar os resultados obtidos, já que permite a melhor definição dos parâmetros eliminando possíveis erros associados à subjetividade advinda da escolha teórica das variáveis. A Análise dos Principais Componentes – APC ou PCA (do inglês *Principal Component Analysis*) é um método que tem por finalidade básica a análise dos dados usados visando à redução das variáveis, eliminação de sobreposições e a escolha das formas mais representativas de dados a partir de combinações lineares das variáveis originais (Davis, 1986).

A APC é um dos métodos estatísticos de múltiplas variáveis mais simples, sendo muito utilizada pela comunidade de reconhecimento de padrões. A Análise dos Principais Componentes é uma maneira de identificar a relação entre características extraídas de dados.

O método de Análise dos Principais Componentes foi aplicado aos valores medidos na segunda campanha (setembro/2010) para os parâmetros: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^+ , HCO_3^- , F^- , Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , pH e Condutividade Elétrica (CE). A metodologia da APC foi realizada segundo Farnham *et al.* (2003), em que os pesos dos parâmetros (*factor loading*) e os escores das amostras (*sample factor score*) são calculados em uma matriz correlação de acordo com a rotação varimax (Vondouris *et al.*, 1997). As componentes que obtiveram autovalores (*eigenvalues*) maiores que 1 (um) foram selecionadas.

A APC permitiu 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 três principais componentes. O Componente 1 (PC1) obteve elevados pesos (>0,8) de K^+ , Ca^{2+} , Mg^+ , HCO_3^- , pH e CE. O Componente 2 (PC2) agrupou Cl^- e NO_3^- com pesos maiores que 0,8. O Componente 3 (PC3) obteve elevado peso (>0,6) para o elemento Na^+ . A Tabela 5.1 e os gráficos das Figuras 5.10 e 5.11 demonstram o agrupamento dos parâmetros calculados segundo a metodologia da APC.

Tabela 5.1: Matriz do Agrupamento de Principais Componentes.

Parâmetro	Componente		
	1	2	3
Na	-0,011	0,022	0,681
K	0,948	-0,032	-0,069
Ca	0,939	0,055	0,174
Mg	0,909	-0,053	-0,177
HCO_3	0,972	-0,016	0,109
F	0,587	-0,046	0,356
CL	0,101	0,953	-0,006
NO_3	-0,158	0,893	-0,147
PO_4	0,091	-0,245	0,593
SO_4	0,488	0,269	0,453
pH	0,836	-0,114	0,389
CE	0,977	0,013	0,125

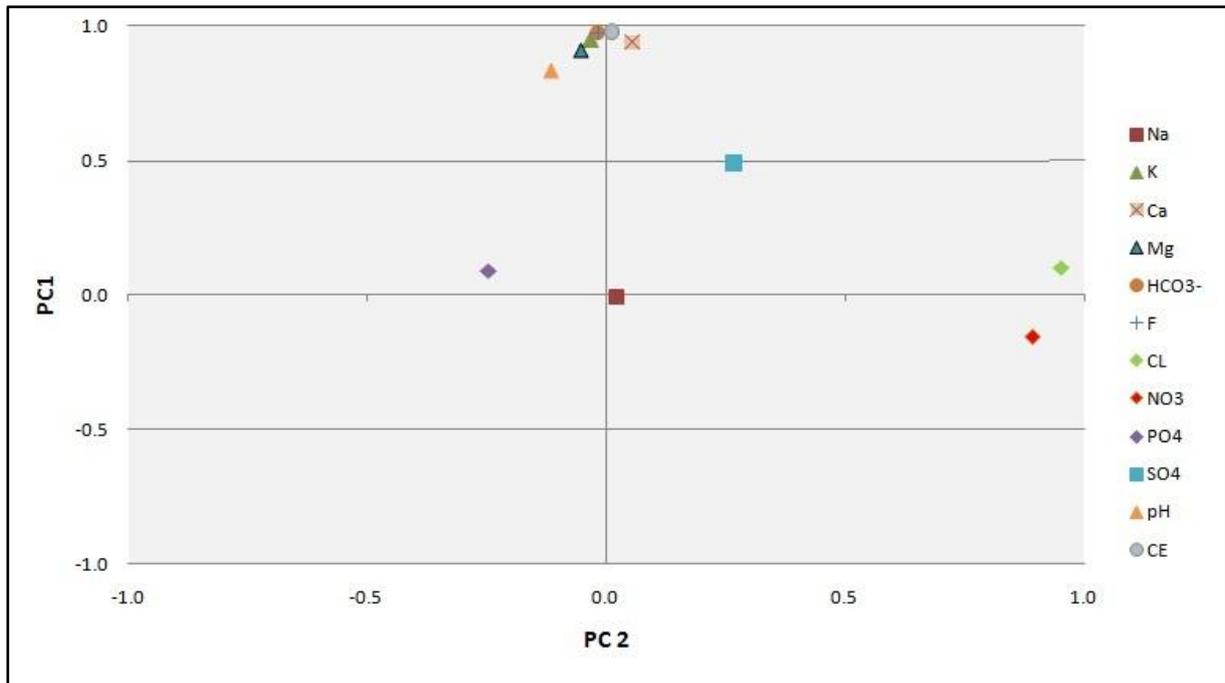


Figura 5.10: Agrupamento dos parâmetros de acordo com os pesos obtidos na APC.
PC1 x PC2.

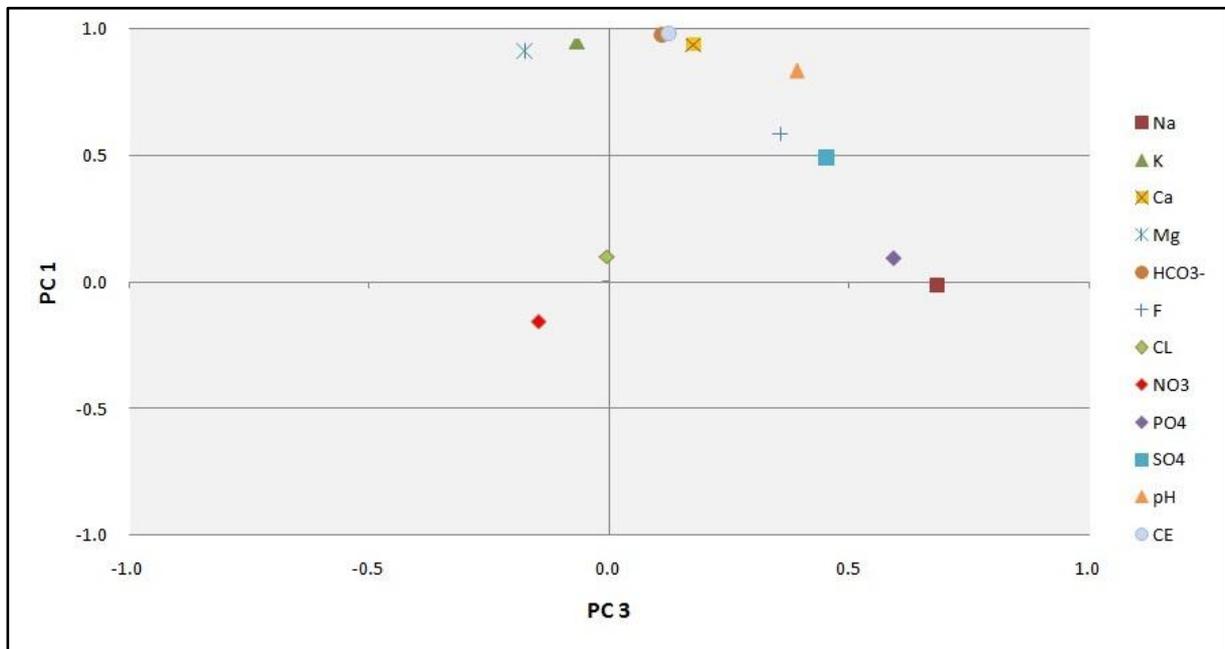


Figura 5.11: Agrupamento dos parâmetros de acordo com os pesos obtidos na APC.
PC1 x PC3.

Feito o agrupamento dos parâmetros selecionados em 3 componentes principais, foi realizado o agrupamento destes componentes por pontos de coleta

(Tabela 5.2). Os resultados positivos (grifados em negrito) correspondem aos resultados cujos pesos são relevantes para cada poço, demonstrando a correlação dos parâmetros com as características das respectivas águas.

Tabela 5.2: Agrupamento das Principais Componentes por ponto.

Poço	PC1	PC2	PC3
I 8 - 05 (R ₄)	-0,30906	-0,67386	0,61310
EPO-CG2 (R ₄)	-0,48406	-0,27559	-0,26693
MS-05 (R ₄)	-0,82223	4,19432	-0,67212
EPO-CATO (R ₄)	-0,88242	-0,77224	0,18822
SO-08 (R ₄)	-0,81945	-0,43214	0,35839
NC-04 (R ₃ /Q ₃)	-0,74915	-0,53994	-0,88105
BA-03 (R ₃ /Q ₃)	-0,89354	0,31705	-0,69379
IT-01 (R ₃ /Q ₃)	-1,00058	-0,66671	0,01629
SO-18 (R ₃ /Q ₃)	-0,77594	0,16089	-0,24660
EPO-CAU4 (R ₃ /Q ₃)	-0,81386	-0,08234	-0,50398
EPO-NB2 (R ₃ /Q ₃)	-0,89299	-0,53152	-0,76456
EPO-VP (A)	-0,90595	-0,11824	-0,83189
EPO-TAQ2 (A)	-0,78176	-0,44036	-0,34153
Zoo (S/A)	-0,60727	-0,33831	-0,73645
Finatec (S/A)	-0,91851	0,95237	-0,45972
EPO-QL2 (PPC)	2,41985	-0,77775	-2,21819
EPO-BON (PPC)	0,91953	-0,44483	-0,90801
EPO-SAR (PPC)	0,64916	-0,72553	0,49894
EPO-EV1 (PPC)	1,59056	0,10684	-0,18022
EPO-EV2 (PPC)	1,54724	0,07463	-0,29434
EPO-BAN2 (PPC)	1,04858	-0,34800	-0,35987
EPO-ABV (PPC)	2,08311	1,97906	0,68206
EPO-FO (PPC)	1,24480	-0,07128	1,56455
AQ-3A (ARX)	-0,79927	1,48031	-0,78115
EPO-TAB (BMB/T)	-0,45503	-0,35294	2,89604
EPO-BUV (BMB/T)	-0,05705	-0,68601	0,91175
EPO-ITA (BMB/T)	-0,63713	-0,54047	0,71575
EPO-CAT2 (F)	1,05813	-0,32755	-1,22432
EPO-QN (F)	-0,84290	-0,62196	-0,71129
EPO-SBAT (F)	-0,14780	0,45223	2,14028
EPO-CHA2 (F)	0,05203	-0,78972	0,29788
SS-06A (FQM)	0,77546	0,05955	0,29857
SS-18 (FQM)	0,57271	1,28886	1,23325
SS-01A (FQM)	0,63481	-0,50882	0,66095

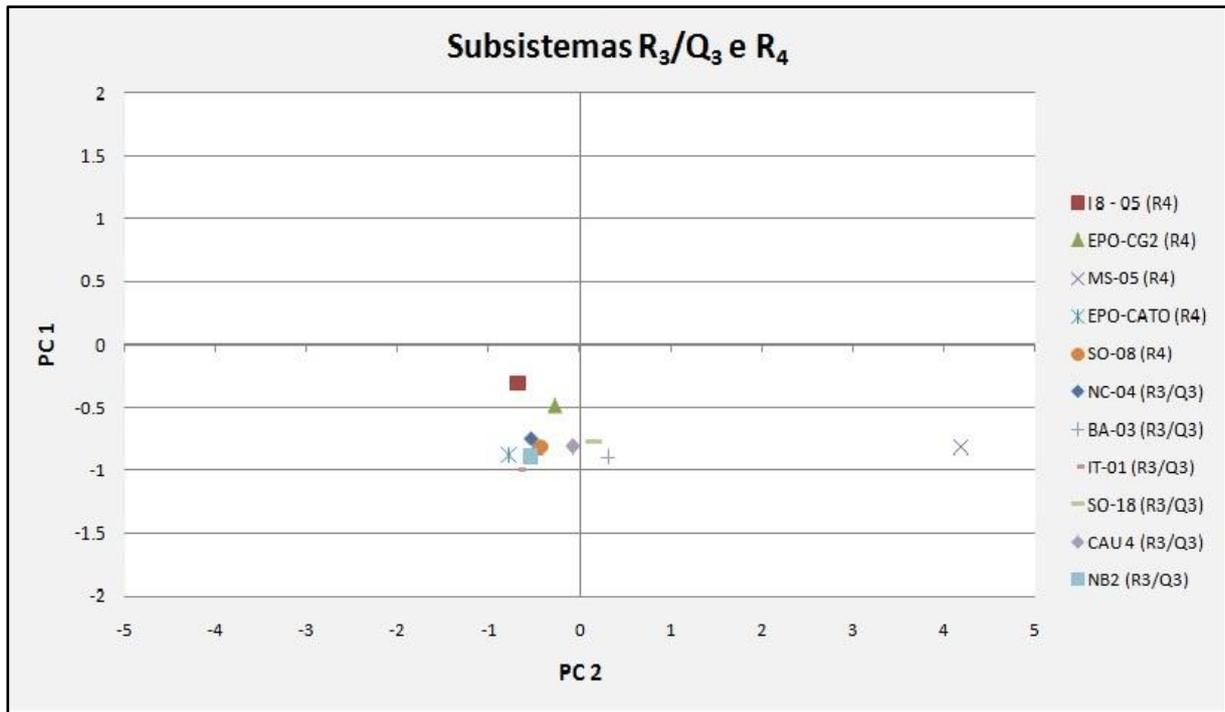


Figura 5.12: Agrupamento dos pontos de acordo com os pesos obtidos para litotipos específicos.

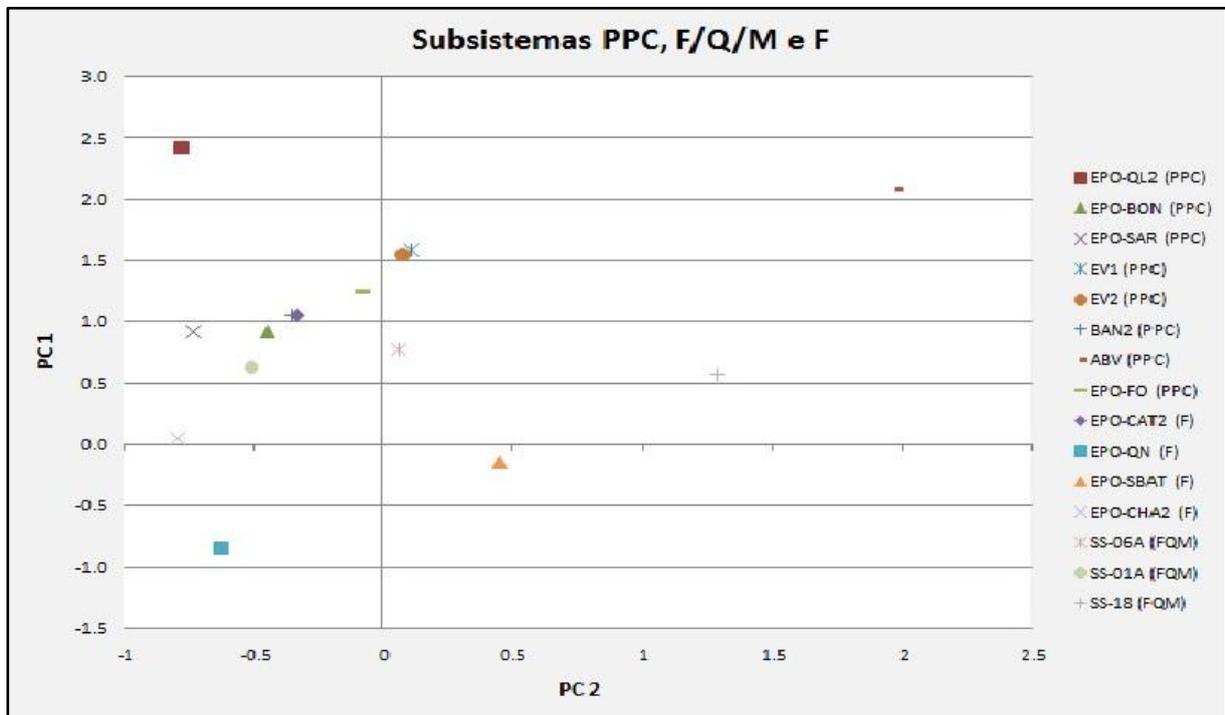


Figura 5.13: Agrupamento dos pontos de acordo com os pesos obtidos para litotipos específicos.

O Componente 1 (PC1) agrupou K^+ , Ca^{2+} , Mg^+ , HCO_3^- , pH e Condutividade Elétrica, representando, portanto, o processo de dissolução de rochas carbonáticas. Tal processo resulta em águas bicarbonatadas cálcicas-magnesianas (tipo Ca-Mg- HCO_3^-), com pH neutro (em torno de 6 a 7), elevada Condutividade Elétrica, advinda das elevadas concentrações de K^+ , Ca^{2+} , Mg^+ , HCO_3^- . Essas águas são provenientes dos subsistemas PPC (Paranoá) e F/Q/M (Canastra), e de dois poços do Subsistema F (Canastra).

O Componente 2 (PC2) representa contribuição antrópica, pois demonstra concentrações elevadas dos íons Cl^- e NO_3^- . É comum a ocorrência do íon Cl^- nas águas de infiltração e nas águas subterrâneas do Distrito Federal (Arraes *et al.*, 2006). Em águas subterrâneas, o Cl^- pode ter origens naturais, quando é proveniente do intemperismo de minerais ferromagnesianos e dos evaporitos. Entretanto, as formações litológicas do DF não contemplam tais fontes minerais.

O nitrato (NO_3^-) representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica. Os resíduos de produtos protéicos provenientes de esgotos, fezes e resíduos de animais são ricos em nitrogênio, e, na presença de oxigênio se decompõem formando NO_3^- . Nas águas subterrâneas, teores acima de 5 mg/L podem ser indicativos de contaminação por atividade antrópica (CETESB, 2009). As amostras dos poços MS-05 e AQ-3A possuem concentrações de NO_3^- acima desse teor, indicando a possibilidade de entrada de efluentes.

O Componente 3 (PC3) representa elevada concentração de Na^+ nas águas, que pode estar relacionada tanto a fatores geológicos quanto a contribuição antrópica. A dissolução dos arcóseos, que são rochas ricas em feldspatos sódicos presentes abundantemente no Subsistema Bambuí-Topo, liberam Na^+ para as águas. Outro fator é que o Na^+ é um elemento comum em águas residuais, frequentemente associados à entrada de esgotos domésticos (Matinelli *et al.*, 2004).

As amostras dos poços dos subsistemas R_3/Q_3 e R_4 que tiveram elevados teores de Na^+ não tiveram pesos elevados para os outros dois componentes. No subsistema PPC, 3 poços apresentaram águas com pesos elevados para os componentes PC1 e PC3. As amostras de todos os poços localizados no Subsistema Bambuí-Topo apresentam pesos elevados para o Componente 3,

apenas. As amostras de 4 poços apresentam os pesos elevados para PC2 e PC3, o que sugere entrada de águas residuais no sistema aquífero.

A análise dos Principais Componentes permite a identificação das fontes dos parâmetros analisados, resumindo a assinatura hidroquímica das águas subterrâneas do DF em três grupos: 1) rochas carbonáticas (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , pH e CE); 2) efluentes urbanos (Cl^- e NO_3^-); e 3) arcóseos e efluentes urbanos (Na^+).

5.6. Classificação das Águas - Representação Gráfica e Relações Iônicas

A representação gráfica por meio dos diagramas tem sido o método mais eficiente para classificar quimicamente as águas subterrâneas, em razão dos diagramas demonstrarem a abundância relativa dos elementos principais, além de ser um método rápido para avaliar a evolução química da água, indicando diferenças e similaridades entre amostras ou processos e reações químicas (Mestrinho, 2008). Em virtude das características litológicas da região estudada, optou-se pelo uso do Diagrama de Piper (1944).

O Diagrama Triangular de Piper é utilizado para classificar os distintos grupos de água quanto aos íons dominantes. Por ilustrar as relações iônicas mais importantes, permite a caracterização das águas associadas a diferentes tipos litológicos. Consiste de dois triângulos, um para cátions e outro para ânions, e uma figura na forma de um losango ao centro. Os três eixos triangulares de cátions são utilizados para concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} e $(Na^+ + K^+)$. Os valores são plotados em percentuais do total destes três grupos em meq/L. O triângulo de ânions é construído simultaneamente com eixos para os íons Cl^- , SO_4^{2-} e Alcalinidade ($HCO_3^- + CO_3^{2-}$). Assim, cada análise de água resulta em um ponto no triângulo de ânions e um ponto no triângulo de cátions. Estes pontos são então projetados diagonalmente para cima e paralelamente nas diagonais do diagrama até o seu ponto de interseção no losango central.

No diagrama Piper a classificação dos tipos de água é baseada na localização do ponto plotado no triângulo dos íons, determinando assim as fácies químicas da água.

A seguir são apresentados os diagramas de Piper para as amostras desta pesquisa (Figuras 5.14 a 5.17).

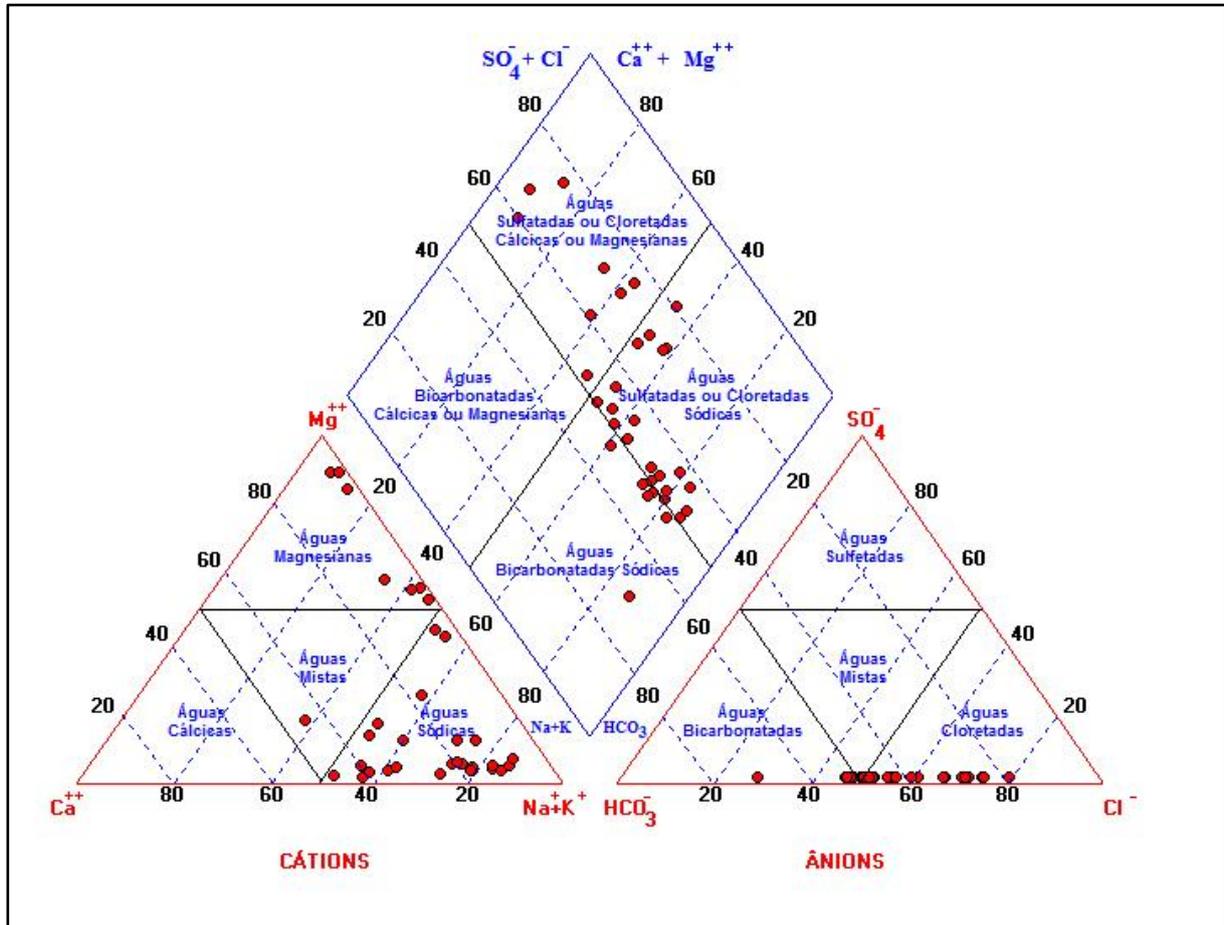


Figura 5.14: Diagrama de Piper para as amostras de águas analisadas.

Ao analisar os pontos plotados no diagrama, observa-se uma distribuição difusa, corroborando a hipótese de que as concentrações dos íons dominantes nas águas refletem a diversidade geológica presente no DF. O cátion dominante nas águas é o Mg^{2+} , seguido do Na^+ . No que se refere aos ânions, as concentrações de Cl^- são mais elevadas que as de SO_4^{2-} e HCO_3^- . No triângulo de cátions, nenhuma amostra situa-se no campo de águas cálcicas; e, no triângulo de ânions, nenhuma amostra possui teor de SO_4^{2-} suficiente para classificar a água como sulfetada. Sendo assim, as águas subterrâneas do DF podem ser classificadas como cloretadas magnesianas e/ou sódicas.

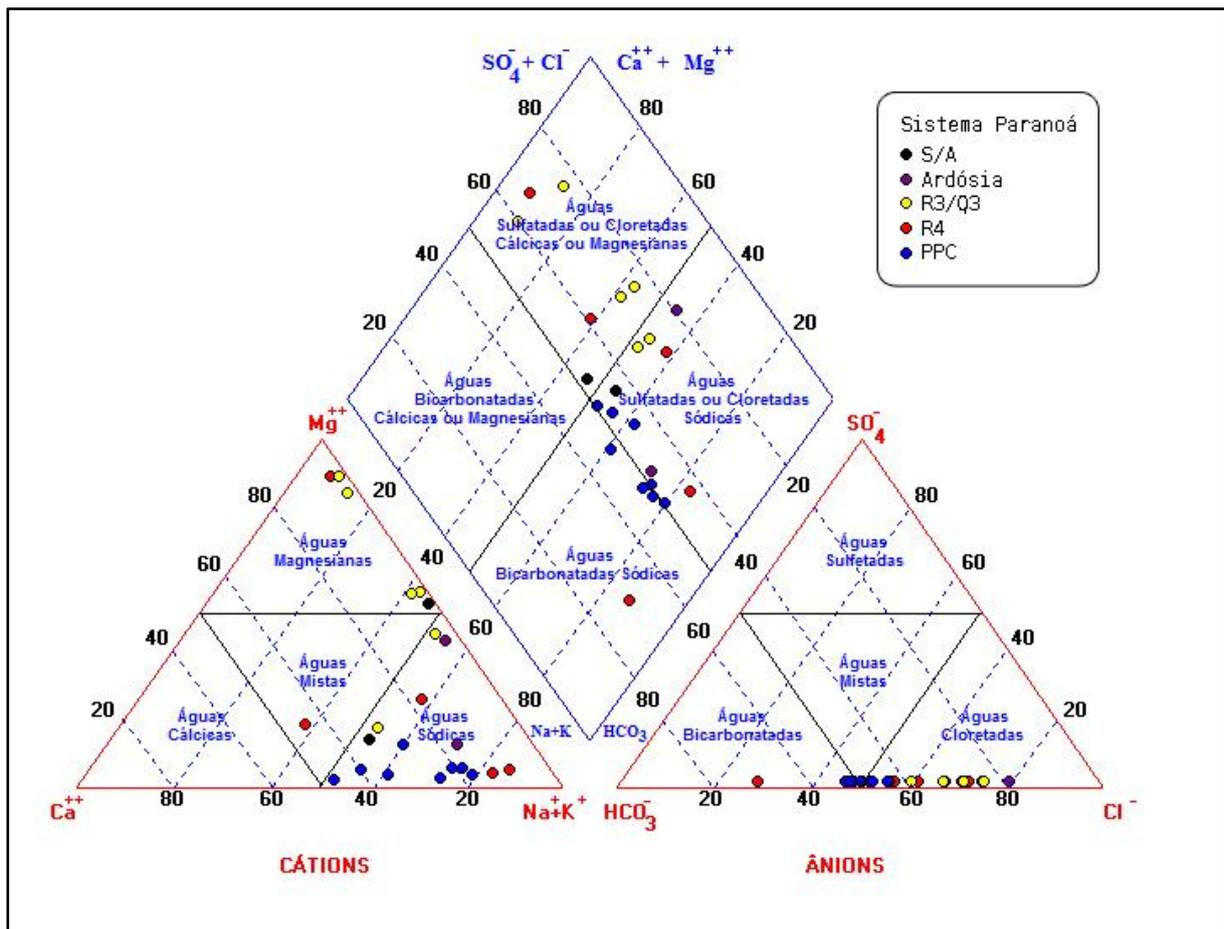


Figura 5.15: Diagrama de Piper para amostras de águas do Sistema Aquífero Paranoá.

As águas do Subsistema S/A são cloretadas magnesianas e sódicas. O poço Finatec está plotado no campo das águas magnesianas e o poço Zoo no campo das águas sódicas. As águas do poço Zoo possuem baixas concentrações de Na^+ , mas apresentam elevados teores de K^+ , o que justifica o campo em que se encontram no diagrama de Piper, que é caracterizado pela soma dos teores de Na^+ e K^+ . Conforme analisado na discussão preliminar dos resultados, as águas do poço Finatec possuem assinatura hidroquímica marcada por teores mais elevados de Na^+ , assemelhando-se à contribuição de ardósias em sua característica química.

O Subsistema A possui águas cloretadas sódicas. Segundo Arraes *et al.* (2006), nas águas armazenadas no Subsistema A pode haver influência de participação carbonática e sulfetos disseminados em razão das ardósias estarem frescas em subsuperfície; porém, no presente estudo não foi verificada a influência de bicarbonatos ou sulfetos nas águas provenientes dessa unidade.

As águas do Subsistema R₃/Q₃ são cloretadas magnesianas e subordinadamente sódicas. As litologias que compõem este aquífero são de baixa solubilidade, mas o enriquecimento em Mg²⁺ pode estar relacionado à presença de filossilicatos tais como cloritas, micas e argilominerais. O enriquecimento em Cl⁻ pode estar associado à composição original das águas de infiltração.

O Subsistema R₄ é representado por águas cloretadas sódicas e cloretadas magnesianas/cálcicas, com uma tendência a bicarbonatadas sódicas, verificada em alguns poços. A composição das rochas presentes neste subsistema justifica a presença de Ca²⁺, Mg²⁺ e HCO₃⁻ nas águas, já que é comum a presença de carbonatos nos níveis pelíticos e margas (Campos, 1998). Da mesma forma que no Subsistema R₃/Q₃, o Cl⁻ pode estar relacionado à composição original das águas de infiltração.

As amostras dos poços localizados no Subsistema PPC são bicarbonatadas sódicas e cloretadas sódicas. Em razão da dissolução das rochas carbonáticas que compõem este subsistema, é natural que suas águas sejam enriquecidas em HCO₃⁻.

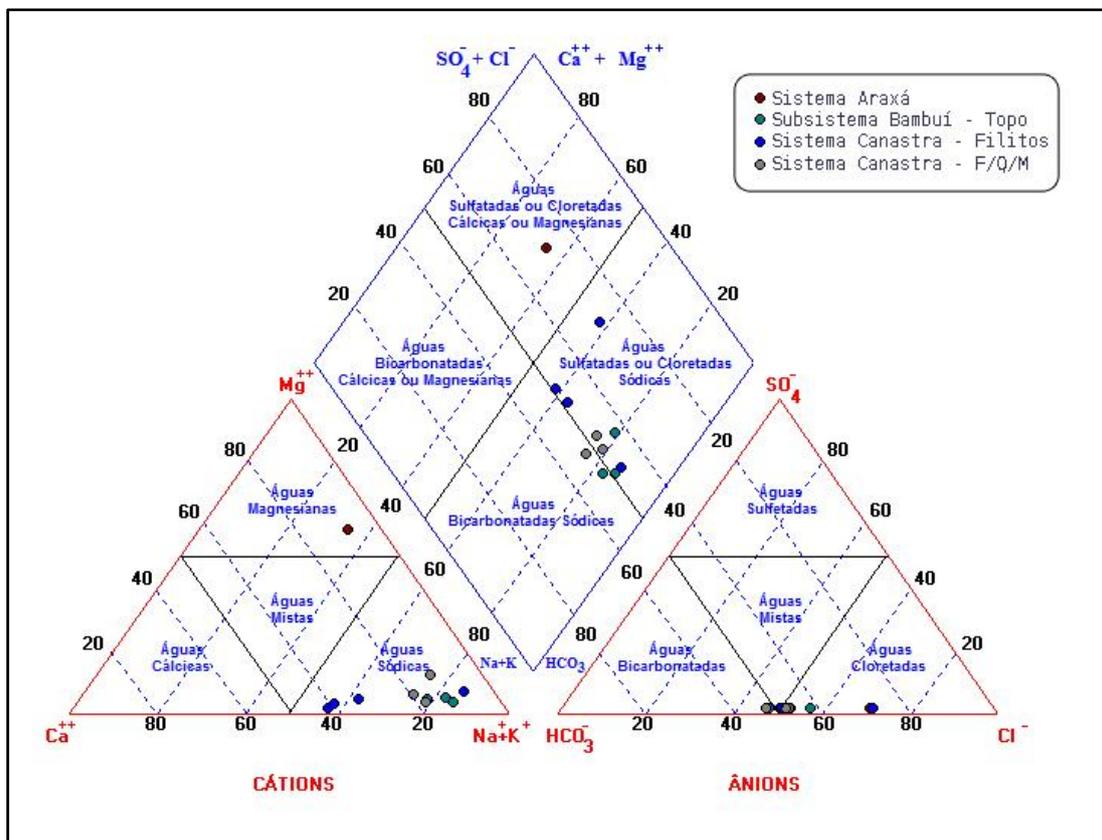


Figura 5.16: Diagrama de Piper para amostras de águas dos sistemas Araxá, Bambuí e Canastra.

O Sistema Araxá foi analisado por meio de uma única amostra, que demonstrou possuir águas cloretadas magnesianas. Neste subsistema predominam muscovita xistos, com ocorrências restritas de clorita xistos, quartzo-muscovita xistos, granada xistos e lentes de quartzitos micáceos. As águas, apesar de pouco mineralizadas, são enriquecidas em Mg^{2+} devido à dissolução de cloritas e micas presentes em abundância nos xistos.

As águas do Subsistema Bambuí-Topo são bicarbonatadas sódicas e cloretadas sódicas. Os elevados níveis de Na^+ nas águas justificam-se pelo contato com os arcóseos da unidade, que são ricos em feldspatos sódicos, liberando Na^+ para as águas. A base do Sistema Bambuí é composta por pelitos, calcários e dolomitos, correlacionados às Formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena. Em razão disso, nos níveis mais profundos deste subsistema, a presença dos carbonatos influencia a composição das águas, enriquecendo-as em HCO_3^- e CO_3^{2-} .

O Sistema Canastra, de maneira geral, possui águas bicarbonatadas sódicas e cloretadas sódicas, conforme se observa no diagrama da Figura 5.17.

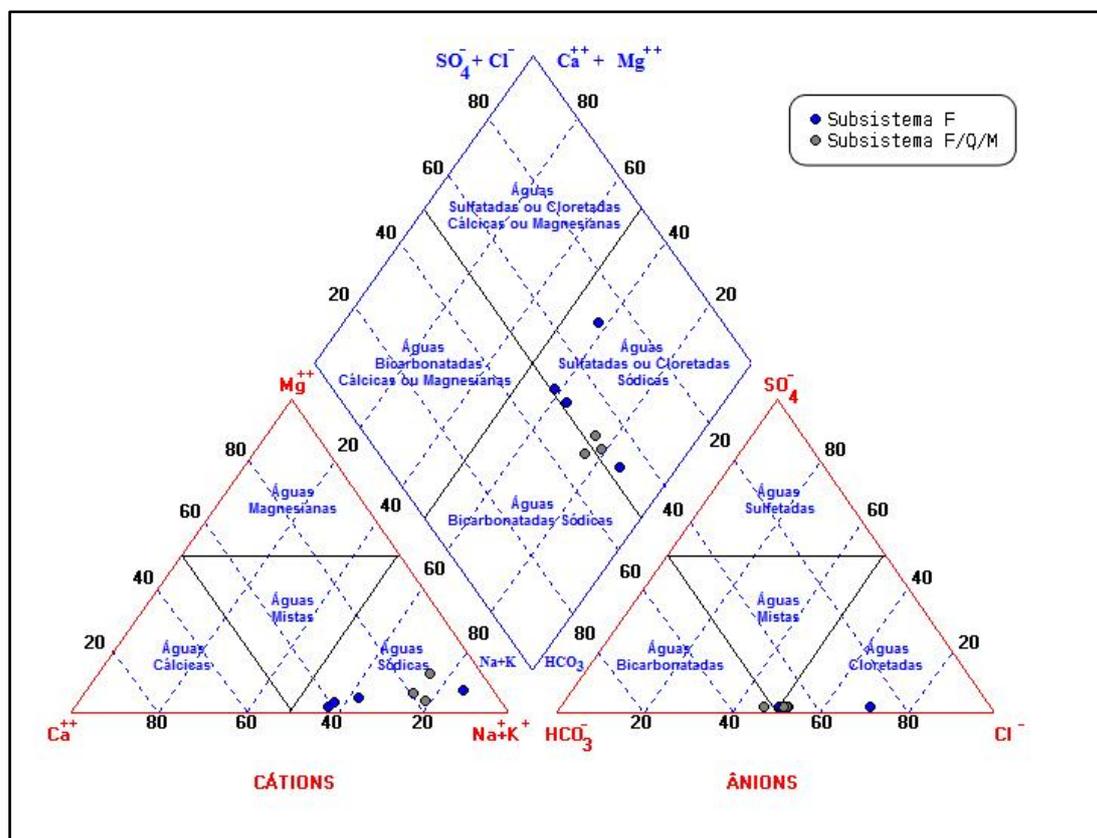


Figura 5.17: Diagrama de Piper para amostras do Sistema Canastra.

O Subsistema F é representado por águas cloretadas sódicas, aproximando-se de bicarbonatadas sódicas e cálcicas. As amostras dessa unidade apresentam elevados teores de cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e HCO_3^- , especialmente em alguns poços, cujas concentrações são próximas e até superiores às das águas do Subsistema F/Q/M. Elevadas concentrações de K^+ e Mg^{2+} nas águas são coerentes com a natureza geológica do subsistema, rico em fengita filitos, clorita filitos e fengita-clorita filitos, enriquecidos localmente em sericita. Níveis carbonáticos são comuns no Subsistema F, e este está em contato com os calcifilitos, mármore e quartzitos do Subsistema F/Q/M. Logo, é esperado que as águas que circulam no Subsistema F sejam enriquecidas nos íons Ca^{2+} , Na^+ e HCO_3^- .

As águas do Subsistema F/Q/M são bicarbonatadas sódicas e cloretadas sódicas. Tais águas refletem a composição litológica dessa unidade. A presença de Cl^- pode estar relacionada à composição inicial das águas de infiltração.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação hidroquímica das águas do Sistema Fraturado e do Sistema Físsuro-Cárstico do Distrito Federal demonstrou estatisticamente que as características químicas das águas subterrâneas profundas no DF são determinadas pelas características geológicas de cada aquífero.

Os principais parâmetros físicos e químicos diagnósticos para a caracterização hidroquímica são: pH, Condutividade Elétrica, Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- e NO_3^- .

Os resultados desta pesquisa demonstram que águas provenientes dos subsistemas PPC (Paranoá) e F/Q/M (Canastra) são marcadas por assinaturas químicas com elevados teores de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e HCO_3^- . São águas que representam o processo de dissolução de rochas carbonáticas, especialmente calcáreos e dolomitos. Com esses parâmetros é possível ainda distinguir um grupo do outro, pois as concentrações deles nas águas armazenadas no Subsistema PPC serão mais elevadas que as armazenadas no Subsistema F/Q/M. Exceções a essa regra denotam mistura de águas.

As águas do Subsistema F de maneira geral apresentam elevadas concentrações de Mg^{2+} e K^+ , devido à dissolução das micas e cloritas comuns na litologia do subsistema. A assinatura hidroquímica do Subsistema F é marcada também por elevadas concentrações de Ca^{2+} e HCO_3^- , resultante da dissolução de rochas carbonáticas com as quais está em contato. A aplicação do método estatístico da Análise de Principais Componentes demonstrou claramente a forte influência de litologias calcíticas e dolomíticas nas águas deste aquífero, ao classificar dois poços pertencentes ao Subsistema F no grupo que representa o processo de dissolução de rochas carbonáticas, junto com os subsistemas PPC e F/Q/M.

O íon Na^+ marca a assinatura hidroquímica das águas que circulam pelos arcóseos do Subsistema Bambuí-Topo, em razão da dissolução dos feldspatos sódicos que compõem essas rochas. As análises demonstram também que as águas do Bambuí-Topo podem estar enriquecidas em Ca^{2+} e HCO_3^- quando circulam nos níveis mais profundos dessa unidade, recebendo contribuições da dissolução de rochas calcáreas da base do Grupo Bambuí.

Os resultados apontam que algumas amostras de diferentes sistemas aquíferos apresentaram elevados teores do íon Na^+ sem haver, no entanto, correlação com a litologia local. É possível que tais poços estejam recebendo alguma contribuição de águas residuais.

No Sistema Paranoá, é possível utilizar a assinatura de Na^+ para distinguir o Subsistema A do Subsistema S/A. As águas que circulam nas ardósias possuem valores de Na^+ mais elevados do que águas circulando no siltito (S/A). Este, por sua vez, apresenta águas com concentrações mais elevadas de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} que as águas advindas do Subsistema A.

As águas dos subsistemas R_4 e R_3/Q_3 são pouco mineralizadas, possuindo baixo conteúdo dos íons principais em decorrência da baixa solubilidade dos minerais constituintes das rochas que compõem esses aquíferos. No Subsistema R_4 , entretanto, são comuns carbonatos nos níveis pelíticos e margas interceptando os metarritmitos. Em razão disso, suas águas possuem assinaturas levemente mais cálcicas e magnesianas que as advindas do Subsistema R_3/Q_3 .

As águas do Sistema Araxá também são pouco mineralizadas em razão da baixa solubilidade dos minerais constituintes da litologia predominante no aquífero.

Poços localizados em diferentes sistemas aquíferos apresentaram elevados teores de NO_3^- e Cl^- , além de condutividade elétrica. A aplicação da metodologia estatística de Análise de Principais Componentes agrupou tais poços na categoria referente à contribuição antrópica, já que os referidos ânions não podem ser provenientes de rochas. Elevadas concentrações de NO_3^- e Cl^- nas águas subterrâneas estão associadas à entrada de efluentes no sistema aquífero ou à composição original das águas de infiltração.

O uso de fossas sépticas ou negras, comuns nos condomínios urbanos e rurais do Distrito Federal, associado à deposição de resíduos sólidos na superfície do solo, constitui uma das principais causas de contaminação das águas subterrâneas (Ferreira, 2011). O chorume e os efluentes oriundos dessas fontes percolam através dos solos e do lençol freático por fluxo vertical até atingir a zona saturada dos aquíferos, onde seguem por fluxos laterais e regionais espalhando os contaminantes nas águas profundas.

A hipótese formulada no início da pesquisa foi comprovada, uma vez que este estudo refinou o conhecimento dos aquíferos do DF, permitiu a caracterização das águas subterrâneas profundas, correlacionando-as com os distintos aquíferos a que pertencem, e, identificou mistura de águas entre diferentes reservatórios.

Constitui objetivo específico desta pesquisa oferecer elementos para atualização da base de dados do mapa hidrogeológico do DF a partir dos resultados pontuais das análises químicas da água associados às informações dos perfis construtivos dos poços selecionados localizados próximos a contatos litológicos.

É possível concluir então que para a região norte do DF, as alterações que foram feitas no novo mapa hidrogeológico (Campos, 2011) apresentam-se incompatíveis com as características hidrogeoquímicas e com as descrições litológicas de alguns perfis de poços. De acordo com o novo mapa, os poços EPO-SAR, EPO-BAN2, EPO-EV1, EPO-EV2 e EPO-ABV estariam situados no Subsistema R₄ e os poços EPO-FO e EPO-QL2 estariam situados no Subsistema Bambuí-Base (Anexo II). Entretanto, todos esses poços estão situados no Subsistema PPC conforme atestam seus perfis construtivos feitos pela CAESB (Anexo IV) e a caracterização hidrogeoquímica de suas águas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional de Águas. **Águas Subterrâneas**. PEDROSA C. A. & CAETANO F. A. (Eds.) Superintendência de Informações Hidrológicas, ANA, Brasília-DF, 85p. 2002.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil**. CONEJO J. G. L (Coord.), Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, ANA, Brasília-DF, 123p. 2007-1.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Panorama do Enquadramento dos Corpos D'água do Brasil**. CONEJO J. G. L (Coord.), Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, ANA, Brasília-DF, 54p. 2007-2.

ARAÚJO FILHO, J. O. **The Pirineus syntaxis: an example of intersection of two Brasiliano fold thrust belts in Central Brazil, and its implications for the tectonic evolution of Western Gondwana**. Revista Brasileira de Geociências. 30 (1): 144-148. 2000.

ARRAES, T. M. *et al.* **Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas profundas do Distrito Federal**. In: 43º Congresso Brasileiro de Geologia, Araxá, Anais, SBG, p. 1-2. 2006.

BANNER, J. L. **Radiogenic isotopes: systematic and applications to earth surface processes and chemical stratigraphy**. *Earth Science Reviews*. v. 65, p. 141. 2004.

BAPTISTA, G. M. M. **Caracterização climatológica do Distrito Federal**. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília: Governo do Distrito Federal. Formato digital. 1998.

BOAVENTURA, G. R. **Elementos traço em Água e Sedimentos no Distrito Federal**. In: II Encontro Nacional de Química Ambiental, Brasília, Instituto de Química-UnB, v. 1. 2003.

BOAVENTURA, G. R.; BRITO V. E. B.; BISPO R. S. **Aspectos Geoquímicos de Águas da Bacia do Rio São Bartolomeu-DF**. In: VI Congresso Brasileiro de Geoquímica, Salvador-BA, Resumo Expandido, SBGQ, v. 1, p. 30-33. 1997.

BOAVENTURA, G. R. & FREITAS, A. L. S. **Inorganic parameters as water quality indicators in acidic groundwater in a tropical region, Brasília, DF, Brazil**. *Water, Air and Soil Pollution*, v. 171, p. 135-151. 2006.

BOAVENTURA, G. R. *et al.* **Estudo Geoquímico em Águas da Bacia do Bananal**. In: VII Congresso Brasileiro de Geoquímica e V Congresso de Geoquímica Dos Países de Língua Portuguesa. Porto Seguro-BA, Anais, v. 1, p. 41-43. 1999.

CADAMURO, A. L. M. & CAMPOS, J. E. G. **Recarga artificial de aquíferos fraturados no Distrito Federal: uma ferramenta para a gestão dos recursos hídricos**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 89-98. 2005.

CAESB – Companhia de Água e Saneamento de Brasília. **Plano de Gestão e Preservação do Lago Paranoá**. Produto 1: Levantamento, Caracterização, Evolução e Situação Atual. Concremat Engenharia (Org.), 195p. 2003.

CAMPOS, J. E. G. & FREITAS-SILVA, F. H. **Arcabouço Hidrogeológico do Distrito Federal**. In: 7º Simpósio de Geologia do Centro-Oeste e 10º Simpósio de Geologia de Minas Gerais. Brasília, Boletim de Resumos, p. 130. 1999.

- CAMPOS, J. E. G. **Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos**. Rev. Bras. Geoq. 34(1), p. 41-48. 2004.
- CAMPOS, J. E. G. & LOUSADA, E. O. **Dados Preliminares sobre a Idade das Águas Subterrâneas do Distrito Federal**. In: IX Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, Goiânia, Anais, SBG - Núcleo Centro-Oeste, v. 1, p. 219-221. 2005.
- CAMPOS, J. E. G. & TROGER, U. **Groundwater occurrence in hard rocks in Federal District of Brasília – A sustainable supply?** In: SILILO *et al.* (eds.), *Groundwater: Past achievements and future challenges*. Rotterdam. Balkema, p. 109-113. 2000.
- CAMPOS, J. E. G. **Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal**. Volume II: Meio Físico. SEDUMA, GDF. Disponível em: <http://www.zee-df.com.br/>. 2011.
- CARMO, M. S.; BOAVENTURA, G. R.; OLIVEIRA, E. C.; **Geoquímica das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto (BHRD) Brasília - DF**. Química Nova, São Paulo-SP, v. 28, n. 4, p. 565-574. 2005.
- CARVALHO JÚNIOR, O. A. *et al.* **Caracterização de Elementos Traços em Águas Superficiais conforme o Uso da Terra por meio da Análise de Principais Componentes**. Estudo de Caso: Ribeirão do Gama, Distrito Federal. In: VI Congresso Brasileiro de Geoquímica, Salvador-BA. Resumo expandido, v. 1 p. 57-60. 1997.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO. **Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. Relatórios CETESB, São Paulo, 2009.
- DARDENNE, M. A. **The Brasília Fold Belt**. In: CORDANI, U. G. *et al.* (Orgs.). *Tectonic Evolution of South America*. 1 ed. Rio de Janeiro: Brazil, p. 231-263. 2000.
- DAVIS, J. C. **Statistics and data analysis in geology**. 2nd ed. John Wiley & Sons. New York. 1986.
- DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **An introduction to the rock-forming minerals**. 2nd edition. Pearson Educ.Limited, Harlow, England. 1992.
- DREVER, J. I. **The Geochemistry of Natural Waters**. 2nd edition. Prentice Hall, New Jersey. 1988.
- 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.
- FERREIRA, M. M. S. **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**. 124p. Tese (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2011.
- FONSECA, M. A.; DARDENNE, M. A.; UHLEIN, A. **Faixa Brasília Setor Setentrional: estilos estruturais e arcabouço tectônico**. Revista Brasileira de Geociências, 25 (4): 267-278. 1995.
- FONSECA, F. O. (Org.). **Olhares sobre o Lago Paranoá**. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH. 1999.
- FREITAS, A. L. F.; BOAVENTURA, G. R.; ECHEVERRIA, R. M. **Comportamento Geoquímico das Águas Subterrâneas do Distrito Federal**. In: VII Congresso Brasileiro de

Geoquímica e V Congresso Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Porto Seguro-BA, Anais, v. 1 p. 93-95. 1999.

FREITAS, A. L. F.; BOAVENTURA, G. R.; SANTOS, R. V. **Adequação dos Modelos de Classificação Geoquímica de Água, com base na diferença entre as concentrações percentuais entre os íons mais abundantes em água, para as águas subterrâneas do Distrito Federal.** In: VIII Congresso Brasileiro de Geoquímica e I Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul, Curitiba-PR, Anais, v. 1 p. 20-24. 2001.

FREITAS-SILVA, F. H. & CAMPOS, J. E. G. **Hidrogeologia do Distrito Federal.** In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Parte I, vol. II. IEMA- SEMATEC/Universidade de Brasília, 66p. 1998.

GUIMARÃES, E. M. **Estudos de Proveniência e Diagênese com ênfase na caracterização dos filossilicatos dos Grupos Paranoá e Bambuí, na Região de Bezerra-Cabeceiras (GO).** Tese (Doutorado) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 1997.

KARMANN, I. **Ciclo da Água, Água Subterrânea e sua Ação Geológica.** In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Orgs.). **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos. 568 p. 2000.

KEHEW, A. E. **Applied Chemical Hydrogeology.** Upper Saddle River, N. J.: Prentice-Hall. 368p. 2001.

KLEIN C. & HURLBUT, C. S. **Manual of Mineralogy - after J. D. Dana.** Ed. John Wiley & Sons, INC. New York. USA. 2nd edition. 681pp. 1993.

LOUSADA, E. O. & CAMPOS, J. E. G. **Integração de Dados Geológicos, Geofísicos e de Sensoriamento Remoto para a Locação de Poços Tubulares em Aquíferos Fraturados.** Revista Brasileira de Geociências (São Paulo), v. 42, p. 173-180. 2005.

LYONS, W. B. *et al.* **The use of strontium isotopes in determining groundwater mixing and brine fingering in a playa spring zone, Lake Tyrrell, Australia.** *Journal of Hydrology.* p.187-225. 1995.

MACHADO, F. B.; MOREIRA, C. A.; ZANARDO, A.; ANDRE, A. C.; GODOY, A. M.; FERREIRA, J. A.; GALEMBECK, T.; NARDY, A. J. R.; ARTUR, A. C.; OLIVEIRA, M. A. F.; **Atlas de Rochas.** ISBN 85-89082-12-1. Disponível em: www.rc.unesp.br/museudpm. Arquivo capturado em 2011.

MAIA, P. D. & BOAVENTURA, G. R. **Estudo Geoquímico de Metais em Sedimentos do Lago Paranoá, Brasília-DF.** In: IX Congresso Brasileiro de Geoquímica, Belém-PA. Livro de Resumos Extendidos, v. 1, p. 153-154. 2003.

MAIA, P. D. *et al.* **Estudo Mineralógico dos Sedimentos do Fundo do Lago Paranoá-DF, Brasil.** Revista Brasileira de Geociências, v. 35, n. 4, p. 535-541. 2005.

MAIA, P. D.; BOAVENTURA, G. R.; PIRES, A. C. B. **Distribuição Espacial de Elementos-Traço em Sedimentos do Lago Paranoá-DF, Brasil.** *Geochimica Brasiliensis* (Rio de Janeiro), v. 20, p. 158-174. 2006.

MALDANER, C. H. **Recarga de Aquífero em Área Urbana: Estudo de Caso de Urânia-SP.** 101p. Tese (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2010.

- MARTINS, E. S. & BAPTISTA, G. M. M. **Compartimentação Geomorfológica e Sistemas Morfodinâmicos do Distrito Federal**. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA/SEMATEC/UnB. Parte I. 1998.
- MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CARVALHO JR. O. A.; GUIMARÃES, R. F. **Evolução Geomorfológica do Distrito Federal**. EMPRAPA. ISSN 1517-5111. 2004.
- MASON, B. & MOORE, C. B. **Principles of Geochemistry**. 4th ed. New Deli: Wiley Publishers. 350p. 1985.
- MESTRINHO, S. S. P. **Geoquímica das Águas Subterrâneas**. In: FEITOSA, A. C. F. E. *et al.* (Coord). **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3^a Edição Revisada e Ampliada. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, LABHID. Rio de Janeiro. p 359-379. 2008.
- MOURA, L. H. A. **Estudo Geoquímico da Bacia do Gama e Avaliação da Qualidade da Água**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. 104 p. 2008
- NOVAES PINTO, M. S. **Superfícies de Aplainamento do Distrito Federal**. Revista Brasileira de Geografia. Vol.49. p. 9-26. 1987.
- PERES JÚNIOR, A. K. **Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal**. Volume I: Meio Físico e Biótico. SEDUMA, GDF. Disponível em: <http://www.zee-df.com.br/>. 2011.
- PIMENTEL, M. M.; JOST, H.; FUCK, R. A. **O embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás**. In: MANTESSO NETO, V. *et al.* (Org.) Geologia do Continente Sul-Americano, Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Beca, p. 355-368. 2004.
- SALOMÃO, F. X. T & ANTUNES, F. S **Fatores de Formação do Solo**. In: REZENDE M. *et al.* (Orgs.) Pedologia: Base para distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa: NEPUT, cap. 6, p. 87-99. 2002.
- SANTOS, A. C. **Noções de Hidroquímica**. In: FEITOSA, A. C. F. E. *et al.* (Coord). **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3^a Edição Revisada e Ampliada. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, LABHID. Rio de Janeiro. p 325-357. 2008.
- SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Edgard Blücher. 2003.
- TOLEDO M. C. M. *et al.* **Intemperismo e Formação do Solo**. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Orgs.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos. 568 p. 2000.
- TORRES, A. M. *et al.* **A Geoquímica dos Sedimentos e Solos**. In: SUGUIO, K. *et al.* (Org.). Quaternário do Brasil, São Paulo, Holos Editora, v. 1, p. 298-320. 2005.
- VALERIANO, C. M.; DARDENNE, M. A.; FONSECA, M. A.; SIMÕES, L. S. A.; SEER, H. J. **A Evolução Tectônica da Faixa Brasília**. In: MANTESSO NETO, V. *et al.* (eds.). Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Beca. p. 576-592. 2004.
- YARDLEY, B. W. D. **Introdução à Petrologia Metamórfica**. Universidade de Brasília. Brasília. Brasil. Tradução Reinhardt A. Fuck. 2^a edição. 433p. 2004.

Anexo I

***Resultados das Análises Físico-
Químicas***

Tabela 1: Resultados dos Principais Parâmetros Físico-Químicos medidos na primeira campanha (abril/2010).

Poço	pH	CE (µS/cm)	TDS (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)
I 8 - 05 (R4)	7.83	40.90	19.60	0.73	0.65	15.93	1.15	46.00
EPO-CG2 (R4)	5.62	15.30	6.80	3.25	0.82	0.54	1.12	12.00
MS-05 (R4)	5.10	9.93	4.20	0.36	0.49	0.08	0.21	0.00
EPO-CATO (R4)	5.70	6.92	2.80	0.09	0.70	0.01	0.23	0.00
SO-08 (R4)	4.79	42.70	19.90	4.42	0.61	0.01	0.50	5.40
NC-04 (R3/Q3)	5.33	4.12	1.40	0.08	0.64	0.05	0.34	4.00
BA-03 (R3/Q3)	5.10	4.13	1.40	0.40	0.32	0.01	0.11	4.00
IT-01 (R3/Q3)	4.78	4.29	1.50	0.18	0.08	0.01	0.20	3.60
SO-18 (R3/Q3)	5.13	4.05	1.40	0.06	0.07	0.02	0.11	6.00
EPO-CAU4 (R3/Q3)	4.91	1.42	0.20	0.05	0.07	0.01	0.11	4.00
EPO-NB2 (R3/Q3)	4.90	12.37	5.40	0.12	0.06	0.09	0.11	3.80
EPO-VP (A)	5.22	5.07	2.00	0.61	0.14	0.99	0.16	6.00
EPO-TAQ2 (A)	4.74	7.34	2.90	1.30	0.27	0.23	0.25	4.40
Zoo (S/A)	6.34	32.40	15.00	0.34	0.59	3.81	1.74	22.00
Finatec (S/A)	5.34	19.15	8.60	1.83	0.22	0.01	0.11	7.60
EPO-QL2 (PPC)	7.17	201.00	94.60	1.69	4.85	52.10	28.69	210.00
EPO-BON (PPC)	7.16	88.20	40.70	0.15	3.69	23.06	10.87	90.40
EPO-SAR (PPC)	7.70	203.00	97.20	0.74	2.35	27.40	9.50	99.00
EPO-EV1 (PPC)	7.07	305.00	146.60	0.68	3.02	50.44	7.81	146.20
EPO-EV2 (PPC)	7.40	323.00	155.40	0.70	2.56	60.64	7.71	154.00
EPO-BAN2 (PPC)	7.55	250.00	119.90	1.18	2.75	44.53	5.34	122.80
EPO-ABV (PPC)	7.68	432.00	209.00	3.65	2.95	59.81	16.53	195.60
EPO-FO (PPC)	7.23	255.00	122.40	0.41	2.86	39.62	7.33	124.00
AQ-3A (ARX)	5.54	9.75	4.30	0.42	0.28	2.86	0.27	12.00
EPO-TAB (BMB)	8.60	109.20	51.90	9.51	0.86	10.90	2.76	50.20
EPO-BUV (BMB)	7.95	155.20	74.10	1.37	0.34	32.61	2.37	78.00
EPO-ITA (BMB)	6.86	47.50	22.20	5.84	0.61	1.89	1.32	25.40
EPO-CAT2 (F)	7.36	127.00	59.20	0.47	2.32	41.09	11.45	147.00
EPO-QN (F)	5.35	10.85	4.70	0.14	0.61	0.04	0.24	4.60
EPO-SBAT (F)	6.88	227.00	108.80	16.28	0.95	28.40	2.08	117.00
EPO-CHA2 (F)	7.01	153.50	73.30	2.04	0.86	16.45	6.68	82.00
SS-06A (FQM)	7.65	234.00	112.70	1.43	2.74	34.38	4.93	113.60
SS-18 (FQM)	7.00	216.00	103.50	2.45	2.45	32.42	2.72	97.80
SS-01A (FQM)	7.54	204.00	97.60	1.40	2.52	33.70	4.32	0.00

Tabela 2: Resultados dos Principais Parâmetros Físico-Químicos medidos na segunda campanha (setembro/2010).

Poço	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	HCO_3^- (mg/L)
I 8 - 05 (R4)	5.82	83.20	39.30	0.82	0.65	13.91	1.21	66.80
EPO-CG2 (R4)	4.15	17.85	8.00	0.11	1.00	0.24	1.28	24.80
MS-05 (R4)	3.44	8.13	3.40	0.40	0.44	0.01	0.27	11.20
EPO-CATO (R4)	4.21	6.85	2.80	0.17	0.65	0.16	0.22	11.60
SO-08 (R4)	4.06	43.30	20.30	5.59	0.62	0.17	0.50	10.00
NC-04 (R3/Q3)	3.77	7.65	3.10	0.14	0.70	0.70	0.61	12.00
BA-03 (R3/Q3)	3.75	7.50	3.10	0.64	0.10	0.04	0.01	15.20
IT-01 (R3/Q3)	3.72	8.56	3.60	0.26	0.07	0.01	0.02	10.40
SO-18 (R3/Q3)	4.07	6.57	2.60	0.09	0.06	0.04	0.01	12.00
EPO-CAU4 (R3/Q3)	3.80	4.45	1.60	0.09	0.06	0.01	0.02	12.00
EPO-NB2 (R3/Q3)	3.50	6.55	2.60	0.15	0.04	0.01	0.01	9.60
EPO-VP (A)	3.20	8.30	3.50	0.54	0.15	0.01	0.03	21.20
EPO-TAQ2 (A)	3.64	12.63	5.50	1.22	0.41	1.10	0.42	10.40
Zoo (S/A)	4.66	29.30	13.50	0.47	0.58	2.62	1.38	22.40
Finatec (S/A)	3.64	17.05	7.60	2.04	0.24	0.09	0.02	11.20
EPO-QL2 (PPC)	6.73	390.00	188.00	1.65	4.83	39.56	23.08	232.00
EPO-BON (PPC)	6.38	165.10	78.80	0.20	3.33	17.41	8.33	108.00
EPO-SAR (PPC)	6.48	184.30	88.10	0.85	2.23	20.87	7.36	137.20
EPO-EV1 (PPC)	6.76	274.00	131.00	1.03	3.08	50.90	7.88	162.00
EPO-EV2 (PPC)	7.00	299.00	143.60	0.88	2.56	57.30	7.48	167.60
EPO-BAN2 (PPC)	6.92	224.00	107.50	1.49	2.70	43.59	5.32	132.80
EPO-ABV (PPC)	7.14	368.00	177.10	2.84	2.89	54.90	14.50	199.20
EPO-FO (PPC)	6.47	233.00	111.50	0.52	2.88	40.32	7.64	136.40
AQ-3A (ARX)	4.31	12.70	5.50	0.26	0.27	1.21	0.22	19.20
EPO-TAB (BMB)	6.52	98.10	46.50	10.13	0.83	7.86	1.91	55.20
EPO-BUV (BMB)	6.73	137.50	65.50	1.56	0.32	24.18	1.72	82.00
EPO-ITA (BMB)	6.26	42.50	19.80	6.29	0.27	1.41	1.31	33.20
EPO-CAT2 (F)	6.88	242.00	116.00	0.57	2.33	32.80	9.71	148.80
EPO-QN (F)	3.48	6.95	2.80	0.19	0.18	0.07	0.26	12.00
EPO-SBAT (F)	6.03	192.00	91.90	13.93	0.60	25.58	1.96	128.80
EPO-CHA2 (F)	5.73	139.70	66.50	2.15	0.87	16.76	7.37	84.00
SS-06A (FQM)	6.94	209.00	99.80	1.62	2.75	35.53	5.35	135.20
SS-18 (FQM)	6.76	199.50	95.50	2.59	2.57	34.19	3.31	110.00
SS-01A (FQM)	7.10	185.40	88.50	1.45	2.49	32.02	4.28	118.80

Tabela 3: Resultados dos Metais e Elementos Traço medidos na primeira campanha (abril/2010).

Poço	Fe	Si	Al	Sr	La	Cd	Ti	V	Ni	Zr	Cu	Cr	Mn	Ba	Co	Zn	Be	Mo
LQ	0.01	0.17	0.14	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.19	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.08
I 8 - 05 (R4)	0.001	6.710	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
EPO-CG2 (R4)	0.001	5.330	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.030	0.001	0.008
MS-05 (R4)	0.001	4.730	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
EPO-CATO (R4)	0.050	5.020	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
SO-08 (R4)	0.001	4.000	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
NC-04 (R3/Q3)	0.001	4.730	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
BA-03 (R3/Q3)	0.001	3.880	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
IT-01 (R3/Q3)	0.001	4.190	0.320	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
SO-18 (R3/Q3)	0.001	4.110	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	1.290	0.001	0.008
EPO-CAU4 (R3/Q3)	0.001	4.330	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.038	0.001	0.008
EPO-NB2 (R3/Q3)	0.001	3.450	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
EPO-VP (A)	0.001	4.820	0.150	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.096	0.001	0.008
EPO-TAQ2 (A)	0.001	4.350	0.330	0.001	0.003	0.001	0.001	0.015	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.022	0.001	0.049	0.001	0.008
Zoo (S/A)	0.001	4.150	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
Finatec (S/A)	0.001	4.020	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
EPO-QL2 (PPC)	0.001	11.050	0.014	0.029	0.003	0.017	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.140	0.030	0.002	0.001	0.008
EPO-BON (PPC)	0.001	9.210	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.120	0.001	0.002	0.001	0.008
EPO-SAR (PPC)	0.001	10.300	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
EPO-EV1 (PPC)	0.001	8.020	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.220	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
EPO-EV2 (PPC)	0.001	8.120	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.210	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
EPO-BAN2 (PPC)	0.001	6.910	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
EPO-ABV (PPC)	0.001	7.230	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.240	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
EPO-FO (PPC)	0.001	6.610	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
AQ-3A (ARX)	0.001	4.680	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
EPO-TAB (BMB)	0.001	16.030	0.310	0.077	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
EPO-BUV (BMB)	0.001	9.270	0.260	0.086	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
EPO-ITA (BMB)	0.001	21.070	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
EPO-CAT2 (F)	0.001	7.280	0.014	0.040	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.075	0.001	0.030	0.001	0.008
EPO-QN (F)	0.033	4.200	0.014	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
EPO-SBAT (F)	0.001	11.850	0.014	0.161	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.227	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
EPO-CHA2 (F)	0.001	8.310	0.014	0.061	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
SS-06A (FQM)	0.001	7.370	0.014	0.390	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
SS-18 (FQM)	0.001	4.720	0.014	0.410	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008
SS-01A (FQM)	0.001	7.650	0.014	0.260	0.003	0.001	0.001	0.001	0.019	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.008

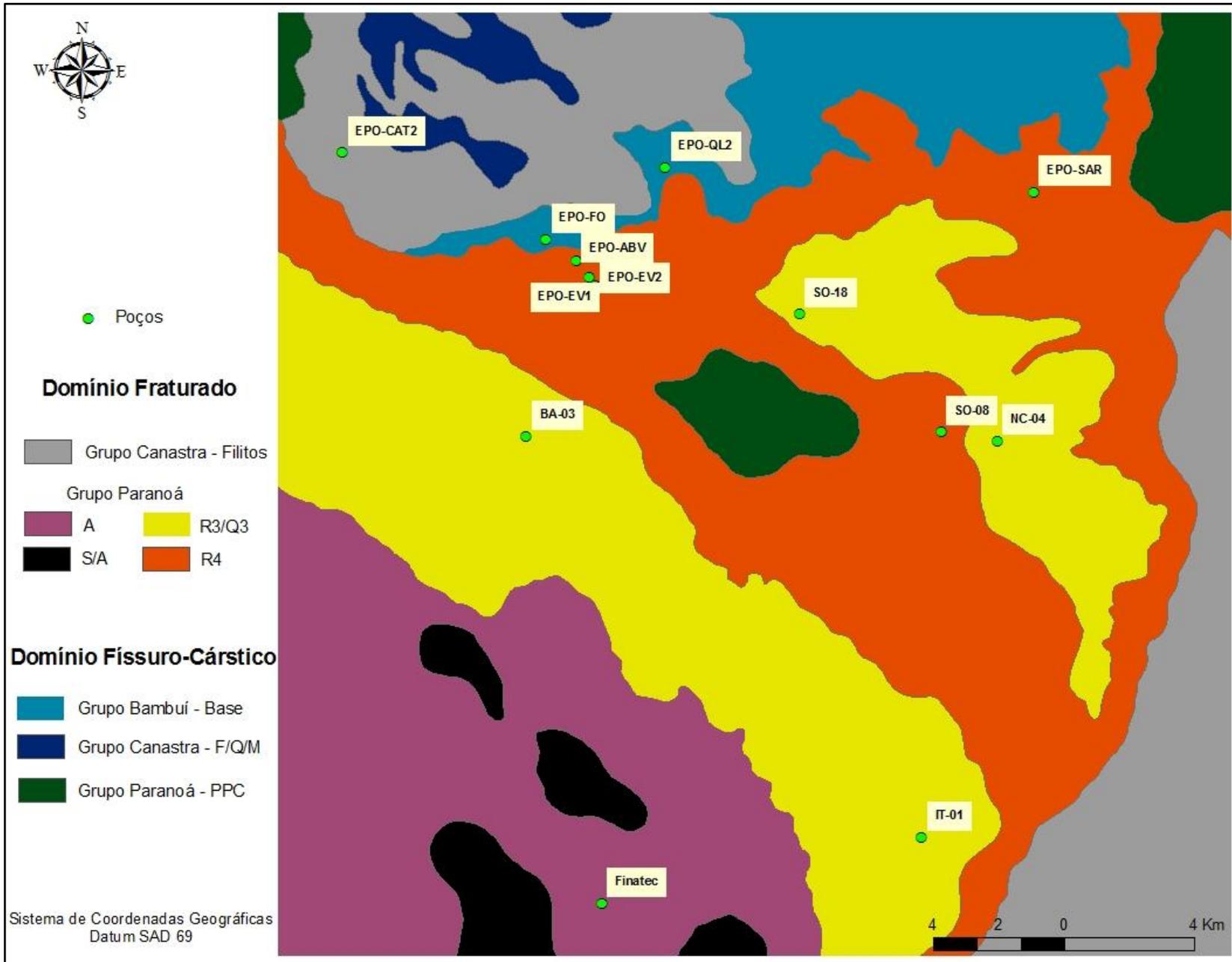
Tabela 4: Resultados dos Metais e Elementos Traço medidos na segunda campanha (setembro/2010).

Poço	Fe	Si	Al	Sr	La	Cd	Ti	V	Ni	Zr	Cu	Cr	Mn	Ba	Co	Zn	Be
LQ	0.017	0.128	0.215	0.001	0.030	0.014	0.005	0.016	0.130	0.010	0.013	0.016	0.003	0.011	0.080	0.020	0.002
I 8 - 05 (R4)	0.002	5.990	0.022	0.008	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.004	0.007	0.015	0.003	0.002
EPO-CG 2 (R4)	0.172	4.167	0.022	0.003	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.042	0.008	0.015	0.003	0.001
MS-05 (R4)	0.002	4.576	0.033	0.001	0.003	0.012	0.001	0.002	0.013	0.001	0.001	0.002	0.003	0.008	0.014	0.002	0.003
EPO-CATO (R4)	0.251	4.392	0.022	0.000	0.003	0.008	0.001	0.002	0.013	0.001	0.001	0.002	0.011	0.016	0.008	0.002	0.003
SO-08 (R4)	0.002	4.728	0.058	0.004	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.001	0.019	0.015	0.005	0.003
NC-04 (R3/Q3)	0.002	4.423	0.022	0.002	0.003	0.014	0.001	0.002	0.013	0.001	0.001	0.002	0.003	0.016	0.024	0.009	0.003
BA-03 (R3/Q3)	0.214	3.252	0.022	0.002	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.003	0.001	0.015	0.010	0.002
IT-01 (R3/Q3)	0.002	3.256	0.022	0.000	0.003	0.007	0.001	0.002	0.013	0.001	0.016	0.002	0.001	0.003	0.008	0.026	0.003
SO-18 (R3/Q3)	0.002	3.331	0.022	0.002	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.000	0.001	0.015	0.003	0.002
CAU 4 (R3/Q3)	0.002	3.392	0.022	0.002	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.001	0.004	0.015	0.003	0.001
NB 2 (R3/Q3)	0.002	3.439	0.022	0.002	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.000	0.001	0.015	0.003	0.003
EPO-VP (A)	0.023	3.481	0.022	0.002	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	0.015	0.016	0.001
EPO-TAQ 2 (A)	0.021	3.741	0.022	0.002	0.003	0.008	0.001	0.002	0.013	0.001	0.001	0.002	0.005	0.009	0.023	0.002	0.003
Zoo (S/A)	0.020	4.320	0.022	0.003	0.003	0.010	0.001	0.002	0.013	0.001	0.001	0.002	0.005	0.035	0.014	0.013	0.003
Finatec (S/A)	0.346	3.810	0.022	0.000	0.003	0.005	0.001	0.002	0.013	0.001	0.001	0.002	0.024	0.012	0.008	0.002	0.003
EPO-QL 2 (PPC)	0.002	8.290	0.022	0.029	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.003	0.102	0.015	0.003	0.002
EPO-BOM (PPC)	0.002	7.599	0.022	0.014	0.003	0.008	0.001	0.002	0.016	0.001	0.001	0.002	0.001	0.096	0.043	0.002	0.003
EPO-SAR (PPC)	0.002	9.003	0.023	0.028	0.012	0.009	0.001	0.003	0.051	0.002	0.001	0.004	0.006	0.029	0.046	0.007	0.003
EV1 (PPC)	0.004	8.420	0.072	0.028	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.005	0.049	0.015	0.016	0.003
EV2 (PPC)	0.005	7.980	0.060	0.028	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.004	0.044	0.015	0.003	0.004
BAN2 (PPC)	0.002	7.140	0.055	0.032	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.006	0.049	0.015	0.068	0.003
ABV (PPC)	0.002	7.500	0.031	0.067	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.003	0.047	0.015	0.043	0.003
EPO-FO (PPC)	0.002	7.260	0.045	0.024	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.001	0.038	0.015	0.003	0.003
AQ-3A (ARX)	0.002	3.933	0.022	0.005	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.009	0.007	0.015	0.003	0.002
EPO-TAB (BMB)	0.002	11.911	0.022	0.072	0.003	0.007	0.001	0.002	0.013	0.001	0.001	0.002	0.001	0.005	0.011	0.033	0.003
EPO-BUV (BMB)	0.002	7.285	0.028	0.075	0.009	0.017	0.001	0.005	0.027	0.002	0.001	0.002	0.001	0.022	0.029	0.009	0.003
EPO-ITA (BMB)	0.002	19.522	0.049	0.016	0.008	0.005	0.001	0.005	0.013	0.004	0.001	0.004	0.002	0.006	0.030	0.010	0.003
EPO-CAT 2 (F)	0.002	0.040	0.022	0.040	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.003	0.064	0.015	0.003	0.002
EPO-QN (F)	0.145	4.248	0.066	0.002	0.008	0.013	0.001	0.005	0.016	0.004	0.006	0.003	0.006	0.009	0.018	0.012	0.003
EPO-SBAT (F)	0.042	10.633	0.022	0.150	0.004	0.021	0.001	0.002	0.025	0.001	0.001	0.002	0.232	0.012	0.045	0.002	0.003
EPO-CHA 2 (F)	0.061	8.310	0.022	0.067	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.019	0.004	0.015	0.012	0.003
SS-06A (FQM)	0.002	7.520	0.022	0.383	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.001	0.012	0.015	0.022	0.003
SS-18 (FQM)	0.002	4.805	0.022	0.425	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.013	0.018	0.015	0.018	0.003
SS-01A (FQM)	0.002	7.030	0.022	0.251	0.003	0.001	0.001	0.002	0.030	0.001	0.001	0.002	0.008	0.011	0.015	0.003	0.003

Anexo II

***Mapa Hidrogeológico do DF – porção
centro-norte***

(Campos, 2011)



Anexo III
Parâmetros Físico-Químicos

Parâmetros Físicos e Químicos

1. Parâmetros Físicos

Potencial Hidrogeniônico – pH

Expressa a concentração de íons de hidrogênio numa solução aquosa, indicando acidez, neutralidade ou alcalinidade da substância.

Matematicamente, o "p" equivale ao simétrico do logaritmo (cologaritmo) de base 10 da atividade dos íons a que se refere. Para íons H⁺:

$$\text{pH} = -\log_{10}(\text{H}^+)$$

Determina-se o pH utilizando um medidor de pH, conhecido como pHmetro, que consiste em um eletrodo acoplado a um potenciômetro. O medidor de pH é um milivoltímetro com uma escala que converte o valor de potencial do eletrodo em unidades de pH.

Sólidos Dissolvidos Totais – SDT

Esse parâmetro representa o conjunto de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas contidas na água sob formas moleculares, ionizadas ou microgranulares. É importante na determinação da qualidade da água, pois avalia o peso total dos constituintes minerais presentes por unidade de volume.

As substâncias dissolvidas envolvem carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, cálcio, magnésio, sódio e íons orgânicos.

Em geral, os métodos empregados para a determinação de sólidos nas amostras são gravimétricos, utilizando-se balança analítica ou de precisão. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica, pode-se estimar o teor de sais pela medida de condutividade da água.

Condutividade Elétrica

É uma expressão numérica da capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Os sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na num eletrólito capaz de conduzir corrente elétrica.

A medida é feita por meio de condutímetro. A condutividade tem seu valor aumentado pela temperatura, devendo ser utilizada a temperatura de 25°C como temperatura padrão.

No Sistema Internacional de Unidades, adotado pelo Brasil, a unidade de condutividade elétrica é o Siemens (S). Para água subterrânea utiliza-se a unidade de microsiemens por centímetro (mS/cm).

2. Constituintes Iônicos Principais

Sódio – Na²⁺

É um dos elementos mais abundantes na Terra e seus sais são altamente solúveis em água, o que faz com que esteja presente em todas as águas naturais, sejam superficiais ou subterrâneas. Encontra-se na forma iônica (Na⁺) e seus principais minerais fontes - feldspatos plagioclásios, feldspatóides (nefelina e sodalita), anfibólios e piroxênios - são pouco resistentes aos processos intempéricos, principalmente químicos.

Nas águas subterrâneas, os teores normais de sódio variam entre 0,1 e 100 mg/L, sendo que há um enriquecimento gradativo deste íon a partir das zonas de recarga. O aumento das concentrações de sódio na água pode provir do lançamento de esgotos domésticos e/ou efluentes industriais. Em aquíferos litorâneos, a presença de sódio na água pode estar relacionada à intrusão de águas marinhas.

Potássio – K⁺

O potássio é um elemento químico abundante na crosta terrestre, mas ocorre em pequena quantidade nas águas subterrâneas, pois é facilmente

fixado pelas argilas e intensivamente consumido pelos vegetais. É encontrado sob a forma iônica e os seus sais são altamente solúveis.

Seus principais minerais fontes são: feldspatos potássicos e micas muscovita e biotita, que são pouco resistentes aos intemperismo físico e químico.

Nas águas subterrâneas o teor médio de potássio é inferior a 10mg/L, sendo mais frequente valores entre 1 e 5 mg/L.

Cálcio – Ca²⁺

O cálcio é o quinto elemento em abundância na crosta terrestre, encontrado sempre como constituinte de minerais e rochas, não estando disponível sob a forma livre. 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.

Os principais minerais fontes de cálcio são os plagioclásios cálcicos, a calcita, dolomita, apatita, entre outros. O cálcio ocorre nas águas sob a forma de carbonatos e bicarbonatos, e, sua solubilidade está relacionada à quantidade de gás carbônico dissolvido, que por sua vez depende da temperatura e da pressão. Toda variação de temperatura e de pressão que, levam à modificação do CO₂ dissolvido na água, refletirá sobre o teor de Ca. No caso das águas subterrâneas estas variações ora levam à solubilização do carbonato de cálcio, ora levam à sua precipitação.

O teor de cálcio nas águas subterrâneas varia de 10 a 100 mg/L. O cálcio é o principal elemento responsável pela dureza da água.

Magnésio – Mg²⁺

É o sexto elemento em abundância na crosta terrestre, e o terceiro mais abundante dissolvido na água de mar. Seu comportamento geoquímico é muito similar ao do cálcio e, em linhas gerais, acompanha este elemento.

Os minerais fontes de magnésio são: biotitas, anfibólios e piroxênios. Estes minerais são mais estáveis diante do intemperismo químico, do que os minerais fornecedores de cálcio, por isso seu teor nas águas subterrâneas é

significativamente menor do que aquele. Em região de rochas carbonáticas, o mineral dolomita é um importante fornecedor de Mg para as águas subterrâneas.

Seus teores nas águas subterrâneas variam entre 1 e 40 mg/L. Seguindo o cálcio, é o segundo elemento responsável pela dureza das águas.

Na água do mar, o magnésio ocorre em teores de cerca 1400 mg/L, bem acima do teor de cálcio (cerca de 480 mg/L). Nas águas subterrâneas de regiões litorâneas, a relação Mg/Ca é um elemento caracterizador da contaminação por água marinha.

Alcalinidade

A alcalinidade é a medida total das substâncias presentes na água capazes de neutralizarem ácidos. Em outras palavras, é a quantidade de substâncias presentes em dada quantidade de água e que atuam como tampão.

Em águas subterrâneas a alcalinidade é resultado da soma de carbonatos e bicarbonatos, e, secundariamente íons hidróxidos, silicatos, boratos, fosfatos e amônia. As águas que percolam rochas calcárias possuem teor de alcalinidade elevado. Rochas compostas por minerais silicáticos contribuem menos para a alcalinidade da água.

A alcalinidade total é expressa em mg/L de CaCO_3 .

Carbonatos e Bicarbonatos

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

Os bicarbonatos e carbonatos se encontram em equilíbrio com a água e CO_2 . Em razão de serem sais derivados de ácidos fracos, os bicarbonatos tem caráter básico. Em água, hidrolisam, produzindo uma base mais forte.

Cloreto – Cl

É um elemento muito solúvel e bastante estável em solução, e, por isso, dificilmente precipita, permanecendo na forma iônica nas águas.

Em águas subterrâneas, o cloreto é proveniente do intemperismo dos minerais ferromagnesianos e dos evaporitos. As rochas ígneas são pobres em cloretos.

Os teores de cloretos nas águas subterrâneas geralmente são inferiores a 100 mg/L. Altas concentrações de Cl nas águas naturais indicam contaminação proveniente de aterros sanitários e/ou lixões.

Sulfato – SO_4^{2-}

Os sulfatos são sais moderadamente a muito solúveis, e são relativamente abundantes na natureza.

Nas águas naturais, os sulfetos são provenientes da oxidação do enxofre presente nas rochas e da dissolução dos compostos sulfatados, como gipsita e anidrita.

Seus teores nas águas subterrâneas são normalmente inferiores a 100 mg/L, sob a forma de SO_4^{2-} e HSO_4^- . Quando as águas naturais apresentam concentrações acima dessa média, originam-se de fontes antrópicas, que são descargas de esgotos domésticos e efluentes industriais.

Nitrato – NO_3^-

O nitrato é um composto muito móvel, mas ocorre em pequeno teor nas águas. Representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica. Os resíduos de produtos protéicos provenientes de esgotos, fezes e resíduos de animais são ricos em nitrogênio e se decompõem em nitrato na presença de oxigênio. O ciclo do nitrogênio envolve as transformações dos compostos nitrogenados na sequência: nitrogênio orgânico, amônia (NH_3), nitrito (NO_2) e nitrato (NO_3).

As águas subterrâneas apresentam teores de nitrato entre 0,1 e 10 mg/L, entretanto, teores acima de 5 mg/L podem ser indicativos de contaminação por atividade antrópica.

3. Constituintes Secundários

Sílica – SiO₂

Embora seja o elemento mais largamente encontrado nas rochas, o silício não ocorre em quantidades significativas nas águas subterrâneas, em razão de sua resistência ao intemperismo químico e dissolução. Aparece frequentemente sob a forma de partículas coloidais (SiO₄H₄) devido a sua alta estabilidade química e baixa solubilidade dos compostos formados.

As principais fontes de sílica para as águas subterrâneas são os minerais de argila e os feldspatos. O quartzo (SiO₂) é uma importante fonte de silício para as águas naturais apesar de ser um dos minerais mais resistentes ao ataque físico-químico.

Os teores de sílica podem chegar a 20 mg/L nas águas subterrâneas.

Fluoreto – F

O flúor é um elemento altamente eletronegativo, não sendo encontrado na forma elementar na natureza, mas tão somente nos compostos denominados fluoretos. Estes são encontrados em baixas concentrações nas águas subterrâneas, pois possuem solubilidade limitada e pouco contribuem para a alcalinidade, por hidrolisar com facilidade e rapidez.

O principal mineral fonte de flúor é a fluorita.

Nas águas subterrâneas, os fluoretos ocorrem com teores entre 0,1 e 1,5 mg/L. Em águas muito sódicas e com pouco cálcio, podem chegar a concentrações de até 50 mg/L. A presença do cálcio limita a concentração do flúor nas águas.

Fosfato – PO₄³⁻

O fósforo (P) é um elemento que não existe na forma livre na atmosfera, mas tão somente no estado sólido nas rochas. Incluem no Grupo dos Fosfatos os minerais apatita, autunita, monazita e turqueza.

O fosfato possui nítida tendência de formar compostos com diversos íons, além de coligações fortes com os minerais de argila. Nas águas

subterrâneas, pode advir de vias antropogênicas por meio de derivados de detergentes, fertilizantes, efluentes domésticos, inseticidas, pesticidas. A presença de Ca^{2+} limita a concentração de PO_4 e a presença de CO_2 dissolvido favorece.

As concentrações de fosfato em águas subterrâneas devem estar em torno de 0,5 mg/L, e, valores acima de 1,0 mg/L são indicativos de águas poluídas.

Anexo IV

***Perfis Construtivos dos Poços
Selecionados***



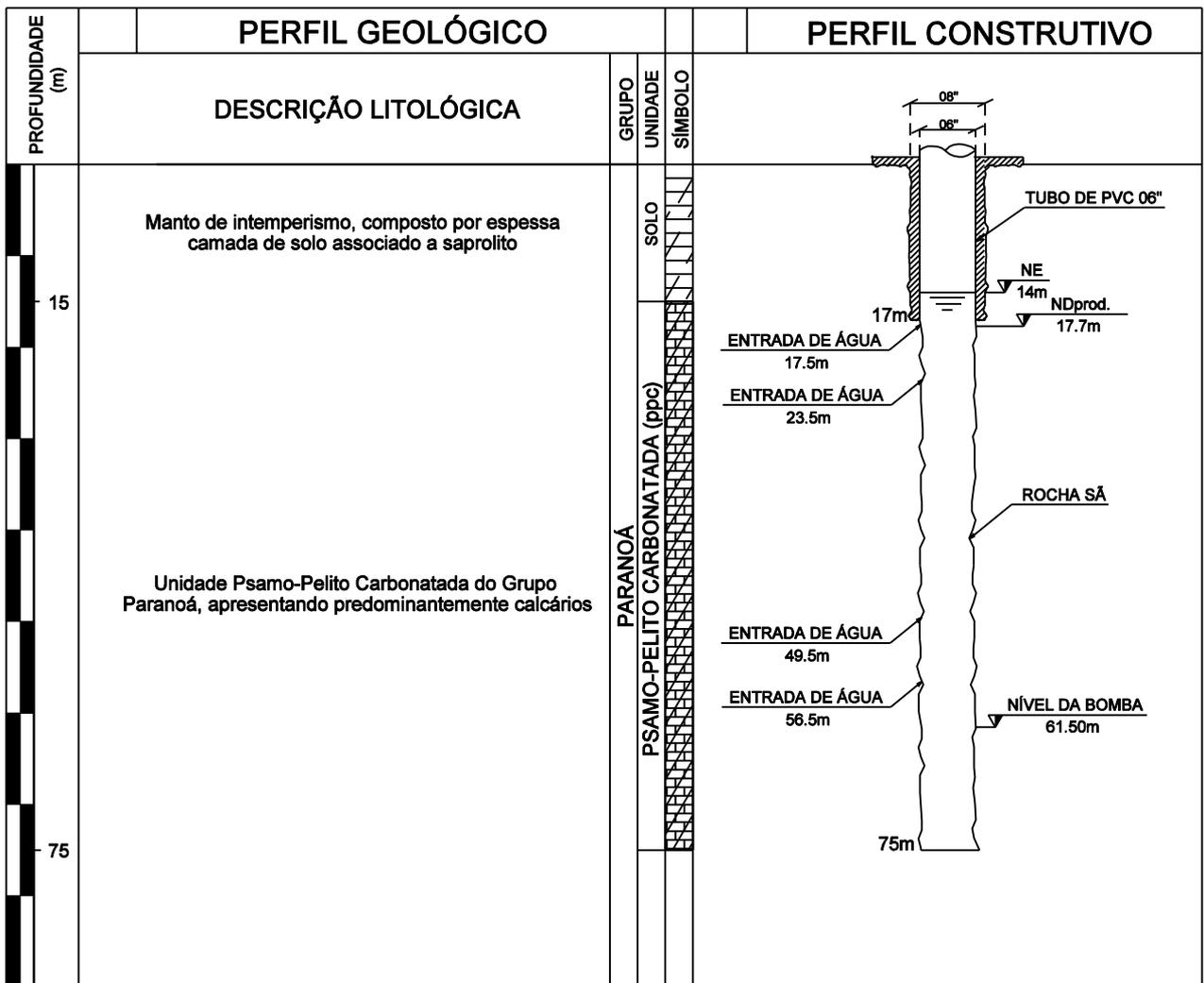
PERFIL DE POÇO PROFUNDO

Local Residencial Buritis

PHIHS/PHIH/PHI/DP

Poço **AQ-3A**

Prof. (m)	Descrição Geológica			Data de Início
0 a 6	solo argiloso - Lama vermelha.		0	31/10/2007
6 a 23	solo argiloso - Lama marrom clara.		5	Data de Término
			10	26/03/2008
			15	Profundidade
23	Intervalo de cerca de 1 metro com fragmentos de xisto alterado e de quartzo e com pequena entrada d'água.		20	160 m
24 a 31	solo argiloso - Lama moldável marrom clara.		25	Obs: Prof. final do poço após colocação de filtro de fundo ficou em 130 m
31 a 32	Intervalo de aproximadamente 2 metros com presença de areia.		30	Perf. em solo
33 a 48	solo argiloso - argila moldável marrom averm.		35	0 a 60 m
			40	Perf. em rocha alterada
			45	60 a 140 m
49 a 50	grãos (1 a 3 mm) arredondados de quartzo.		50	Perf. em rocha sã
50 a 60	solo argiloso - argila moldável marrom clara.		55	140 a 160 m
			60	Revestimento
60 a 63	saprolito - material argiloso moldável marrom escuro com fragmentos de xisto alterado de cor arroxeada que se desfragmenta facilmente na mão.		65	152 m (-01 a 151)
63 a 75	saprolito - material argiloso moldável marrom escuro.		70	Filtros Utilizados
75 a 84	saprolito - fragmentos de xisto alterado de cor marrom clara a arroxeada (desmancha-se fácil na mão).		75	91 a 93 m 141 a 143 m
84 a 90	saprolito - material argiloso moldável marrom escuro.		80	Entradas d'água
90 a 96	saprolito - fragmentos de xisto alterado (desmancha-se fácil com a mão). Entrada d'água a 90 m.		85	23 m, 90 m, 125 m, 140-142 m
96 a 111	saprolito - material argiloso moldável marrom claro		90	Nível Estático
			95	32,71 m
			100	Nível Dinâmico
			105	114,27 m
111 a 114	Fragmentos muito pequenos (1 a 2 mm) de xisto de cor cinza escuro e de grãos de quartzo.		110	Vazão
114 a 132	saprolito - material argiloso marrom claro. Em porções menos alteradas há foliação preservada fragmentos do xisto de cor amarelada a rosada. Bem localmente presença de grãos arredondados de quartzo. Entrada d'água a 125 m (não aproveitável).		115	Q=8,553 m ³ /h
132 a 135	Fragmentos muito pequenos (1 a 2 mm) de xisto de cor cinza e de grãos de quartzo.		120	
135 a 140	saprolito - xisto alterado (massa argilosa com foliação preservada) de cor marrom a acimentado.		125	
140 a 141	Início da rocha sã - micaxisto de cor cinza escura. Presença de pirita. Entrada d'água em 140-142.		130	
141 a 147	micaxisto cinza escuro com pirita e fragmentos de quartzo (provavelmente de fratura)		135	
147 a 160	micaxisto de cor cinza escura/preta com pirita.		140	
			145	
			150	
			155	
			160	



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

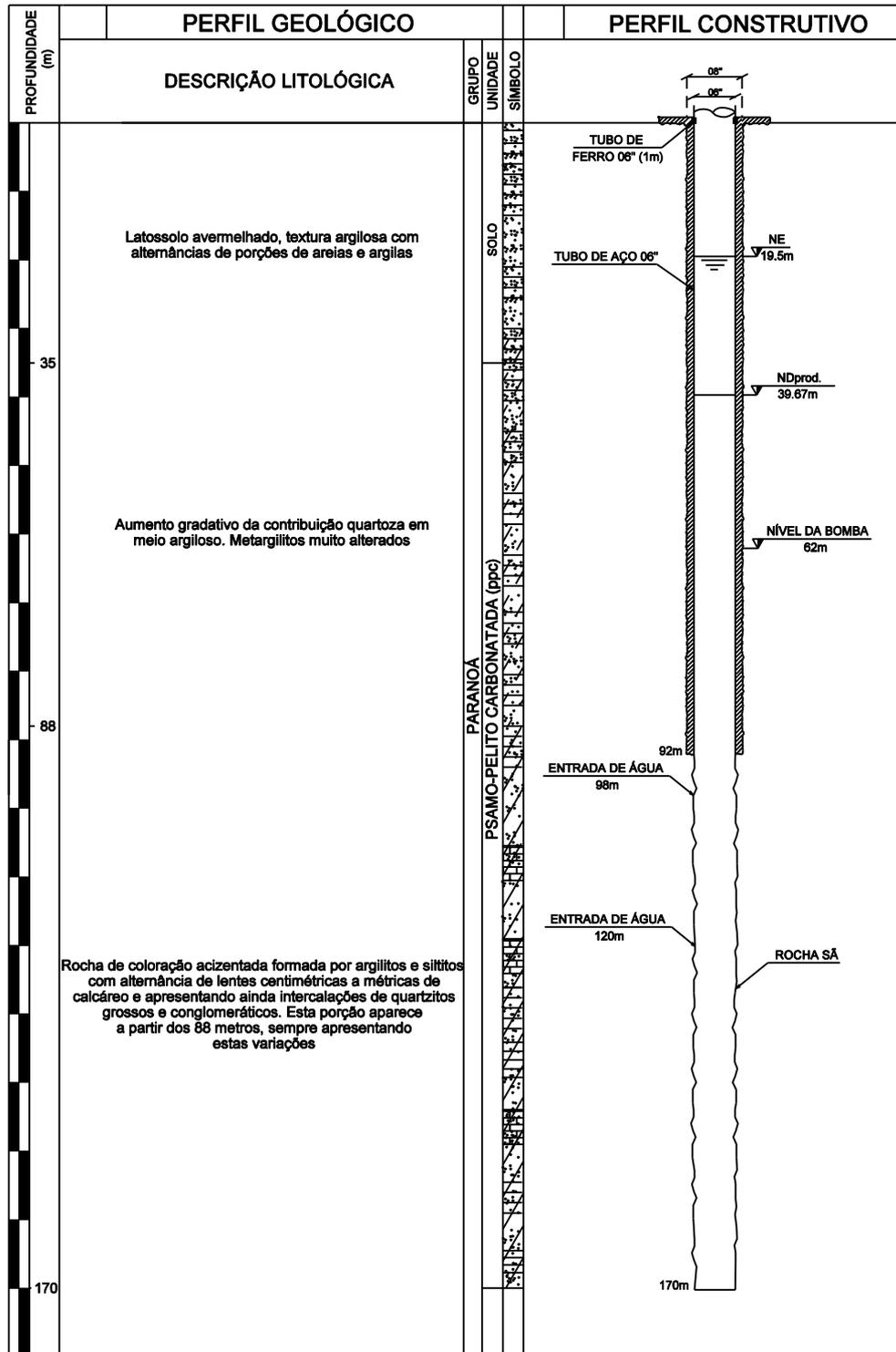
SOBRADINHO
NÚCLEO RURAL ALTO BELA VISTA
POÇO TUBULAR PROFUNDO
EPO-ABV

ESCALA
 VERTICAL 1:800
 HORIZONTAL 1:20

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

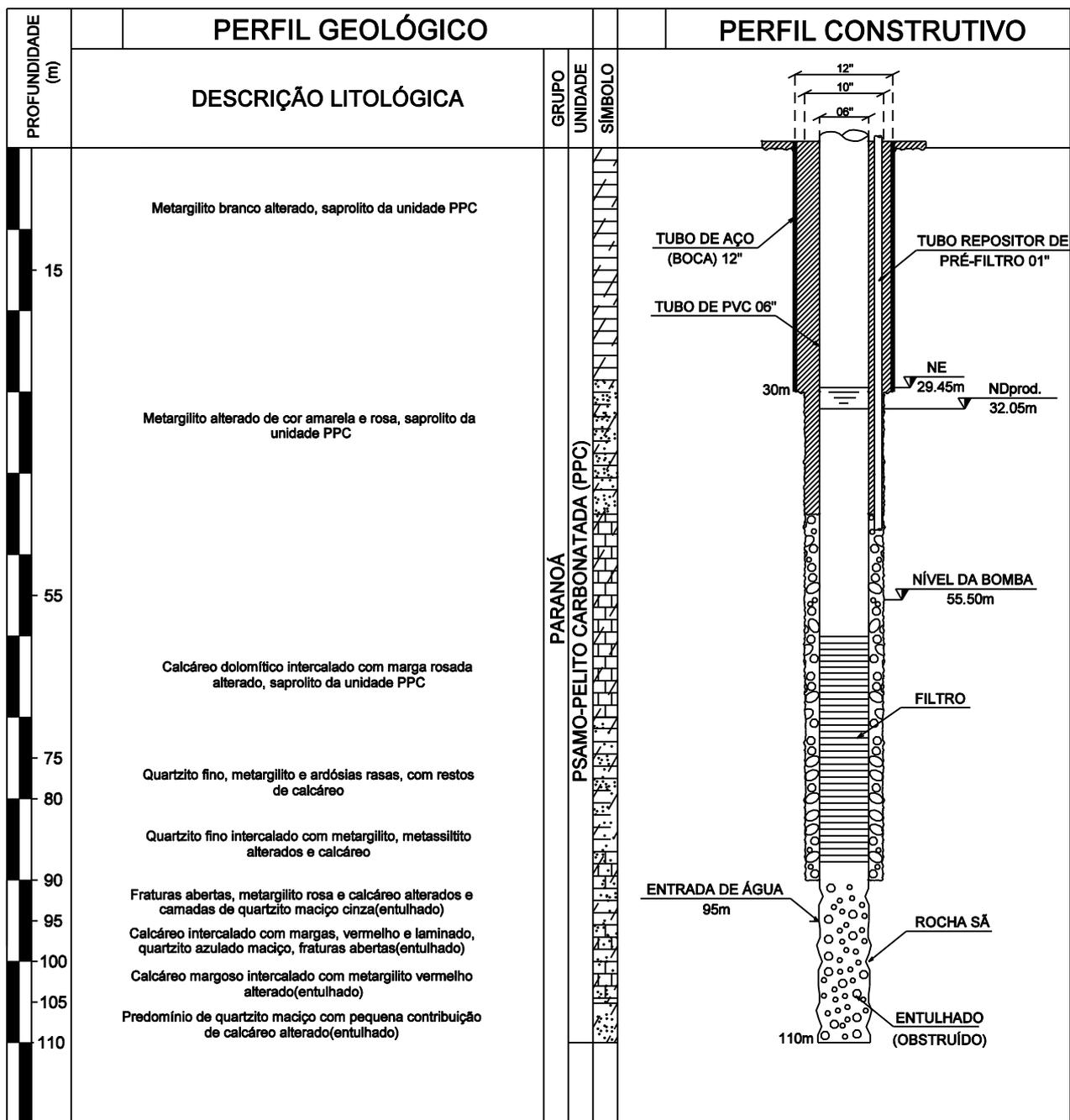
SOBRADINHO
NÚCLEO RURAL BANANAL
POÇO TUBULAR PROFUNDO
EPO-BAN2

ESCALA
VERTICAL 1:1.000
HORIZONTAL 1:25

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

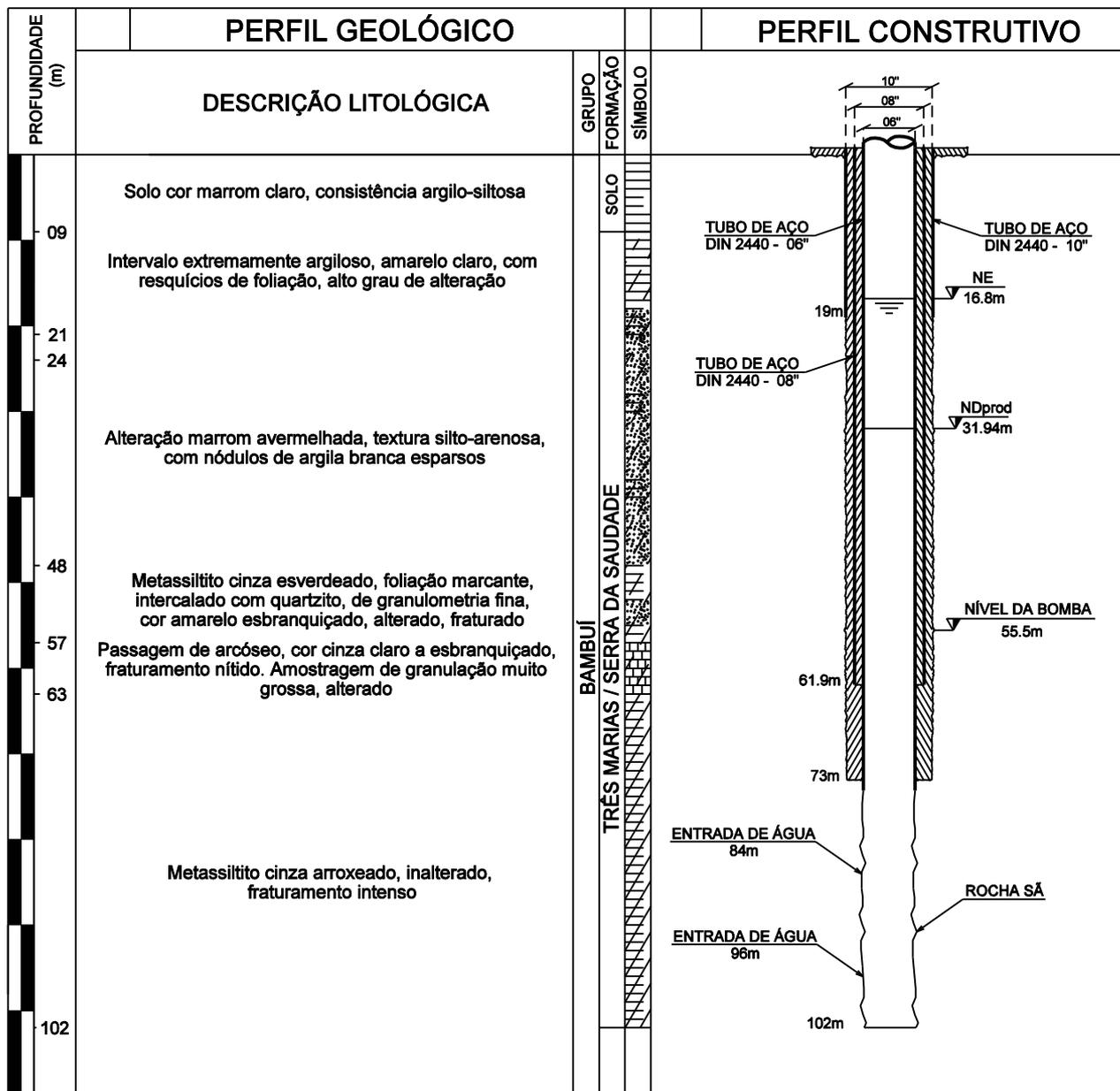
PLANALTINA
NÚCLEO RURAL BONSUCESSO
POÇO TUBULAR PROFUNDO
EPO-BON

ESCALA
 VERTICAL 1:800
 HORIZONTAL 1:20

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

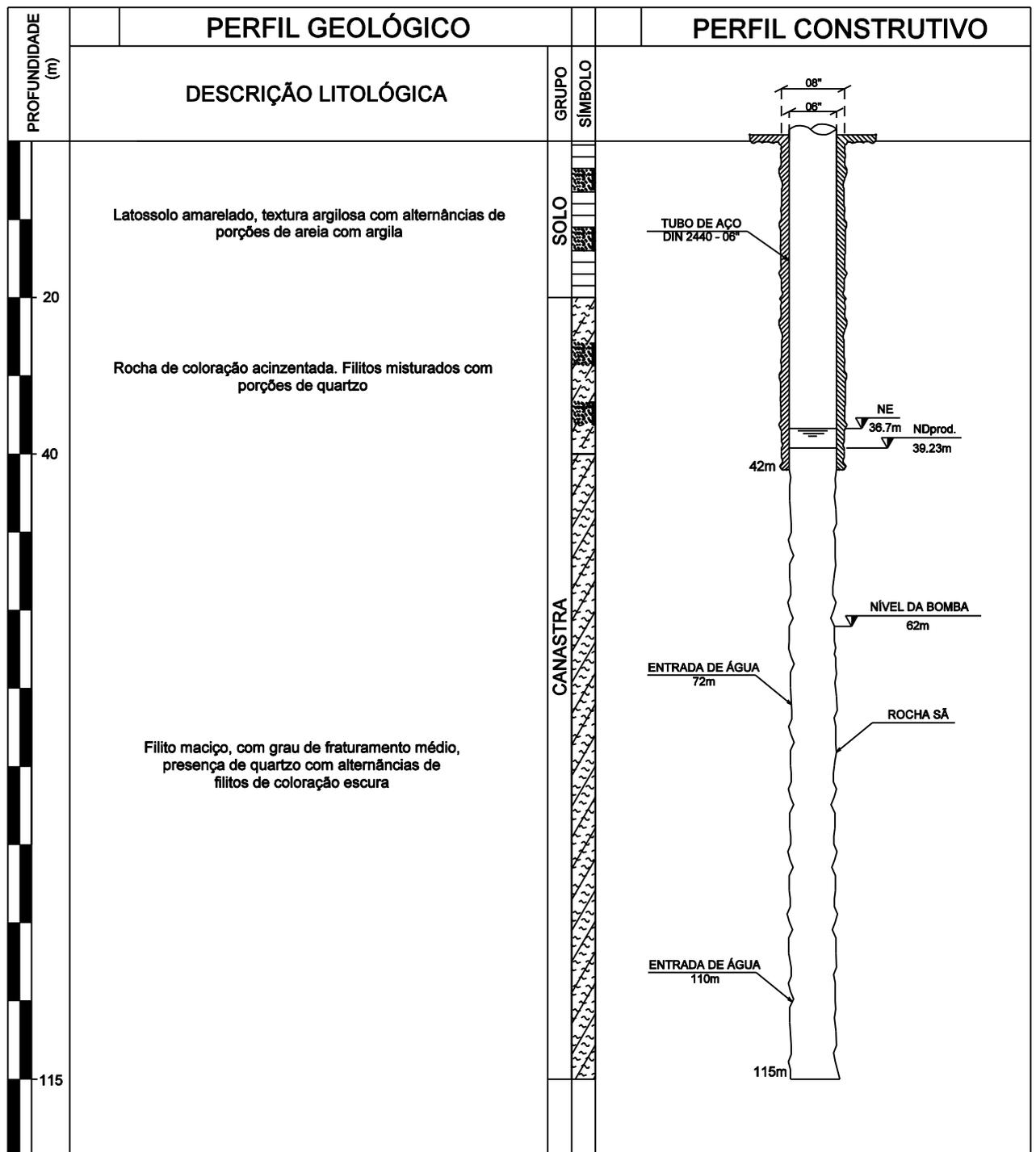
PARANOÁ
NÚCLEO RURAL BURITI VERMELHO
POÇO TUBULAR PROFUNDO
EPO-BV

ESCALA
VERTICAL 1:800
HORIZONTAL 1:20

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

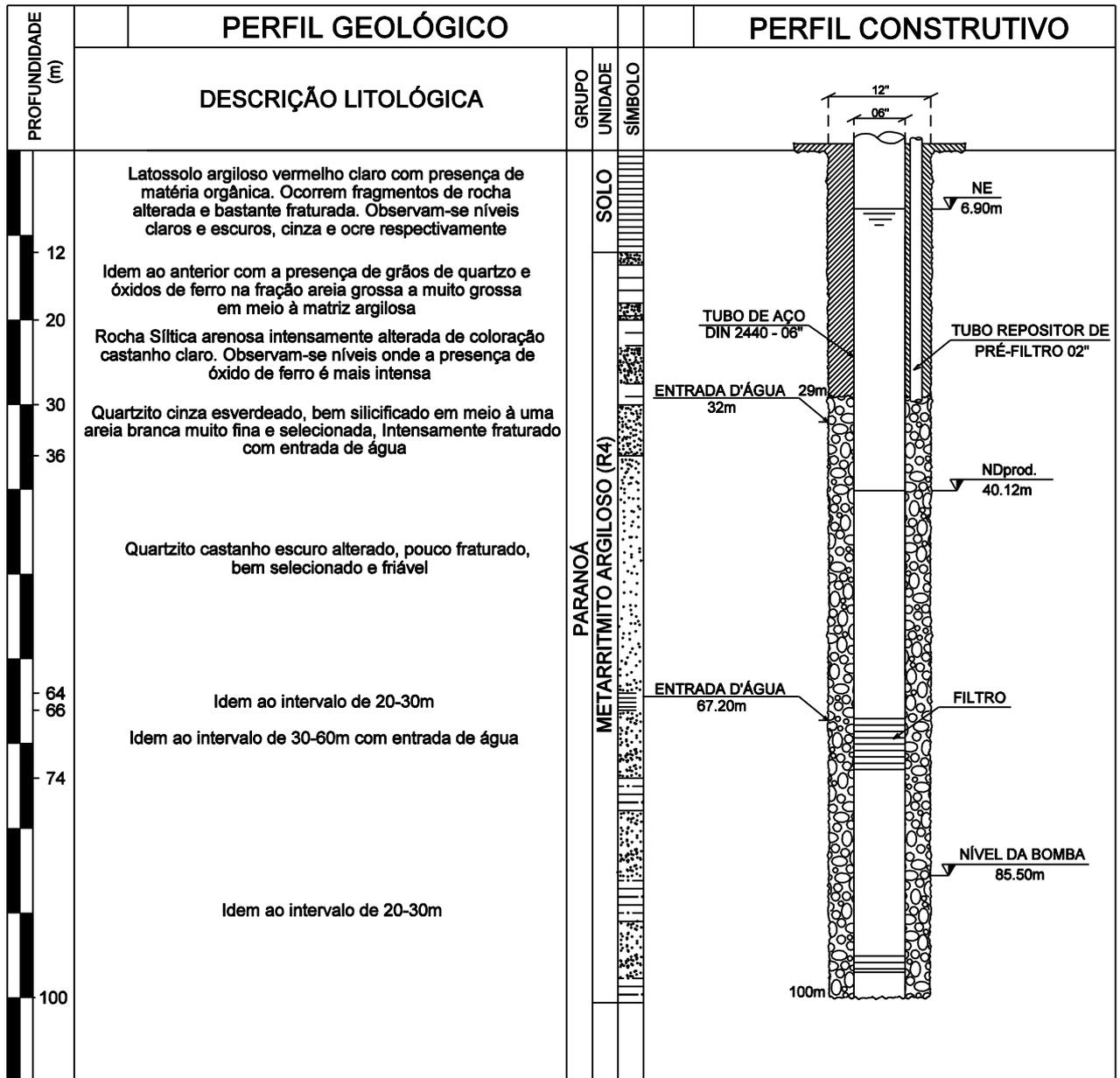
SOBRADINHO
NÚCLEO RURAL CATINGUEIRO
POÇO TUBULAR PROFUNDO
EPO-CAT2

ESCALA
VERTICAL 1:800
HORIZONTAL 1:20

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

PLANALTINA

NÚCLEO RURAL CÓRREGO DO ATOLEIRO

POÇO TUBULAR PROFUNDO

EPO-CATO

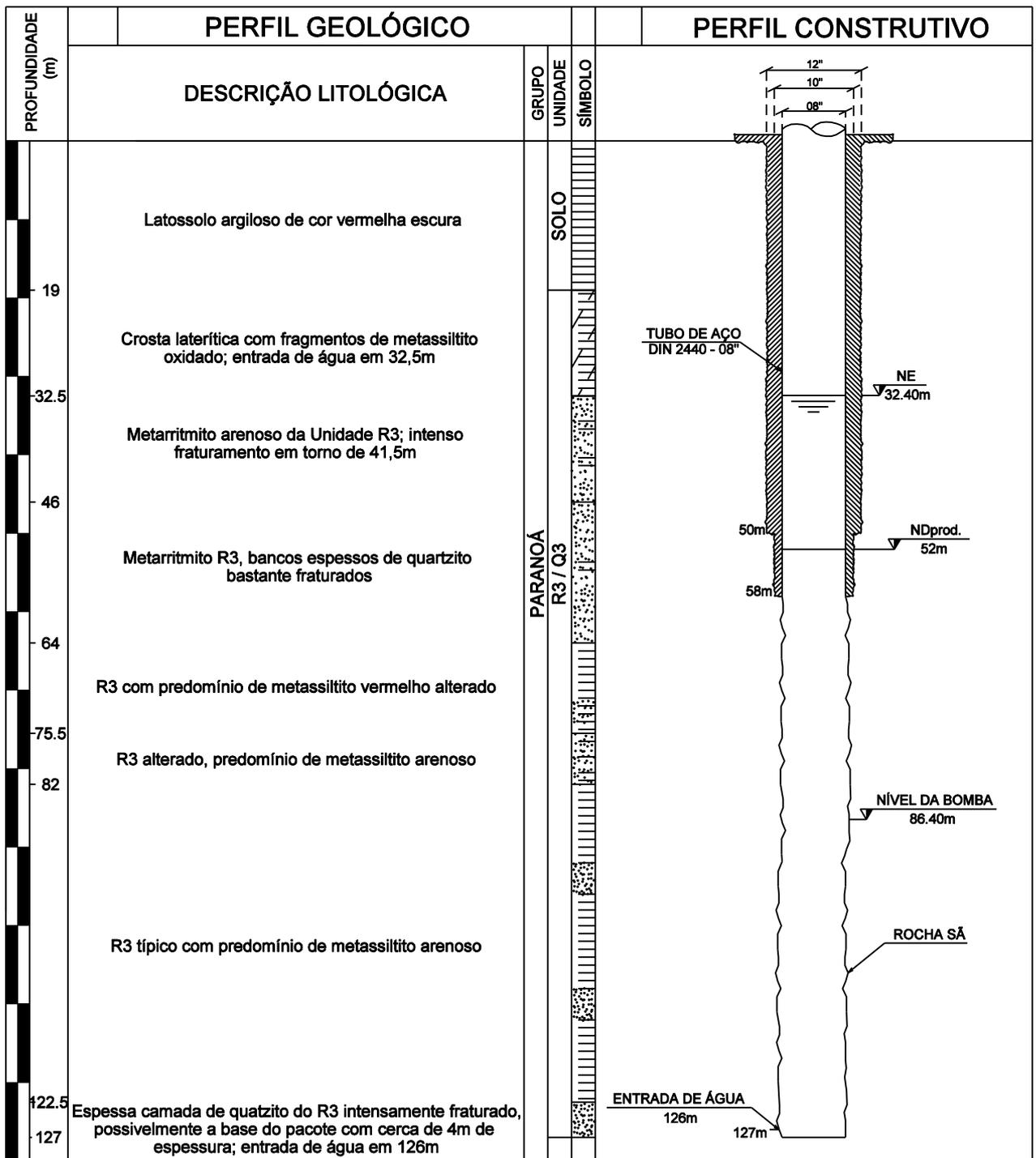
ESCALA

VERTICAL 1:800
HORIZONTAL 1:20

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

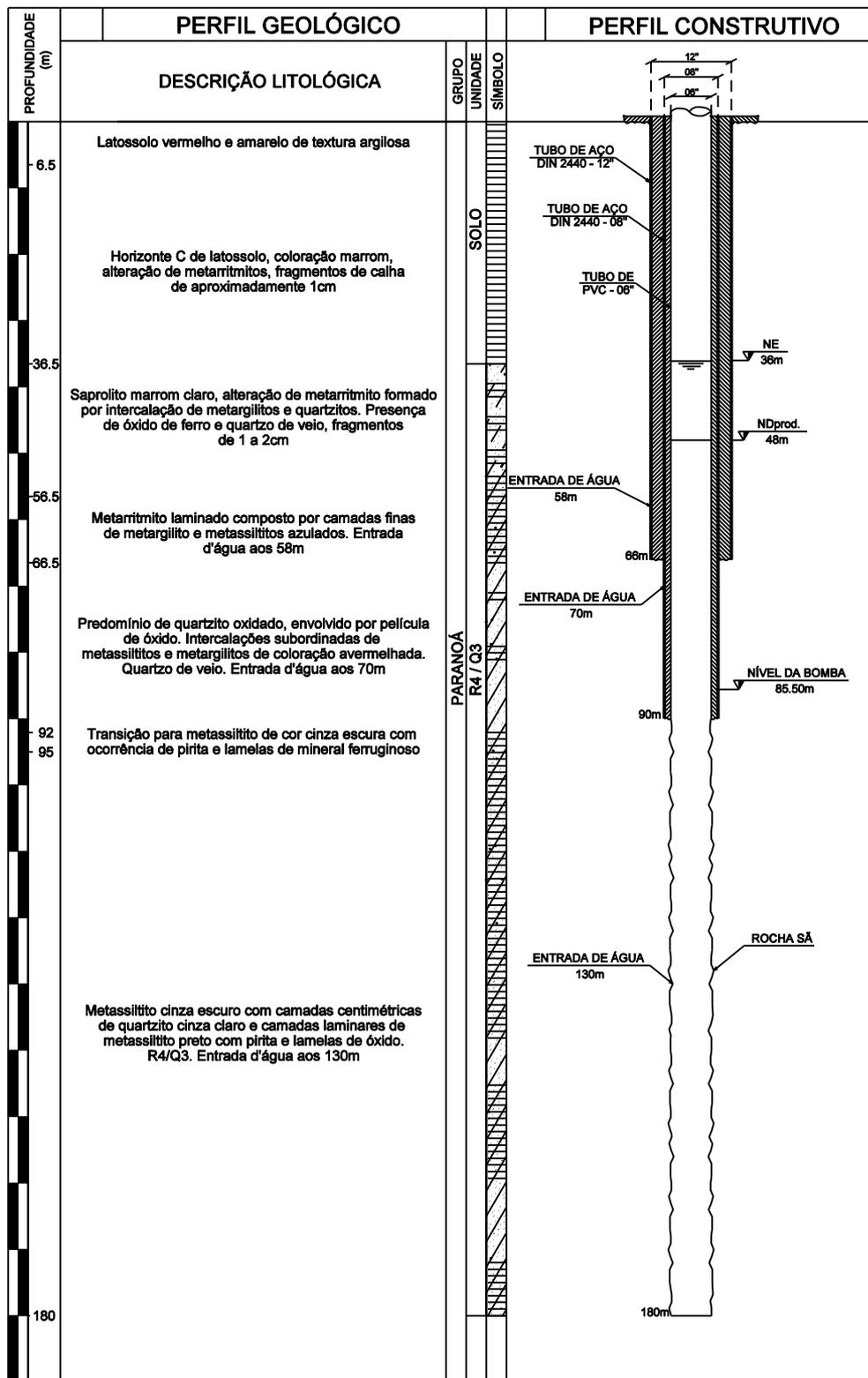
RIACHO FUNDO
 COMBINADO AGROURBANO DE BRASÍLIA - CAUB I
 POÇO TUBULAR PROFUNDO
 EPO-CAU4

ESCALA
 VERTICAL 1:800
 HORIZONTAL 1:20

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

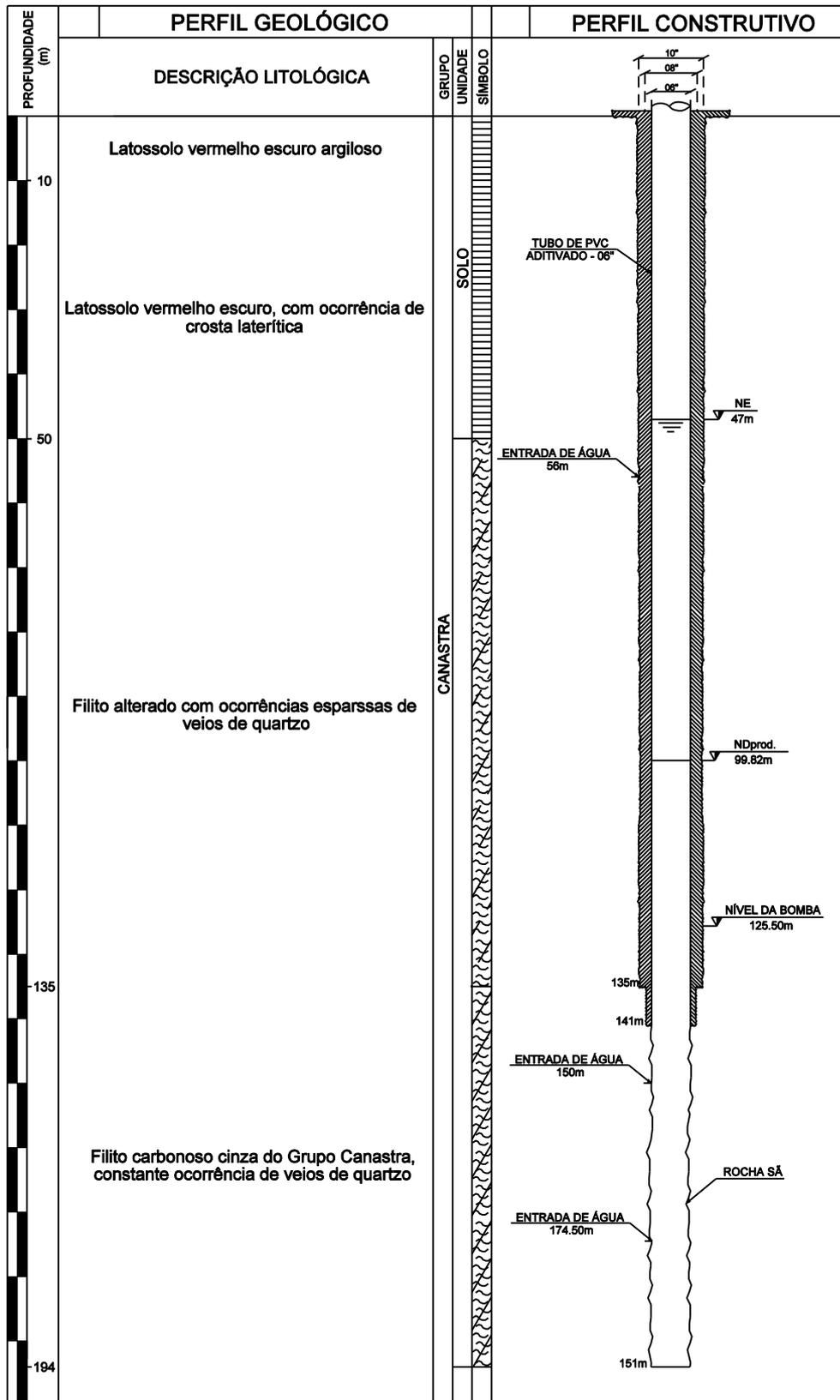
GAMA
 NÚCLEO RURAL CASA GRANDE
 POÇO TUBULAR PROFUNDO
 EPO-CG2

ESCALA
 VERTICAL 1:1.000
 HORIZONTAL 1:25

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

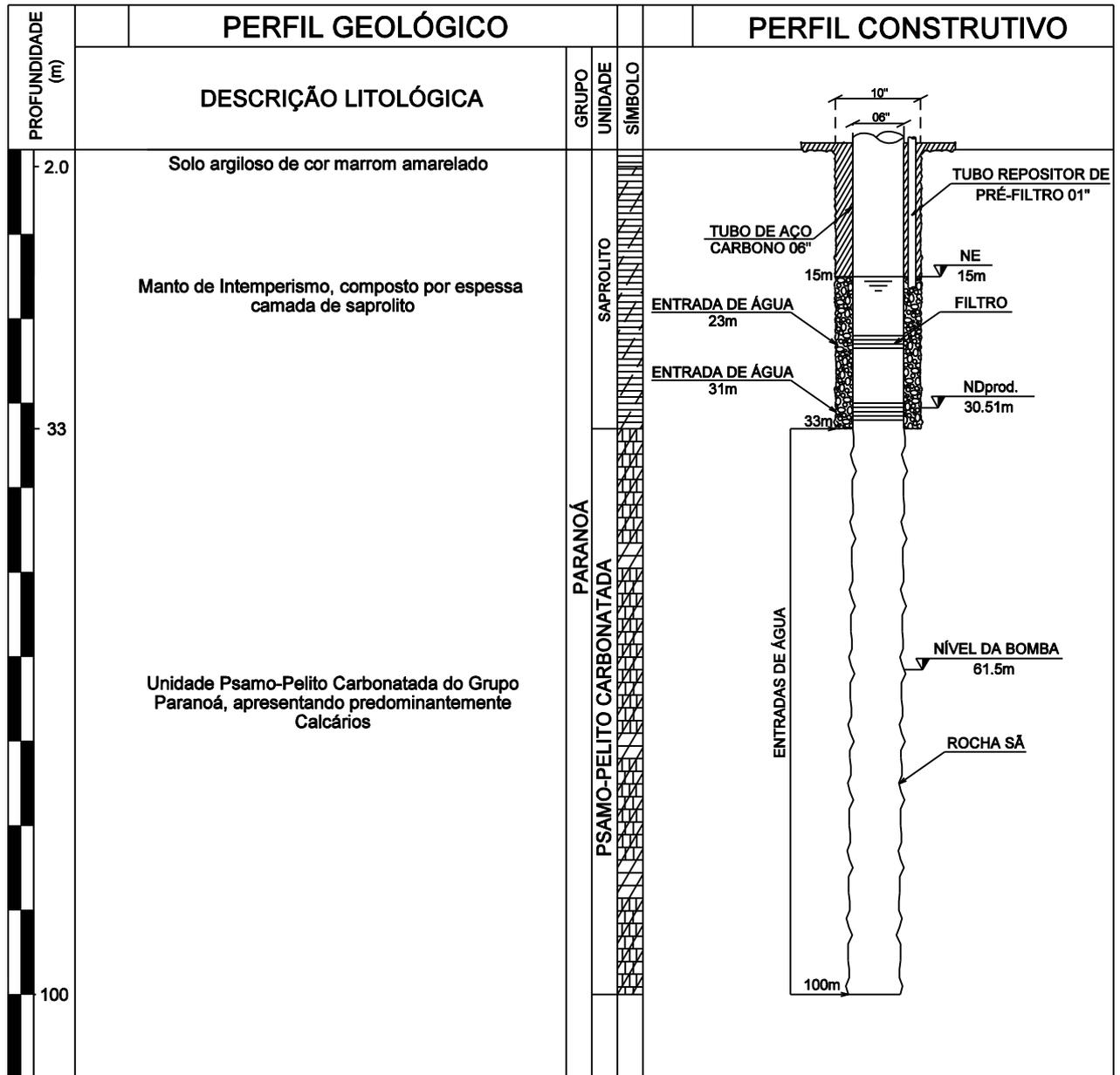
SÃO SEBASTIÃO
NÚCLEO RURAL CHAPADA
POÇO TUBULAR PROFUNDO
EPO-CHA2

ESCALA
VERTICAL 1:1.000
HORIZONTAL 1:25

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

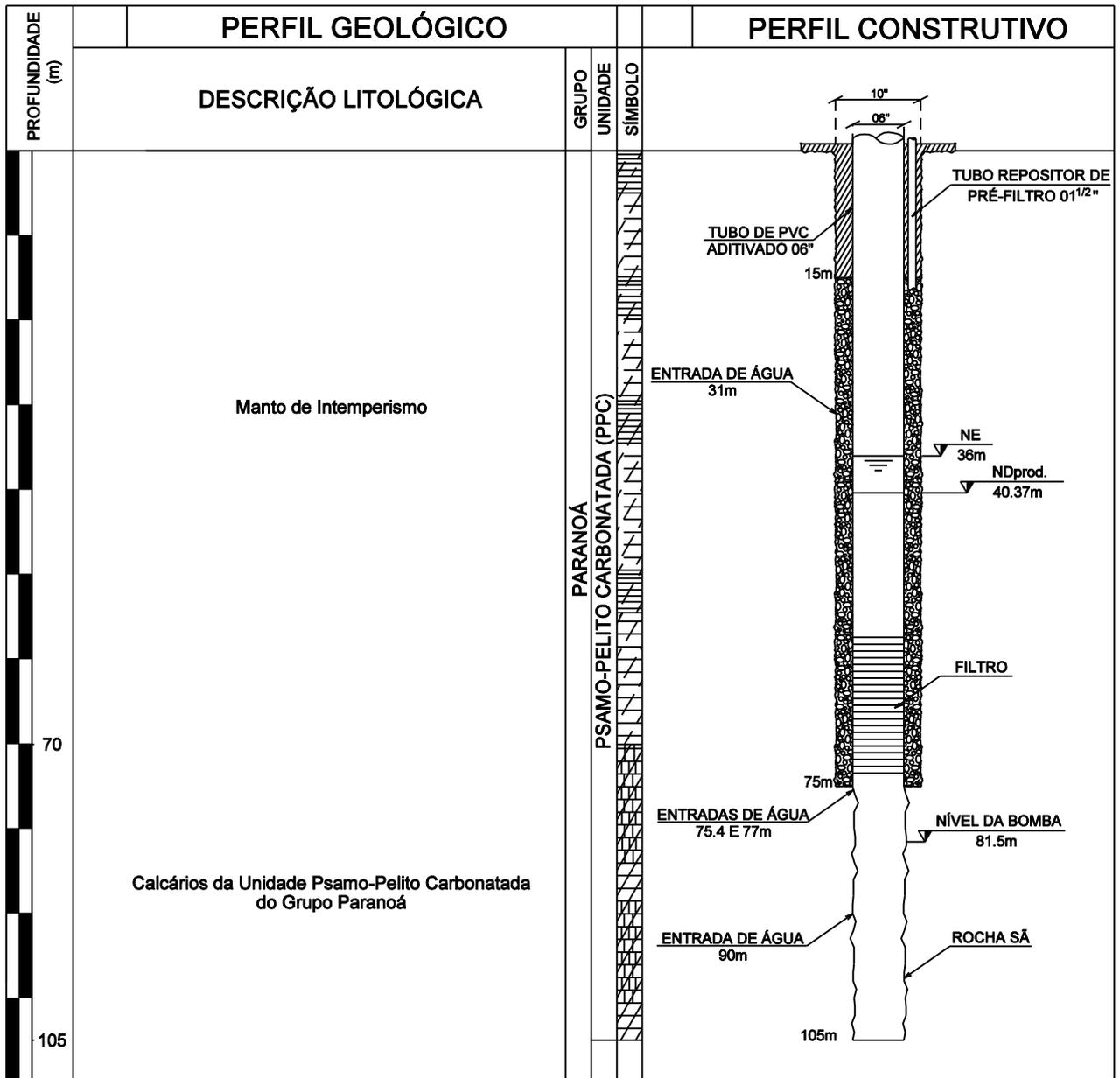
SOBRADINHO
NÚCLEO RURAL ENGENHO VELHO
POÇO TUBULAR PROFUNDO
EPO-EV1

ESCALA
 VERTICAL 1:800
 HORIZONTAL 1:20

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

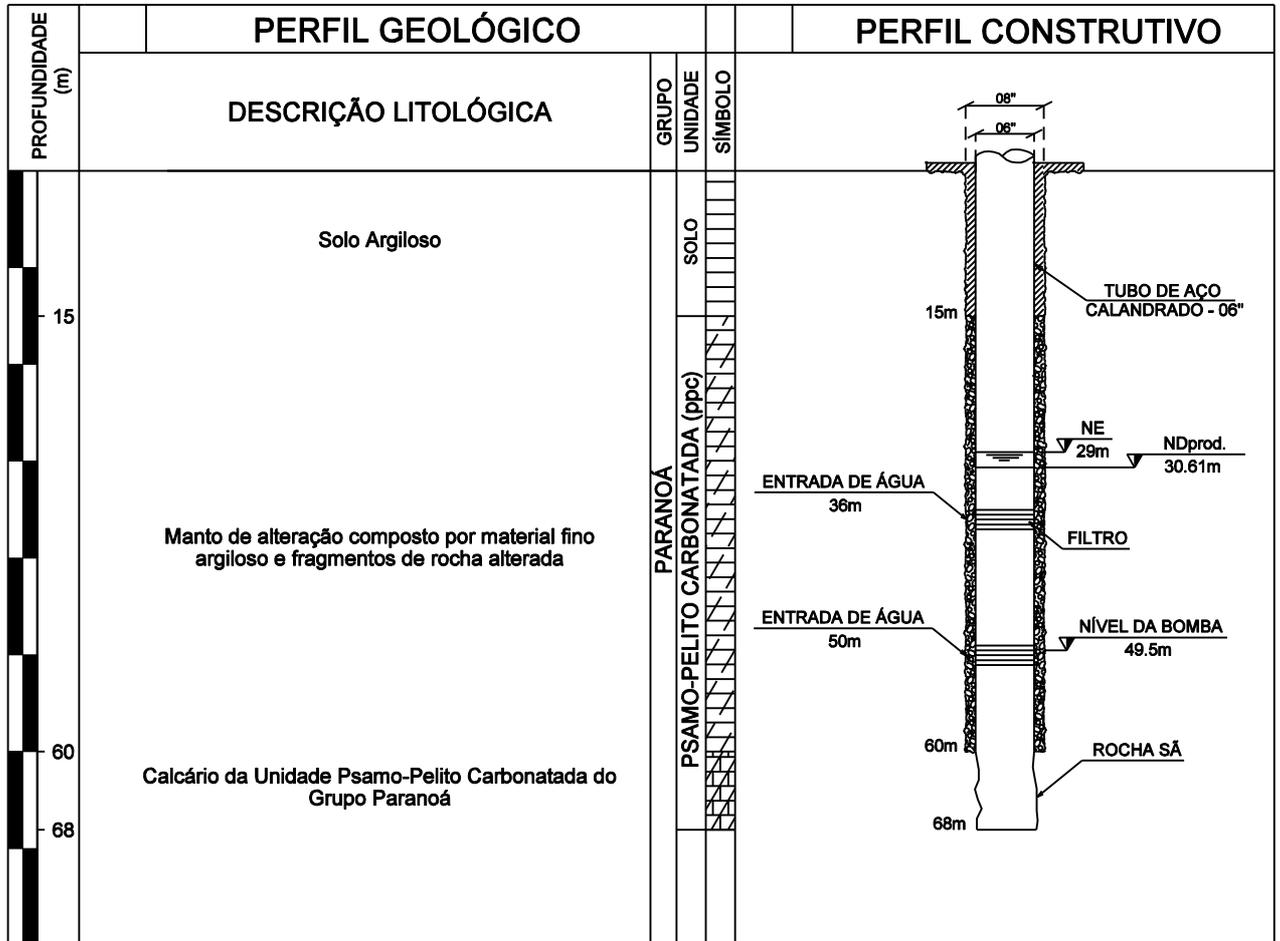
SOBRADINHO
NÚCLEO RURAL ENGENHO VELHO
POÇO TUBULAR PROFUNDO
EPO-EV2

ESCALA
 VERTICAL 1:800
 HORIZONTAL 1:20

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

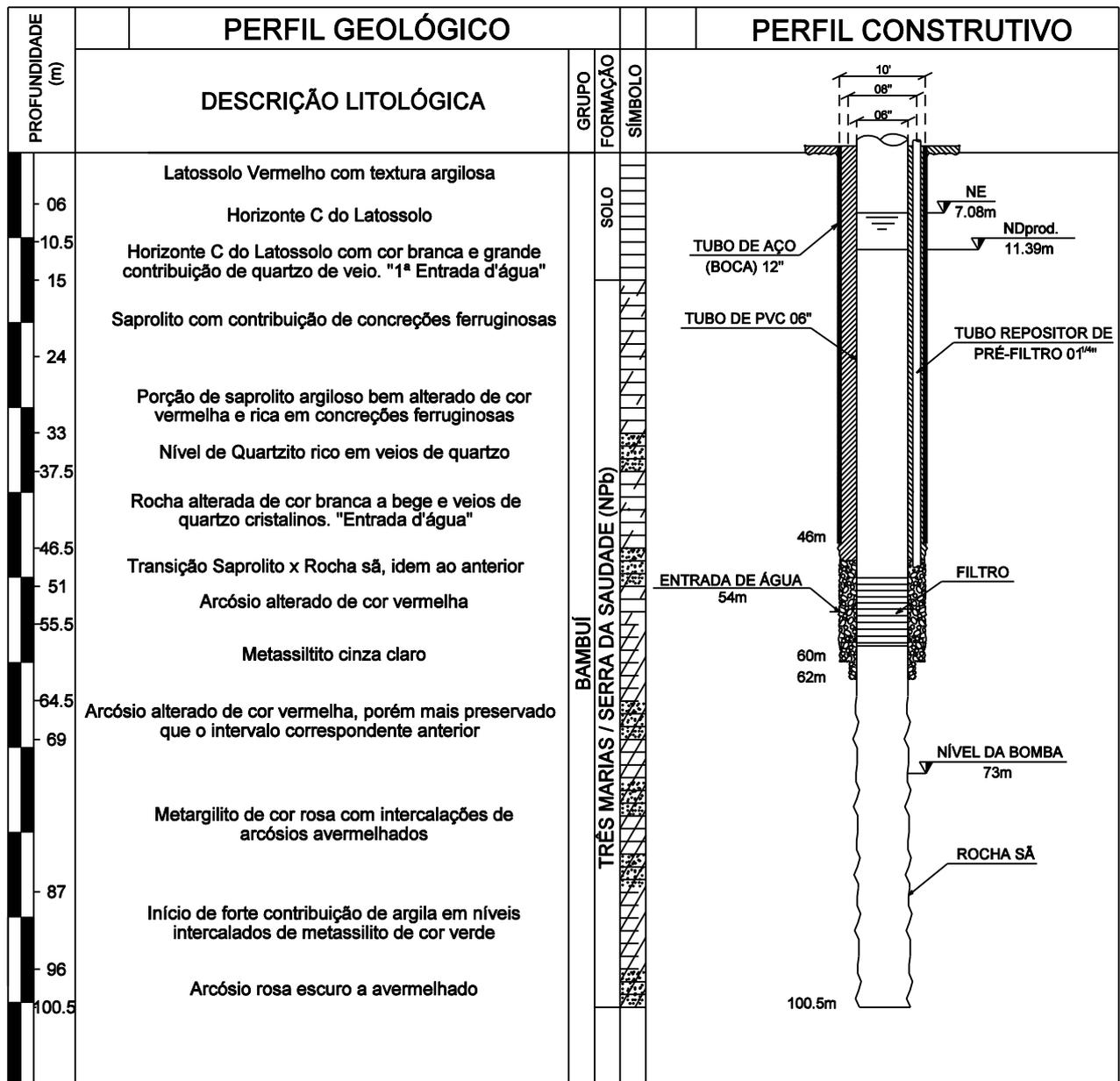
SOBRADINHO
NÚCLEO RURAL FERCAL OESTE
POÇO TUBULAR PROFUNDO
EPO-FO

ESCALA
 VERTICAL 1:800
 HORIZONTAL 1:20

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

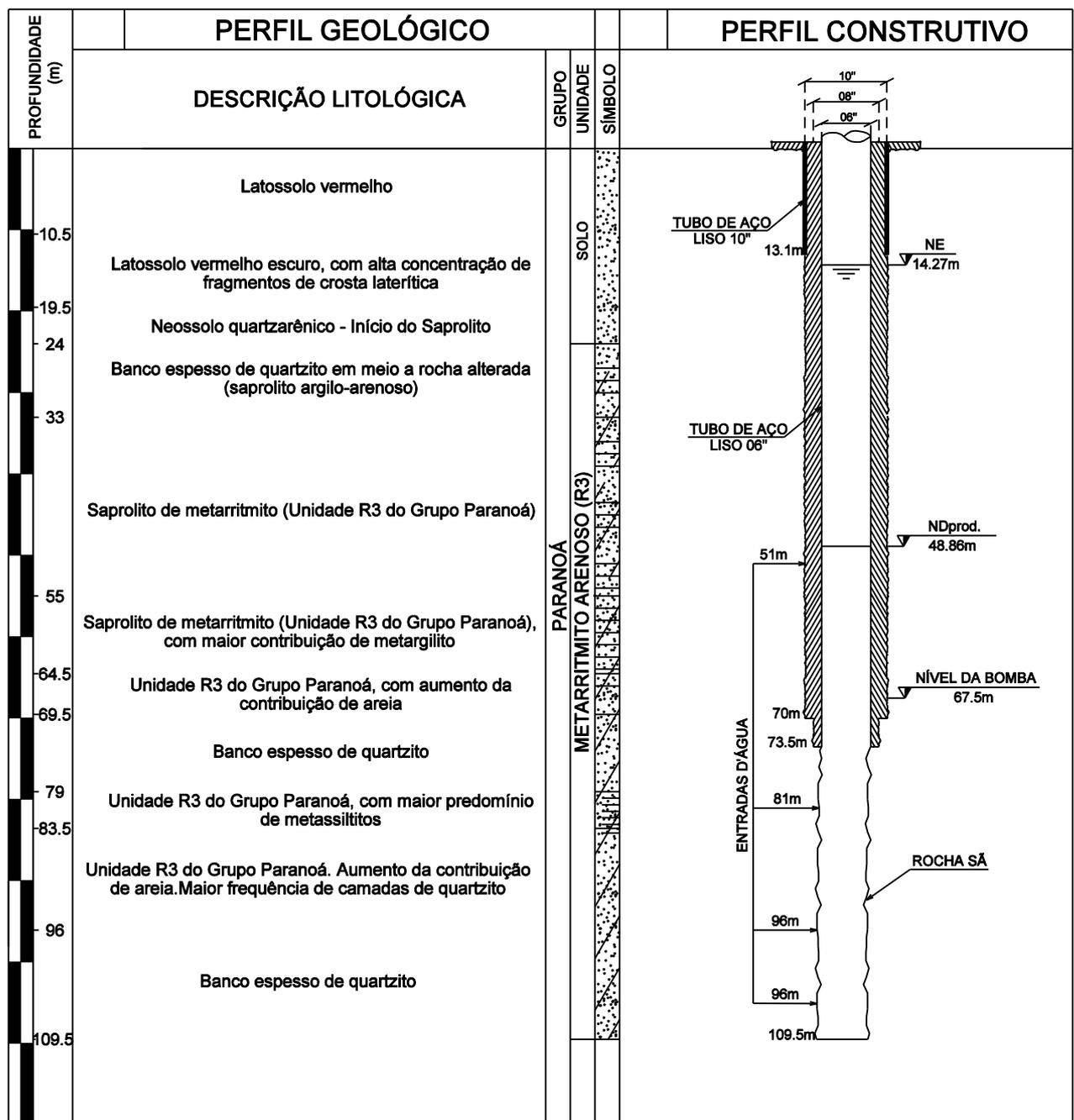
PARANOÁ
 NÚCLEO RURAL ITAPETI
 POÇO TUBULAR PROFUNDO
 EPO-ITA

ESCALA
 VERTICAL 1:800
 HORIZONTAL 1:20

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

SÃO SEBASTIÃO
NÚCLEO RURAL NOVA BETÂNIA

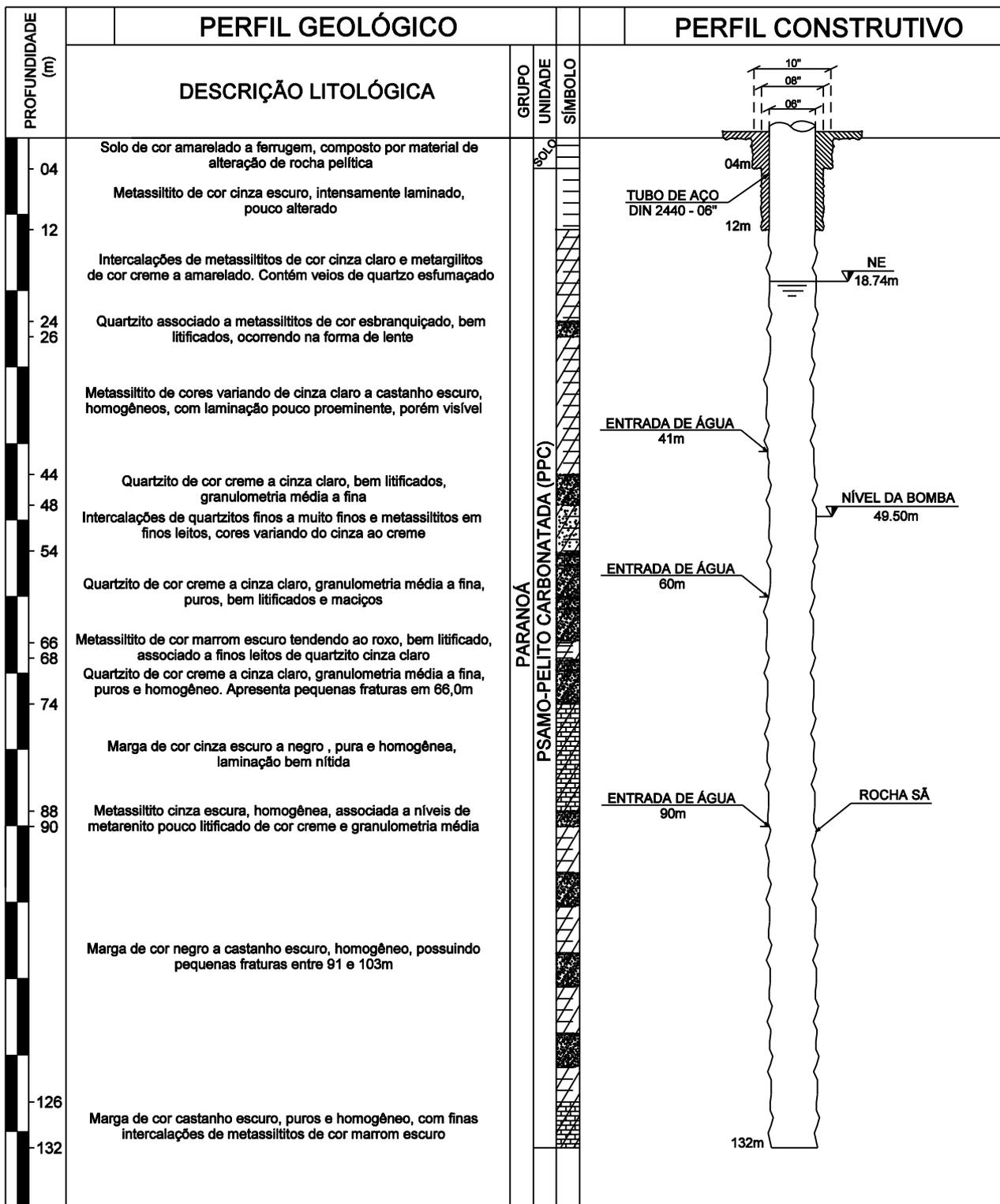
POÇO TUBULAR PROFUNDO
EPO-NB2

ESCALA
VERTICAL 1:800
HORIZONTAL 1:20

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

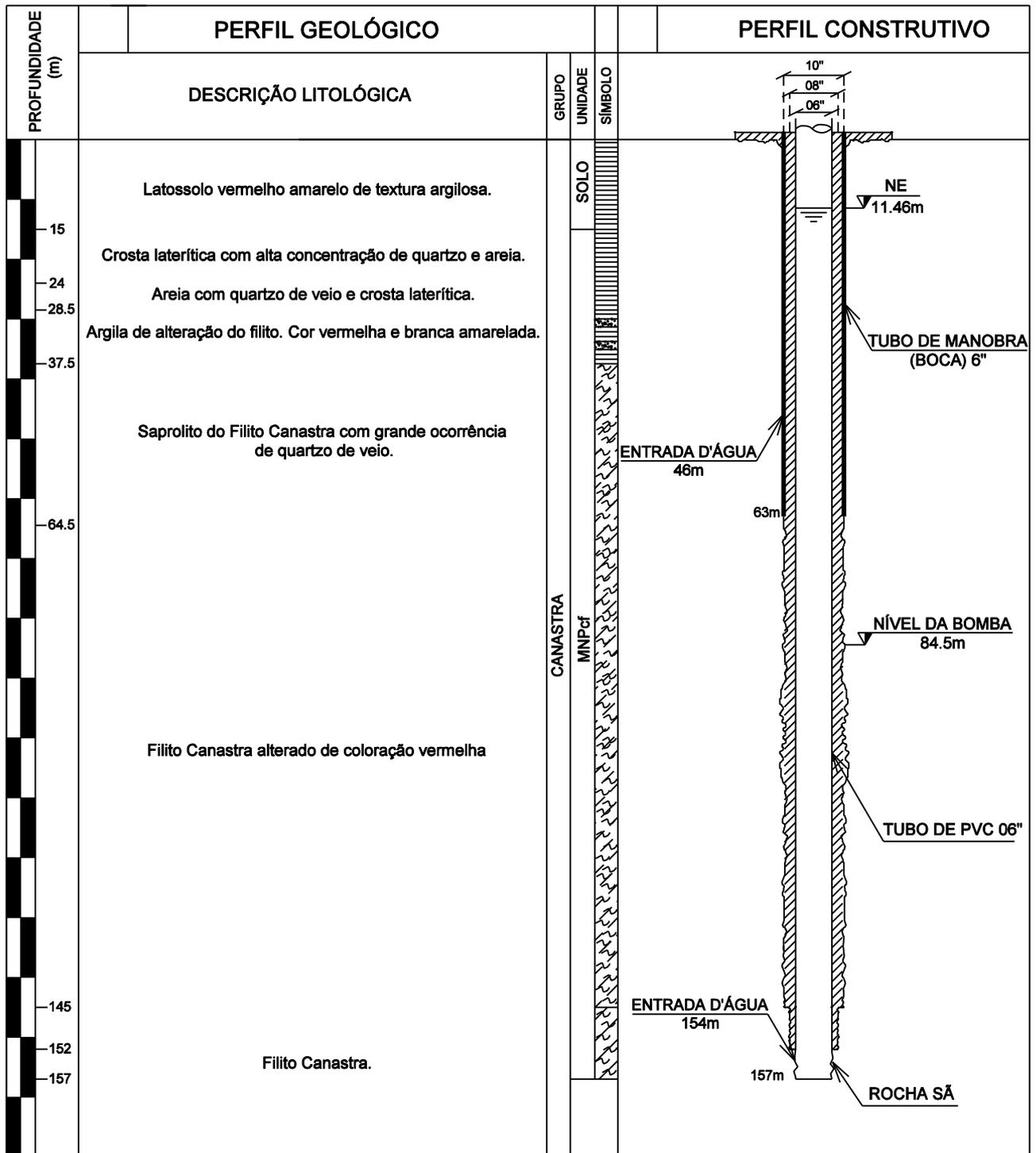
SOBRADINHO
NÚCLEO RURAL QUEIMA LENÇOL
POÇO TUBULAR PROFUNDO
EPO-QL2

ESCALA
VERTICAL 1:800
HORIZONTAL 1:20

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

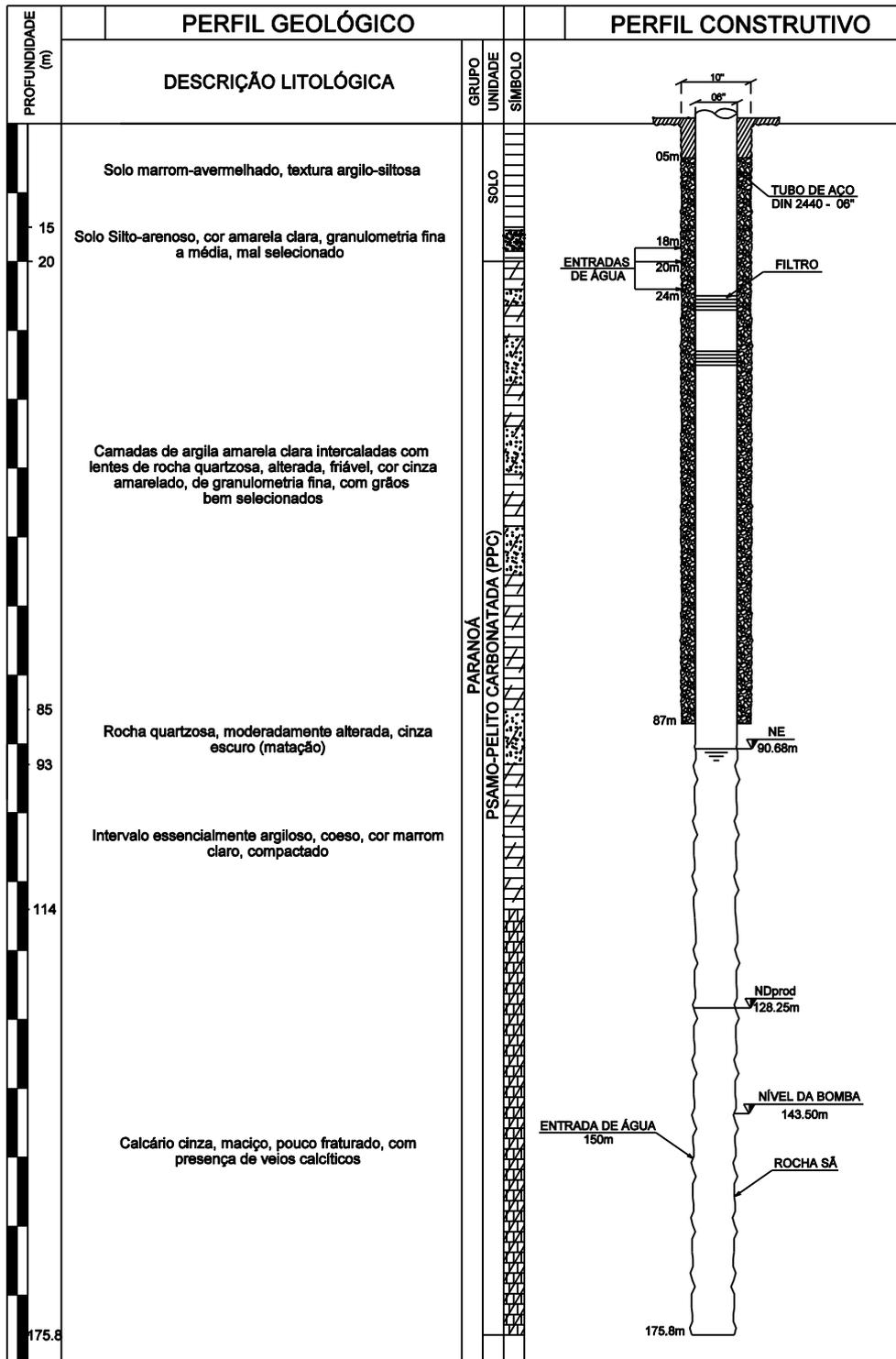
PARANOÁ
 NÚCLEO RURAL QUEBRADA DOS NERES
 POÇO TUBULAR PROFUNDO
 EPO-QN

ESCALA
 VERTICAL 1:1.000
 HORIZONTAL 1:25

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

PLANALTINA
 NÚCLEO RURAL SARANDI
 POÇO TUBULAR PROFUNDO
 EPO-SAR

ESCALA
 VERTICAL 1:1.000
 HORIZONTAL 1:25

MAPOTECA

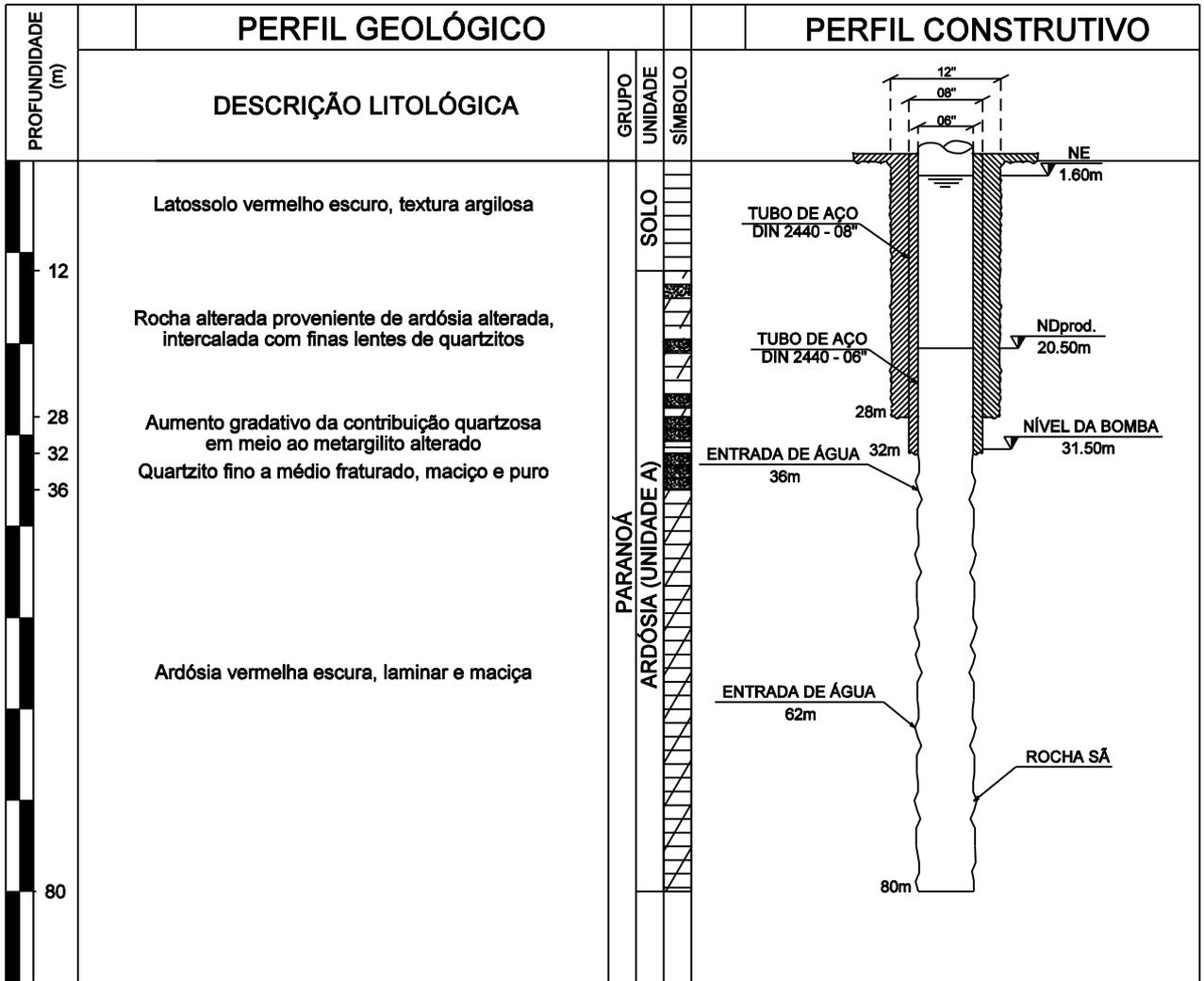
No. DO DESENHO

01/01



PERFIL DE POÇO PROFUNDO	Local N. R. São Bartolomeu
Assessoria de Saneamento Rural - PRR	Poço EPO-Sbat

Prof. (m)	Descrição Geológica			
0,0 -6 m	Solo de coloração marrom avermelhada, textura silto-argilosa.		0	Data de Início 08/04/1998
6-18 m	Filito cinza claro, textura argilosa, moderadamente alterado.		5	
18- 120m	Filito cinza escuro, inalterado, maciço, apresenta grande porcentagem em sericita. Amostragem de granulação média.		10	Data de Término 11/04/1998
120-130m	Filito com grau de fraturamento elevado. Amostragem de granulação média a grossa.		15	Profundidade 174,00 m
130-174m	Idem intervalo dos 18-120 metros		20	Perfuração em Solo 6,00 m
			25	Perf. em Rocha Alterada 6-18 m
			30	Perf. em Rocha Sã 18-174 m
			35	Revestimento +0,5 - 18 m
			40	
			45	Filtros Utilizados
			50	
			55	
			60	Entradas de Água 126 m
			65	
			70	Nível Dinâmico Máximo
			75	103,86 m
			80	
			85	Rebaixamento Máximo
			90	91,76m
			95	
			100	Vazão máxima 14,07m³/h
			105	
			110	Obs
			115	
			120	caesb
			125	
			130	
			135	
			140	
			145	
			150	
			155	
			160	



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

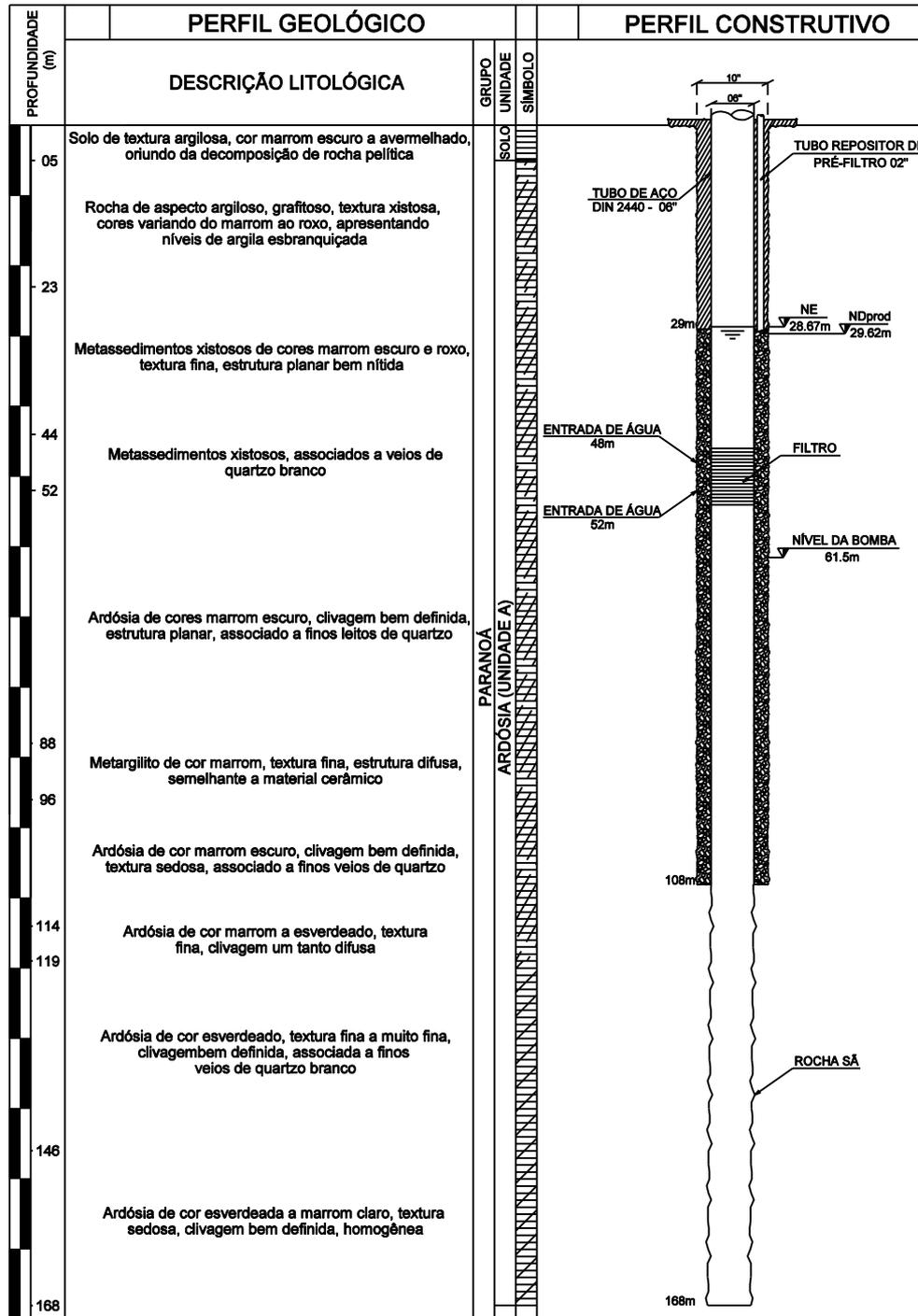
PLANALTINA
 NÚCLEO RURAL TAQUARA
 POÇO TUBULAR PROFUNDO
 EPO-TAQ2

ESCALA
 VERTICAL 1:800
 HORIZONTAL 1:20

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

TAGUATINGA
COLÔNIA AGRÍCOLA VICENTE PIRES
ESCOLA NOSSA SENHORA DE FÁTIMA

POÇO TUBULAR PROFUNDO
EPO-VP

ESCALA
 VERTICAL 1:800
 HORIZONTAL 1:20

MAPOTECA

No. DO DESENHO

01/01



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

Local Cond. Nova Colina - Sobradinho

PHIHS/PHIH/PHI/DP

Poço **NC-04**

Prof. (m)	Descrição Geológica		Data de Início
00 a 15	Solo argiloso de cor marrom avermelhada	0	04/10/2007
		5	Data de Término
		10	24/10/2007
		15	Profundidade
15 a 18	Argilito vermelho alterado intercalado com solo argiloso e subordinadamente quartzito fino	20	188 m
18 a 50	Alternância de quartzito fino a médio, de cor avermelhada, branca acizentada ou com argilito de cor vermelha escura ou branca	25	Perf. em solo
		30	15 m
		35	Perf. em Rocha Alterada
		40	91m
		45	Perf. em Rocha Sã
		50	82 m
		55	Revestimento
50 a 62	Predominância de quartzito branco acizentado e quartzito vermelho escuro (oxidado). Intercalações de siltito branco e estratos laminares de argilito vermelho ou branco.	60	65 m
		65	Filtros Utilizados
62 a 65	não amostrado	70	xxxxx
65(?) a 68	Quartzito acizentado intercalado com argilito vermelho alterado. Presença de muita lama vermelha junto aos fragmentos.	75	Entradas d' água
68 a 71	Quartzito cinza fino a médio intercalado com argilito esverdeado a vermelho. Fragmentos de quartzito indicam fratura. Quantidade de lama bem menor que no intervalo anterior.	80	80m e 113m
71 a 77	Quartzito fino cinza, siltito vermelho ou cinza e argilito branco ou vermelho. Pouca lama junto aos fragmentos.	85	Nível Estático
77 a 83	idem a anterior, mas com ausência de lama	90	32,85 m
83 a 89	Alternância de quartzito vermelho com argilito vermelho. Ausência de lama.	95	Nível Dinâmico
89 a 106	Quartzito fino a médio, vermelhos ou acizentados. Rara ocorrência de argilito vermelho.	100	129,65 m
106 a 111	Início da rocha fresca (intercalada com rocha alterada). Quartzito cinza escuro intercalado com quartzito vermelho. Subordinadamente há lâminas de argilito branco acizentado ou vermelho. Começa a pegar fragmentos do argilito fresco, de cor cinza escura.	105	Rebaixamento
112 a 116	Quartzito branco a cinza claro, de grão predominantemente médio. Há poucas lâminas de argilito vermelho. Entrada d' água a 113 m.	110	96,8 m
116 a 135	Quartzito cinza fino a médio e argilito cinza escuro subordinado. Raros fragmentos de quartzito vermelho e intercalações do argilito alterado (vermelho)	115	Vazão
135 a 148	Quartzito muito silicificado cinza claro. Intercalações laminares de argilito preto subordinadas.	120	8,134 m ³ /h
148 a 161	Alternância de quartzito fino argiloso cinza e argilito cinza escuro foliado. Aumentou bastante a quantidade de argilito em relação ao intervalo anterior, mas predomina qzito.	125	Observações
161 a 167	Fragmentos de quartzito muito silicificado de brancos e frag. cinza claro esverdeado ou vermelho. Raros fragmentos de argilito vermelho (lâminas). Provável zona fraturada.	130	
167 a 170	Mesmo material do intervalo anterior misturado com fragmentos de quartzito cristalino (.50% da amostra). Presença de areia. Zona fraturada.	135	
170 a 188	Quartzito cinza e argilito/siltito cinza escuros. No início do intervalo há alguns fragmentos de quartzito e alguns fragmentos de argilito avermelhado. Quantidade de argilito aumenta gradativamente do início para o final do intervalo	140	
		145	
		150	
		155	
		160	



PERFIL DE POÇO PROFUNDO	Local	Sobradinho I
	Superintendência de Expansão do Sistema de Água - TEA	Poço

CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS			
0 a 5 m - solo arenoso de cor marrom, c/ concreções ferruginosas		0	Data de Início 23/06/2003
5 a 25 m - quartzito branco, levemente alterado		5	Data de Término 27/06/2003
25 a 50 m - quartzito branco, recristalizado, com porções fraturadas e porções de quartzito ferruginoso		10	Profundidade 150 metros
50 a 60 m - alternância de quartzito cinza c/ meta-argilitos de cor vermelha, alterados. Entrada d'água a 50 m (~ 4.000 l/h)		15	Perfuração em Solo 5 metros
60 a 85 m - quartzito cinza, recristalizado, com níveis ocasionais de meta-argilito alterado, avermelhado. Ent. d'água a 80 m (~ 12.000 l/h)		20	Perf. em Rocha Alterada 25 metros
85 a 120 m meta-argilito são de cor cinza escura, pouco foliado, com intercalações de quartzito branco, recristalizado.		25	Perf. em Rocha Sã 120 metros
120 a 135 m meta-argilito cinza escuro, foliado		30	Revestimento 30,00 metros
135 a 145 m quartzito branco, fraturado		35	Filtros Utilizados -----
145 a 150 m meta-argilito cinza escuro, foliado		40	Entradas de Água 50 / 80 metros
		45	Nível Estático 1,14 m
		50	Nível Dinâmico 102,0 m
		55	Rebaixamento 100,86 m
		60	Vazão 19,098 m ³ /h
		65	Observações:
		70	
		75	
		80	
		85	
		90	
		95	
		100	
		105	
		110	
		115	
		120	
		125	
		130	
		135	
		140	
		145	
		150	
		155	
		160	



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

Local São Sebastião

PHIHE/PHIH/PHI/DP

Poço **SS-1A**

Prof. (m)	Descrição Geológica			Data de Início
00 a 24	Solo argiloso avermelhado com presença de concreções lateríticas arredondadas (tamanhos de 1 a 4 mm).		0	14/10/2008
			5	Data de Término
			10	25/03/2009
			15	Profundidade
			20	114,5
24-39	Saprolito do Filito Canastra com cor amarela ou branca. Dos 25 aos 33 m, o material (cor branca) é mais argiloso (pegajoso). Dos 36 aos 39 m, há concreções lateríticas		25	Perf. em solo
			30	24 m
			35	Perf. em Rocha Alterada
			40	50 m
39-50	Alternância entre calcário e filito alterado. Entre 39 a 40 - calcário; 40 a 41- argila; 41 a 43 - calcário; 43 a 50m - argila.		40	Perf. em Rocha Sã
			45	04/03/1900
			50	Revestimento
50 - 108	Calcário/Mármore do Canastra. Calcário cinza escuro. Presença de filito é subordinada, provavelmente ocorre na forma de camadas bastante delgadas (há poucos fragmentos de filito nas amostras). Ocorrência de veios de quartzo.		50	79,5 m
			55	Filtros Utilizados
			60	-
			65	Entradas d' água
			70	21m, 40m, 68, 72m, 85-87m, 93m, 101-102m, 113-114m
			75	Nível Estático
			80	21,38 m
			85	Nível Dinâmico
			90	44,43 m
			95	Rebaixamento
			100	23,05 m
			105	Vazão
			110	128 m ³ /h
108 - 114	Calcário cinza escuro com intercalações de filito cinza escuro. Presença de pirita, veios de calcita e de quartzo.		115	Observações
			120	
			125	
			130	
			135	
			140	
			145	
			150	
			155	
			160	



PERFIL DE POÇO PROFUNDO	Local	São Sebastião
	PHIHS/PHIH/PHI/DP	Poço

Prof. (m)	Descrição Geológica				Data de Início	
0 a 11	Solo argiloso de cor cinza.		0	09/01/2007		
12 a 17	Solo argiloso de cor amarela (=ocre).		5		Data de Término	
18 a 20	Solo argiloso de cor avermelhada.		10	20/04/2007		
			15		Profundidade	
21 a 35	Solo argiloso de cor rósea intercalado a níveis de rocha alterada (filito) que ainda preserva foliação penetrativa típica.		20	140 m		
			25		Perfuração em Solo	
36 a 47	Solo argiloso de coloração amarela (=ocre) ocorrendo níveis de rocha (=filito) alterada.		30	47 m		
			35		Perf. em Rocha Alterada	
48 a 50	Rocha alterada (=regolito). Alguns fragmentos preservam a foliação típica dos filitos.		40	4 m		
			45		Perf. em Rocha Sã	
51 a 86	Calcários e filitos calcíferos de cor cinza e creme com veios de quartzo de pequenas		50	89 m		
87 a 90	Calcários e filitos calcíferos de cores creme e cinza, predominantemente.		55		Revestimento	
91 a 92	Nível de rocha alterada (= lama de cor cinza).		60	104 m		
			65		Filtros Utilizados	
93 a 102	Calcários e filitos calcíferos de cor cinza com intercalações de rocha alterada relacionadas à entradas d'água (= 93, 96 e 99m).	70			74 a 76m; 80 a 84m; 86 a 88m; 92 a 98m.	
		75		Entradas de Água		
		80			48,5; 51 a 52; 58; 70; 72,7; 79 a 81; 83,6 a 85; 91; 93 a 94; 105 a 105,5; 111 a 111,5; 113 a 114; 119 a 121; 124; 126 a 127; 130.	
		85		Nível Estático		
103 a 140	Calcários e filitos calcíferos maciços com intercalação de nível de rocha alterada relacionada à entrada d'água (= 130m).	90	11,13 m			
		95		Nível Dinâmico		
		100	29,28 m			
		105		Rebaixamento		
		110	18,15 m			
		115		Vazão		
		120	151,6 m ³ /h			
		125		Observações		
		130				
		135				
		140				
		145				
		150				
		155				
		160				