

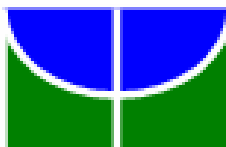
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**AVALIAÇÃO QUÍMICA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS  
FREÁTICAS EM ÁREAS DE INTERFERÊNCIA DA USINA  
HIDRELÉTRICA DE PEIXE ANGICAL/TO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO N° 242**

**ROSELI DOS SANTOS SOUZA**

**BRASÍLIA - 2008**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**AVALIAÇÃO QUÍMICA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS  
FREÁTICAS EM ÁREAS DE INTERFERÊNCIA DA USINA  
HIDRELÉTRICA DE PEIXE ANGICAL/TO**

**ROSELI DOS SANTOS SOUZA**

**Orientador**

Prof. Dr. José Eloi Guimarães Campos

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. José Eloi Guimarães Campos  
Instituto de Geociências/Universidade de Brasília

Prof. Dr. Geraldo Resende Boaventura  
Instituto de Geociências/Universidade de Brasília

Prof. Dr. Gérson Cardoso da Silva Júnior  
Instituto de Geociências/Universidade Federal do Rio de Janeiro

## **DEDICATÓRIA**

Dedico à memória de meus pais Antonio Luiz de Souza e Marlene dos Santos Souza, e de minha avó, Maria Francisca dos Santos Melo, aos quais agradecer seria muito pouco.

E aos meus sobrinhos: Felipe, Carolina, Guilherme e Mariana.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado a oportunidade de concretizar este sonho. Muito Obrigada!

A realização desta pesquisa foi possível graças ao apoio de pessoas e instituições, aos quais deixo registrado meu agradecimento:

Ao professor Dr. José Eloi Guimarães Campos pelas orientações técnicas, sem as quais não seria possível a realização deste trabalho. Agradeço também pela amizade, paciência e confiança que em mim depositou, permitindo a realização de mais uma etapa na minha formação acadêmica.

Ao Professor Dr. Geraldo Resende Boaventura, pela orientação inicial contribuindo para o aperfeiçoamento do trabalho e, por viabilizar as análises no Laboratório de Geoquímica.

À Universidade de Brasília e ao Programa de Pós Graduação do Instituto de Geociências pela oportunidade de desenvolvimento desse trabalho.

À Empresa EnerPeixe, pelo monitoramento realizado no reservatório de Peixe Angical, por meio do qual foram obtidos os dados para elaboração dessa dissertação.

À Empresa Água & Terra, na pessoa do Geólogo Alexandre Matos Seidel, responsável pela elaboração do Programa de Monitoramento hidrogeológico, por permitir a utilização da logística de campo.

À Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano do Ministério do Meio Ambiente – SRHU/MMA, por meio do Gerente Luiz Augusto Bronzatto, que autorizou algumas das minhas ausências durante a execução desse trabalho.

Ao Engenheiro Agrônomo, Julio Henrichs de Azevedo, pela amizade, companheirismo, incentivos constantes, disponibilidade e paciência em todos os momentos, pelo valioso auxílio nas análises estatísticas e pelas discussões sobre gestão de recursos hídricos.

À Geógrafa Jaciara Aparecida Rezende, pela amizade e auxílio na elaboração dos mapas.

Aos servidores do Instituto de Geociências, em especial aos técnicos do Laboratório de Geoquímica, Antonio Fortes e Fernando Souza Cavalcante pelo auxílio prestado durante as análises, e ao Renato Willian Pereira ainda por colaborar na etapa de campo.

Aos membros da banca pela presença e por disporem de seu tempo na leitura deste trabalho.

À minha família em Resende/RJ, a qual mesmo distante sempre se faz presente.

Ao meu irmão Roberto dos Santos Souza, que me abriu o caminho nunca antes pensado, e pela incisiva pergunta: terminou?

À Família Silva, pela amizade e acolhimento, e em especial à Dona Guiomar Bezerra Silva pelo carinho materno, e à minha cunhada Fátima Lúcia da Silva pelo apoio em todos os momentos.

A todos os amigos que, por meio de simples palavras, me incentivaram a continuar, e a todas as pessoas e instituições que de alguma forma contribuíram para a finalização dessa Dissertação.

# SUMÁRIO

RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	ix
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVO .....	3
1.3 JUSTIFICATIVA .....	3
1.4 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS.....	3
1.5 BASES TEÓRICAS E CONCEITUAIS .....	5
1.5.1 Aproveitamentos Hidrelétricos e os Impactos Associados.....	9
1.6 MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
1.6.1 Etapa de Campo.....	12
1.6.2 Amostragem e Análises <i>in situ</i> .....	13
1.6.3 Poços de Amostragem .....	15
CAPÍTULO II.....	19
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	19
2.1 GEOLOGIA .....	19
2.1.1 Geologia Regional .....	19
2.1.2 Geologia Local .....	19
2.2 GEOMORFOLOGIA .....	22
2.3 PEDOLOGIA .....	24
2.4 VEGETAÇÃO.....	26
2.5 ASPECTOS CLIMÁTICOS.....	26
2.6 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS.....	28
2.7 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS .....	29
2.8 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS .....	30
2.8.1. Caracterização dos Sistemas Aquíferos na Área de Estudo .....	32
2.8.2 Variações dos Níveis Freáticos.....	36
CAPÍTULO III .....	37
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	37
3.2 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS .....	37
3.2.1 Poços de Monitoramento na Vila do Retiro .....	38
3.2.2 Poços de Monitoramento em São Salvador do Tocantins .....	40
3.2.3 Poços de Monitoramento em Paranã .....	42
3.3 AVALIAÇÃO DE VARIAÇÕES SAZONAIS E RELAÇÕES ENTRE ELEVAÇÃO DO NÍVEL FREÁTICO E MUDANÇA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	44
3.3.1 – Evolução química ao longo das quatro campanhas de amostragem.....	45
3.3.2 Considerações Gerais .....	59
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	60
CAPÍTULO IV .....	73
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	73
CAPÍTULO V .....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77
ANEXOS.....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Localização das áreas estudadas, situação com a formação do lago.	04
Figura 1.2 - Condições de rede de fluxo em lagos.	07
Figura 1.3 - Elevação do nível d'água subterrânea devido à formação de um lago artificial.	07
Figura 1.4 - Divisão de queda com a situação dos diversos aproveitamentos hidrelétricos do Alto Tocantins.	09
Figura 1.5 - Equipamento portátil utilizado durante as medições <i>in situ</i> nas quatro campanhas de amostragem.	14
Figura 1.6 - Mapa imagem de São Salvador do Tocantins com 11 poços de monitoramento e a distribuição dos materiais em superfície.	16
Figura 1.7 - Mapa imagem da Vila do Retiro com 9 poços de monitoramento e a distribuição dos materiais em superfície.	17
Figura 1.8 - Mapa imagem de Paranã com 13 poços de monitoramento e a distribuição dos materiais em superfície.	18
Figura 2.1 - Distribuição das rochas presentes nas áreas do estudo.	20
Figura 2.2 - Normais climatológicas mostrando a distribuição da precipitação entre os anos de 2004 e 2007 para Estação da cidade de Peixe – TO.	27
Figura 2.3 - Distribuição espacial dos sistemas aquíferos caracterizados na área de estudo.	33
Figura 2.4 - Exemplo de perfil construtivo e litológico de poço de monitoramento instalado na Vila do Retiro.	34
Figura 2.5 - Exemplo de perfil construtivo e litológico de poço de monitoramento instalado na cidade de São Salvador do Tocantins.	35
Figura 2.6 - Exemplo de perfil construtivo e litológico de poço de monitoramento instalado na área urbana de Paranã.	35
Figura 3.1 - Diagrama de Piper com a representação das 4 campanhas na Vila do Retiro.	39
Figura 3.2 - Diagrama de Piper com a representação das 4 campanhas em São Salvador.	41
Figura 3.3 - Diagrama de Piper com a representação das 4 campanhas em Paranã.	43
Figura 3.4 - Variação de pH na Vila do Retiro e intervalo recomendado pela Portaria MS 518.	46
Figura 3.5 - Variação de pH em São salvador e intervalo recomendado pela Portaria MS 518/2004.	46
Figura 3.6 - Variação de pH em Paranã e intervalo recomendado pela Portaria MS 518.	46
Figura 3.7 - Concentração de Amônia ( $\text{NH}_3^-$ mg/L) nas três áreas de estudo.	49
Figura 3.8 - Concentração de Nitrato ( $\text{NO}_3$ mg/L) nas três áreas de estudo.	49
Figura 3.9 - Comparação das concentrações do sódio nas quatro campanhas de amostragem na Vila do Retiro.	51
Figura 3.10 - Comparação das concentrações do sódio nas quatro campanhas de amostragem na cidade de São Salvador de Tocantins	51
Figura 3.11 - Comparação das concentrações do sódio nas quatro campanhas de amostragem na cidade de Paranã.	51

Figura 3.12 - Comparação das concentrações do potássio nas quatro campanhas de amostragem na Vila do Retiro.	52
Figura 3.13 - Comparação das concentrações do potássio nas quatro campanhas de amostragem na Cidade de São Salvador do Tocantins.	52
Figura 3.14 - Comparação das concentrações do potássio nas quatro campanhas de amostragem na Cidade de Paranã.	53
Figura 3.15 - Comparação das concentrações do cálcio nas quatro campanhas de amostragem na Vila do Retiro.	54
Figura 3.16 - Comparação das concentrações do cálcio nas quatro campanhas de amostragem na Cidade de São Salvador do Tocantins.	54
Figura 3.17 - Comparação das concentrações do cálcio nas quatro campanhas de amostragem na Cidade de Paranã.	54
Figura 3.18 - Comparação das concentrações do magnésio nas quatro campanhas de amostragem na Vila do Retiro.	55
Figura 3.19 - Comparação das concentrações do magnésio nas quatro campanhas de amostragem na Cidade de São Salvador do Tocantins.	55
Figura 3.20 - Comparação das concentrações do magnésio nas quatro campanhas de amostragem na Cidade de Paranã.	56
Figura 3.21 - Comparação das concentrações do silício nas quatro campanhas de amostragem na Vila do Retiro.	56
Figura 3.22 - Comparação das concentrações do silício nas quatro campanhas de amostragem na cidade de São Salvador do Tocantins.	57
Figura 3.23 - Comparação das concentrações do silício nas quatro campanhas de amostragem na cidade de Paranã.	57
Figura 3.24 - Comparação das concentrações de dureza total nas quatro campanhas de amostragem na Vila do Retiro.	58
Figura 3.25 - Comparação das concentrações de dureza total nas quatro campanhas de amostragem na cidade de São Salvador do Tocantins.	58
Figura 3.26 - Comparação das concentrações de dureza total nas quatro campanhas de amostragem na cidade de Paranã.	59
Figura 3.27 - Distribuição dos resultados de sódio na Vila do Retiro.	63
Figura 3.28 - Distribuição dos resultados de sódio em São Salvador do Tocantins.	63
Figura 3.29 - Distribuição dos resultados de sódio em Paranã.	63
Figura 3.30 - Distribuição dos teores de potássio na Vila do Retiro.	64
Figura 3.31 - Distribuição dos teores de potássio em São Salvador do Tocantins.	64
Figura 3.32 - Distribuição dos teores de potássio em Paranã.	64
Figura 3.33 - Distribuição dos teores de dureza na Vila do Retiro.	65
Figura 3.34 - Distribuição dos teores de dureza em São Salvador do Tocantins.	65
Figura 3.35 - Distribuição dos teores de dureza em Paranã	65
Figura 3.36 - Distribuição dos teores de cálcio na Vila do Retiro.	66
Figura 3.37 - Distribuição dos teores de cálcio em São Salvador do Tocantins.	66
Figura 3.38 - Distribuição dos Teores de cálcio em Paranã.	66
Figura 3.39 - Distribuição dos teores de magnésio na Vila do Retiro.	67
Figura 3.40 - Distribuição dos teores de magnésio em São Salvador do Tocantins.	67
Figura 3.41 - Distribuição dos teores de magnésio em Paranã.	67
Figura 3.42 - Distribuição do pH Vila do Retiro.	68
Figura 3.43 - Distribuição do pH em São Salvador do Tocantins.	68
Figura 3.44 - Distribuição do pH em Paranã.	69

Figura 3.45 - Distribuição dos teores de Amônia Vila do Retiro.	69
Figura 3.46 - Distribuição dos teores de Amônia em São Salvador do Tocantins.	70
Figura 3.47 - Distribuição dos teores de Amônia em Paranã.	70
Figura 3.48 – Distribuição dos teores de sulfato na Vila do Retiro.	71
Figura 3.49 – Distribuição dos teores de sulfato em São Salvador do Tocantins.	71
Figura 3.50 - Distribuição dos teores de sulfato em Paranã.	71

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 - Classificação dos problemas de qualidade identificados nas águas subterrâneas.	8
Tabela 1.2 - Atividades de campo.	13
Tabela 1.3 - Síntese da metodologia analítica aplicada nas várias etapas de análises de amostras de águas freáticas.	15
Tabela 2.1 - Descrição das classes e associações de solos mais comumente observadas na área do estudo.	24
Tabela 2.2 - Estatísticas de dados sociais e econômicos para os municípios de Paranã e São Salvador do Tocantins.	28
Tabela 2.3 - Variação de profundidade, em metros, dos níveis d'água no período chuvoso, antes e após a formação do reservatório.	36
Tabela 3.1 - Valores de média, máximo e mínimo para o pH nos quatro períodos de amostragens.	45
Tabela 3.2 - Valores de Fe, Mn e Ba, cor e turbidez em relação à Portaria MS 518.	53
Tabela 3.3 - Distribuição de parâmetros estatísticos de resultados selecionados de análises químicas.	61

## ÍNDICE DO ANEXO

Tabela 1. Dados de parâmetros físico-químicos nas quatro campanhas e para as três regiões do estudo.	82
Tabela 2. Linha analítica e limite de detecção dos elementos determinados no ICP/AES	83
Figura 1. Mapa de Localização dos poços de amostragem.	83
Foto 1. UHE Peixe Angical após formação do Lago.	84
Foto 2. Ensaio de infiltração – Etapa pré campanhas de amostragem.	84
Foto 3. Etapa de Campo, amostragem nos poços de monitoramento.	85
Foto 4. Análise dos parâmetros físico-químicos <i>in situ</i> e no laboratório de campo.	85
Foto 5. Análise de parâmetros no Laboratório de Geoquímica/UnB.	85



## RESUMO

O estudo objetivou avaliar a composição química das águas subterrâneas freáticas nas áreas de remanso do lago artificial da Usina Hidrelétrica de Peixe Angical, situado no sul do Estado do Tocantins. As análises buscaram avaliar eventuais modificações da composição das águas em função da elevação dos níveis freáticos e eventuais mudanças sazonais das características físico-químicas das águas subterrâneas rasas, além de possíveis desvios de padrões de potabilidade. Para alcançar as metas foram selecionados 32 poços de monitoramento distribuídos nas áreas urbanas das cidades de São Salvador do Tocantins e Paranã e na Vila do Retiro. A amostragem foi realizada em quatro campanhas, distribuídas no período seco e chuvoso, antes e depois da formação do lago. Os resultados obtidos das análises físico-químicas permitiram classificar as águas como bicarbonatadas cálcicas para maioria das amostras. Valores anômalos de nitrato e amônio, bem como cloreto e sódio em alguns pontos alertam para interferências antrópicas responsáveis pela modificação da composição química natural das águas, independentemente da implantação do reservatório. As variações composicionais em virtude da sazonalidade não são persistentes para todos os elementos e substâncias estudadas, mas são particularmente evidentes na análise de sódio, potássio e cálcio. O reservatório não provocou impactos significativos na qualidade de água como um todo. Porém, para se avaliar alterações específicas em cada parâmetro, é necessária a continuidade das investigações e do monitoramento, bem como o redirecionamento das pesquisas levando em consideração as características hidrogeológicas que cada sítio amostral (poço) representa. É importante salientar que a precariedade dos sistemas de abastecimento e de tratamento de efluentes na região representa os principais agentes contaminantes.

## ABSTRACT

The aim of the present study was the evaluation of chemical composition of shallow groundwater in the vicinity of the artificial lake of the Peixe Angical Hydroelectric Plant, situated in the south region of the Tocantins State, Brazil. The analysis focused on possible modification of water composition due to the elevation of the water table; possible modification on the physical-chemical characteristics due to climatic seasonality, and the groundwater quality as potable source for public supply. 32 monitoring wells were selected in the urban areas of Paranã, São Salvador do Tocantins and Vila do Retiro towns. Four sampling campaigns were carried on in different periods on wet and dry seasons, before and after the lake formation. The results of the chemical analyses show that the majority of the waters are classified as calcic bicarbonated in all sampling. High anomalous concentration of nitrate and ammonium, as well as chloride and sodium in many points indicate human interferences responsible for the modification of the natural water composition, despite of the artificial lake development. Compositional modifications due to the climatic seasonality are not persistent to all elements and substances analyzed, but are particularly evident to the sodium, potassium and calcium. The rising of the water table did result in important water composition modification. However, to evaluate specific modification patterns in each parameter, it is necessary the continuity of the investigations and monitoring, as well as the redirection of the research, considering the hydrogeologic characteristics of each monitoring well. It is important to remark that the low level of sanitation and deficiencies of water supply systems in the region represent the main polluting agents.

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

### 1.1 APRESENTAÇÃO

Com o atual estágio de desenvolvimento alcançado pela sociedade, tem-se observado uma intensa deterioração da qualidade dos recursos hídricos. Embora a água seja considerada um bem renovável por meio do ciclo hidrológico, constata-se a ocorrência de interferências que comprometem, em qualidade e quantidade, a fração passível de ser utilizada.

No Brasil, captar e distribuir água potável à maioria da população, ainda é um grande desafio. Muitas regiões sofrem com a falta de água provocada por estiagens frequentes, que impossibilitam a manutenção, em quantidade satisfatória, da água nos cursos hídricos locais. Em outro extremo, em regiões que possuem abundância hídrica, a pouca disponibilidade de recursos financeiros e, às vezes, de uma adequada política de gestão de recursos hídricos, refletem na carência de infra-estrutura de captação, adução, tratamento e distribuição de água potável.

Devido a uma série de fatores que restringe a utilização das águas superficiais, a água subterrânea assume importância cada vez mais relevante como fonte de abastecimento, principalmente, em algumas regiões de clima semi-árido (região nordeste) ou em regiões onde a elevada turbidez dos mananciais superficiais encarece o custo de tratamento (região norte).

Além da disponibilidade dos recursos hídricos superficiais e da infra-estrutura de abastecimento, existem outros fatores que impulsionam a utilização cada vez mais freqüente dos recursos hídricos subterrâneos. Segundo Leal (1999), a maior oferta de energia elétrica e a poluição dos recursos hídricos superficiais resultaram no aumento do uso das águas subterrâneas. Além disso, as condições climáticas e geológicas brasileiras propiciaram a formação de aquíferos, de extensão regional, com potencial para suprir água em quantidade e qualidade necessárias aos diversos usos.

No entanto, o crescimento acelerado na utilização desse recurso é acompanhado de problemas decorrentes da má utilização dos aquíferos nas diferentes partes do mundo. A crescente demanda e a diminuição da disponibilidade devido à contaminação da água por efluentes domésticos, industriais e provenientes da drenagem urbana, têm gerado uma grande pressão sobre as águas subsuperficiais. Os efeitos da implantação de usinas hidrelétricas, independentemente se benéficos ou maléficis, também não podem ser desconsiderados.

O Brasil optou pela hidroeletricidade em detrimento das outras formas de geração de energia. Por isso, a partir da década de 1970, houve expressivo avanço na construção de

barragens para geração de energia elétrica, dentro da idéia de aproveitar o potencial hidrelétrico, oferecido pelos grandes e médios rios do centro-sul do país (Tietê, Paraná, São Francisco, Tocantins, Grande, Doce, Paraíba do Sul, entre outros).

O aumento da demanda energética por parte dos setores doméstico, industrial e agrícola, estimulou ainda mais esse aproveitamento. Atualmente, as usinas hidroelétricas dão sustentação ao desenvolvimento nacional e ao parque industrial brasileiro, respondendo, nos últimos anos, por quase 84% do total de energia elétrica gerada, elevando a importância do potencial hidrelétrico na matriz energética do País, MME (2007).

No entanto, se por um lado a energia hidrelétrica possibilitou o desenvolvimento econômico, por outro tem suscitado muitas polêmicas, principalmente com relação aos impactos socioambientais causados.

A literatura sobre estudos de impactos ambientais associados a usinas hidrelétricas (Coates, 1982; Goudie, 1996, entre outros) enumera várias interferências ao ambiente. No caso específico dos recursos hídricos subterrâneos se destaca a elevação do nível de base local e alterações nas características físico-químicas e biológicas da água de aquíferos que apresentam maior contato com a água do lago formado.

De acordo com Tundisi (1987), o entendimento de impactos causados por grandes ou pequenas represas, requer o conhecimento prévio das condições originais dos sistemas terrestre e aquático, da diversidade, e mecanismo de funcionamento da flora e fauna, da hidrogeoquímica e flutuações sazonais.

As interferências ao ambiente estão entre os problemas mais sérios de países desenvolvidos e em desenvolvimento. Dentre os desafios a serem enfrentados, destacam-se os ajustes das atividades econômicas baseados no uso sustentável dos recursos, e também uma alteração de estilo de vida da população, tanto quanto possível para minimizar os impactos ambientais, visando o adequado uso e a conservação dos recursos naturais.

Os problemas qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos não podem ser vistos como fatos isolados, pois se inserem nas questões mais amplas de meio ambiente. Sendo assim, a Política Nacional de Recursos Hídricos deve ser integrada com a Política Nacional de Meio Ambiente. A eficiência dessas políticas depende da implementação, de forma articulada, dos instrumentos previstos na legislação, assegurando, em particular, o planejamento e regulação dos usos dos recursos hídricos, o uso múltiplo, o monitoramento da qualidade, bem como as medidas de controle e de mitigação ambiental.

Assim, o diagnóstico dos fatores que afetam a qualidade da água e a previsão dos impactos potenciais sobre esse recurso natural, decorrentes de determinados eventos ou

condições específicas, são de fundamental importância para subsidiar uma gestão dos recursos hídricos, efetivamente integrada com a gestão dos demais recursos naturais.

## **1.2 OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento físico-químico das águas freáticas rasas nas áreas de influência da Usina Hidrelétrica Peixe Angical, região de Paranã, São Salvador do Tocantins e Vila do Retiro, em função da elevação no nível do lençol freático provocada pelo enchimento do reservatório. Objetiva, ainda, verificar a interferência da sazonalidade climática nas possíveis variações de qualidade da água.

Desta forma, a dissertação se insere no caso específico de um estudo hidrogeológico focado na evolução hidroquímica das águas subterrâneas rasas a partir dos pontos onde houve monitoramento. Contudo, sem deixar de considerar as características ambientais da região provocadas por outros usos e formas de ocupação.

## **1.3 JUSTIFICATIVA**

Embora existam trabalhos a respeito das interferências de reservatórios artificiais na qualidade dos recursos hídricos, poucos são aqueles que se dedicam às águas subterrâneas. Neste contexto, justifica-se estudar as influências antrópicas nas características da água e identificar como a qualidade da água dos aquíferos marginais está sendo afetada ou não pela presença da nova condição ambiental imposta pelo lago artificial.

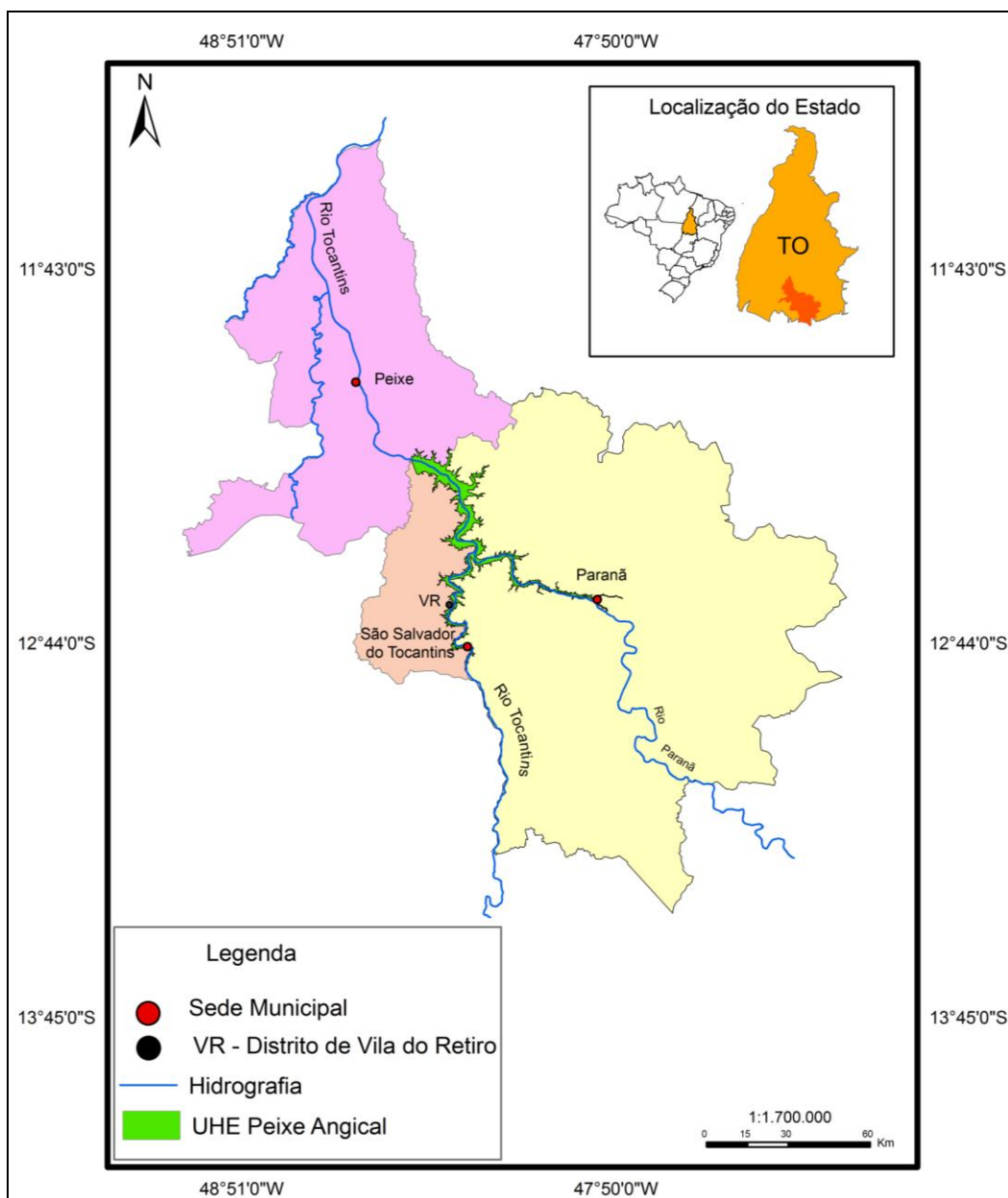
Salienta-se, ainda, que se trata de um tema pouco pesquisado, cujos resultados são demandados tanto por pesquisadores acadêmicos, como por tomadores de decisão municipais, organizações não governamentais e por órgãos de licenciamento ambiental.

## **1.4 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS**

Os locais de estudo situam-se ao sul do Estado de Tocantins e correspondem as sedes dos Municípios de Paranã e São Salvador do Tocantins, além da poligonal urbana da Vila do Retiro, todos situados às margens do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Peixe Angical (Figura 1.1).

A cidade de Paranã localiza-se às coordenadas 12°36'55" de latitude sul e 47°52'59" de longitude oeste, com cota média de 274 metros, possuindo uma área de 12.160 km<sup>2</sup>. São Salvador do Tocantins situa-se na latitude 12°44'37" sul e longitude 48°14'08" oeste, estando a uma altitude média de 280 metros, possuindo uma área de 1.427 km<sup>2</sup>. A Vila do Retiro é um distrito de São Salvador do Tocantins, localizada 30 km ao norte da sede municipal. O acesso a

essas localidades é feito pelas rodovias BR-020, GO-118 e TO-296 e aos pontos de amostragem utilizam-se vias internas das respectivas cidades.



**Figura 1.1** - Localização das áreas estudadas, situação com a formação do lago.

Do ponto de vista hidrográfico, a área estudada situa-se na Bacia do Rio Tocantins, inserida na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. Trata-se da segunda região em termos de disponibilidade hídrica, apresentado  $13.624 \text{ m}^3/\text{s}$  de vazão média (Q), equivalente a 9,6 % do total do País, MMA/SRH (2006). De acordo com a classificação do curso do Rio Tocantins em alto, médio e baixo, o estudo se insere no Alto Tocantins, mais precisamente na sub-bacia 21 (código da ANEEL) e tem como principal tributário o rio Paranã e seu afluente, o rio da Palma.

A Usina Hidrelétrica de Peixe Angical é um empreendimento para geração de energia elétrica, construída no rio Tocantins, nas coordenadas 12°14'S e 48°22'W. Apresenta regime de operação a fio d'água, com potência instalada de 452 MW, possui área total no nível máximo de 294,1 km<sup>2</sup> e extensão de 110 km.

A formação do reservatório inundou uma área de 318,4 Km<sup>2</sup>, na qual 58,47% no município de Paranã, 33,83% em São Salvador do Tocantins e 7,68% no município de Peixe.

## 1.5 BASES TEÓRICAS E CONCEITUAIS

Ao longo dos anos os recursos hídricos subterrâneos têm ganhado projeção como alternativa atraente de abastecimento para empreendimentos públicos e privados, pois apresentam baixo custo de tratamento e distribuição sendo naturalmente protegidas de variações sazonais bruscas. Fernandes & Garrido (2002) salientam que de toda a água potável utilizada pelo homem, menos de 3% provém da superfície, o restante, mais de 97%, é proveniente de mananciais subterrâneos. Desta forma, as águas subterrâneas constituem importante fonte de abastecimento de água em todo mundo.

A água natural não é constituída apenas pela molécula H<sub>2</sub>O. Todas as águas que ocorrem na natureza contêm substâncias dissolvidas e em suspensão. Por ser um solvente quimicamente muito ativo é capaz de reagir com o meio percolado incorporando substâncias orgânicas e inorgânicas. No caso das águas subterrâneas as substâncias dissolvidas são, em sua maioria, na forma iônica (Santos 1997).

Considerando apenas os processos naturais, os principais constituintes presentes nas águas resultam do intemperismo das rochas. O intemperismo é um processo dominado pelas modificações físicas e químicas, que surgem em resposta às necessidades de equilíbrio nas condições do ambiente superficial. De acordo com Licht (1998), o processo se inicia com a progressiva desintegração e decomposição do material rochoso *in situ*. Segundo Faust & Aly (1981), o intemperismo químico envolve alteração mineral por meio de reações de hidratação/hidrólise, dissolução, precipitação, oxi-redução e complexação. Neste processo são formados minerais secundários (de alteração) e liberados íons solúveis que são incorporados ao ambiente aquático. A atividade biológica contribui direta ou indiretamente para o intemperismo físico e químico.

Em águas subterrâneas, os solutos e suas concentrações são decorrentes dos tipos petrográficos que compõem os aquíferos, do tipo de alteração mineral, da composição da água de recarga, da taxa de recarga do aquífero e do sistema hidrogeológico de fluxo a que o sistema é submetido. Por sua vez, as reações químicas de alteração mineral dependem do tempo de

contato água/rocha, temperatura, do CO<sub>2</sub> disponível e da presença de ácidos inorgânicos e orgânicos.

Segundo Santos (1997), ao lixiviar os solos e as rochas, a água subterrânea enriquece-se em sais minerais em solução, provenientes da dissolução de seus principais minerais. Estas reações são favorecidas pelas baixas velocidades de circulação das águas subterrâneas, maiores pressões e temperaturas a que estão submetidos e facilidade de dissolver CO<sub>2</sub> ao percolar o solo não saturado.

Drever (1997) afirma que a composição física e química das águas subterrâneas refletirá a mobilidade e solubilidade dos elementos envolvidos no processo de intemperismo. Os cátions Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> são móveis e tendem a ser liberados facilmente por intemperismo; K<sup>+</sup> é intermediário; Al<sup>3+</sup> e Fe<sup>3+</sup> apresentam menor mobilidade e tendem a permanecer no solo. Desta forma, os plagioclásios podem constituir fontes de Na<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup> para o ambiente aquático, enquanto que biotita e feldspato potássico podem ser fontes de Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>.

Na formação dos sedimentos clásticos, a exemplo de areias e cascalhos, há uma absorção de água que vai sendo expulsa lentamente durante os processos de compactação e litificação. Estas águas podem ter uma grande quantidade de sais, podendo apresentar um conteúdo elevado de Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e sílica, em especial se a argila é de origem marinha (Santos 1997).

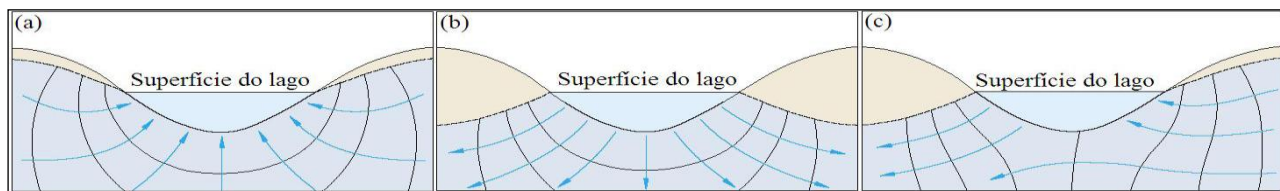
Por outro lado, os sedimentos químicos, representados principalmente por calcários e dolomitos, são rochas muito solúveis na presença de água com elevado teor de CO<sub>2</sub>, que comporão águas subterrâneas ricas em íons HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>.

O clima também contribui para a presença de constituintes dissolvidos nas águas subterrâneas. As águas pluviométricas podem promover a concentração ou a diluição dos constituintes iônicos das águas subterrâneas. Além disso, as águas meteóricas podem ser importantes fontes de espécies químicas dissolvidas tais como Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e Na<sup>+</sup>.

Em síntese pode-se dizer que a composição natural das águas superficiais e subterrâneas é controlada por inúmeros processos naturais, os quais incluem: geológicos e pedológicos (espécies minerais, tipos de solos); químicos (solubilidade dos minerais); geomorfológicos (variações de relevo), climáticos (temperatura, precipitação, evaporação), e biológicos (cobertura vegetal, presença de organismos).

No entanto, a depender das características fisiográficas e climáticas de uma região, as águas subterrâneas podem influenciar e/ou serem influenciadas por praticamente todos os tipos de corpos hídricos superficiais. Três relações podem ser estabelecidas entre os aquíferos e os rios, lagos e banhados (Figura 1.2). Condição de efluência, na qual as águas subterrâneas escoam na direção do corpo d'água superficial; condição de influência, em que as águas

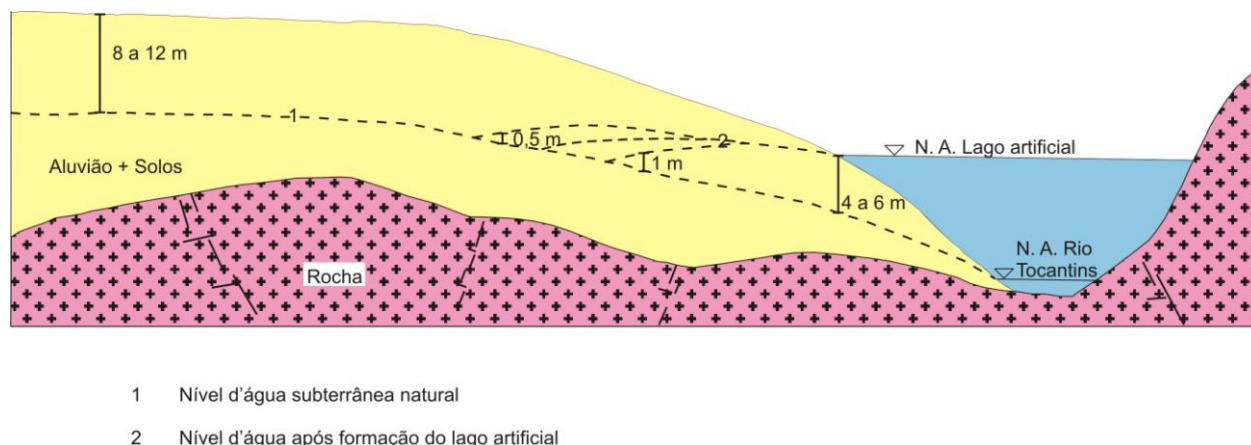
superficiais contribuem para o fluxo subterrâneo e condição de efluente/influente, os rios contribuem ou recebem água subterrânea durante épocas específicas do ano, ou mesmo em uma posição ou outra do mesmo curso superficial.



**Figura 1.2** - Condições de rede de fluxo em lagos.

Fonte: Winter *et al.* 1998, in Silva 2007.

Na figura 1.3 é apresentada a situação observada na área de estudo. Em um primeiro momento a interferência no nível do lençol se deve apenas a influência do rio. Com a formação do lago a elevação será maior, no entanto, à medida que se afasta das margens do lago o efeito diminui até não ser mais observado.



- 1 Nível d'água subterrânea natural
- 2 Nível d'água após formação do lago artificial

**Figura 1.3** - Elevação do nível d'água subterrânea devido à formação de um lago artificial.

Fonte: Campos & Seidel (2005).

A discussão anterior sobre a qualidade das águas subterrâneas se refere às condições naturais. No entanto, a maioria dos problemas com a qualidade das águas subterrâneas, da mesma forma como ocorre com as águas de superfície, são de origem antrópica. A disposição inadequada de resíduos domésticos, industriais, de mineração, a utilização de pesticidas e fertilizantes, constitui as principais fontes de degradação da qualidade da água subterrânea.

Dentre as diversas atividades humanas que podem gerar cargas contaminantes às águas subterrâneas, as originadas pelos sistemas de saneamento *in situ* são as que merecem maior atenção. A proximidade fossa-poço é responsável pela má qualidade de muitas fontes de abastecimento. Estudo realizado por Bertolo *et al.*, (2007), identificou a influência humana como fator de mudança da composição química original da água mineral analisada.



O Brasil não possui uma rede de monitoramento nacional de qualidade das águas e as existentes concentram-se em fornecer informações sobre as águas superficiais. Dessa forma, há uma deficiência séria no conhecimento do potencial hídrico dos aquíferos, seu estágio de exploração e a qualidade das suas águas. Os estudos regionais são poucos e encontram-se defasados e, no que se referem à qualidade da água subterrânea publicados mais recentemente têm caráter mais localizado, em especial nos grandes centros urbanos onde a demanda é alta, ANA (2007c).

É senso comum dizer que a água subterrânea apresenta boa qualidade natural ao consumo humano, uma vez que se encontra protegida dos agentes de contaminação que degradam os rios. Essa característica em geral é fornecida pelo clima, geologia, geomorfologia, solo, declividade e cobertura vegetal. No entanto, a interferência do homem como a geração de esgotos, atividades industriais e atividades agrícolas, contribui para introduzir substâncias que alteram as características naturais do ambiente aquático, Von Sperling (2005).

Do ponto de vista da hidroquímica natural, pode-se dizer que no domínio das rochas cristalinas, com espesso manto de alteração e exuberante cobertura vegetal, os elementos químicos restritivos de potabilidade natural da água subterrânea são ferro e manganês. Os tipos de materiais existentes (solos, aluviões, saprolito e rocha) são de fundamental importância, pois em última análise controlam a composição química natural da água contida nos aquíferos.

A Tabela 1.1 sintetiza essas informações e apresenta as principais fontes de concentrações anômalas às águas subterrâneas.

**Tabela 1.1** - Principais problemas de qualidade identificados nas águas subterrâneas.

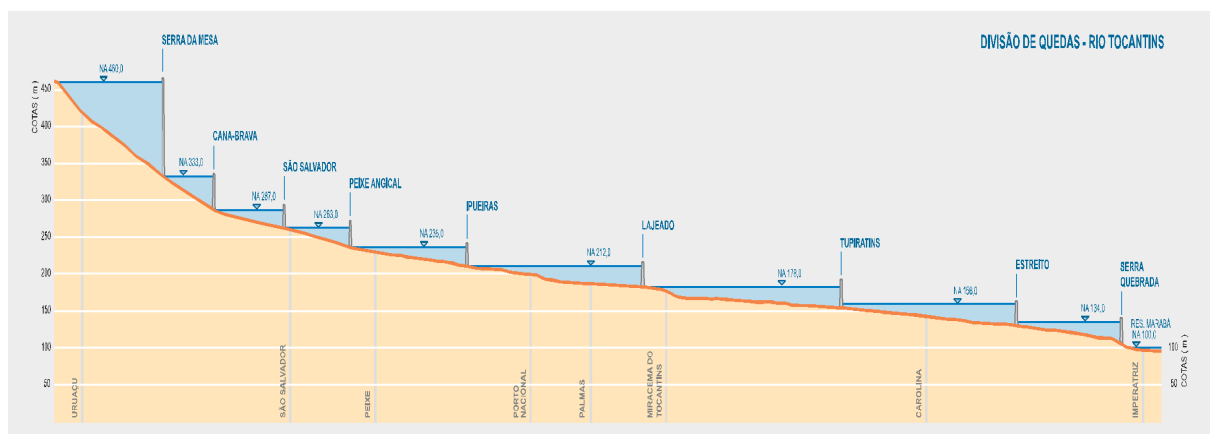
<b>Problema</b>	<b>Causas</b>	<b>Principais Contaminantes</b>
Contaminação natural	Relacionada à evolução química natural (ou induzida por contaminação antrópica ou abstração excessiva) das águas subterrâneas e a dissolução de minerais	Ferro e flúor solúvel, algumas vezes magnésio, sulfatos, arsênio, manganês, selênio e outros elementos inorgânicos.
Contaminação de aquíferos	Proteção inadequada de aquíferos vulneráveis contra descargas e efluentes de origem antrópica oriundos de fontes urbanas, atividades industriais e de atividades agrícolas intensivas	Patógenos, nitratos e amônio, cloretos, sulfatos, boro, arsênio, metais pesados, carbono orgânico dissolvido, hidrocarbonetos aromáticos e halogênicos, certos tipos de pesticidas.
Contaminação de poço	Desenho e construção inadequada permitindo ingresso de águas superficiais ou subsuperficiais contaminadas	Basicamente patógenos.

**Fonte:** Kirchheim (2008).

### 1.5.1 Aproveitamentos Hidrelétricos e os Impactos Associados

O Brasil possui um sistema elétrico de grande porte baseado na utilização de energia hidráulica. A priorização por usinas hidrelétricas deve-se, primordialmente, ao vasto potencial hidrelétrico existente no país e à competitividade econômica que esta fonte apresenta. Além de tratar-se de uma fonte abundante, limpa e renovável, a utilização da alternativa hidrelétrica é uma tecnologia amplamente dominada pelo Brasil, servindo inclusive de referência para outros países ANA (2007b).

O rio Tocantins possui dois grandes reservatórios; o de Tucuruí, com 2.430 km<sup>2</sup>, localizado no baixo Tocantins; e Serra da Mesa, quinto em área inundada, com 1.784 km<sup>2</sup>, mas o maior em volume de água, com 54,4 km<sup>3</sup>, correspondente a três vezes a baía de Guanabara. Destaca-se, ainda, as usinas Cana Brava, Peixe Angical e Luis Eduardo Magalhães (Lajeado), localizadas no alto Tocantins, conforme se verifica na divisão de queda do rio Tocantins (Figura 1.4).



**Figura 1.4** - Divisão de queda ilustrando os aproveitamentos hidrelétricos do rio Tocantins. Fonte: THEMAG (2004).

Segundo a Resolução nº 001/86 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), impacto significa "qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e V - a qualidade dos recursos ambientais". Juridicamente, o conceito de impacto ambiental refere-se exclusivamente aos efeitos da ação humana sobre o meio ambiente. Portanto, fenômenos naturais, tais como tempestades, enchentes, terremotos dentre outros, apesar de poderem provocar as alterações ressaltadas não caracterizam como impacto ambiental.

Dentre as várias definições para o termo encontrado na literatura, citam-se: “diferença entre a situação do meio futuro, modificado pela realização de um projeto, e a situação do meio ambiente futuro tal como teria evoluído sem o projeto” (Bolea 1984); “alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocadas por ação humana” (Sánchez 1998);” mudança em um parâmetro ambiental, em um determinado período e em uma determinada área, que resulta de uma dada atividade, comparada com a situação que ocorreria se essa atividade não tivesse sido iniciada” (Wathern 1988) e segundo a Norma ISO 14001, Impacto Ambiental é qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização.

O Estudo de Impacto Ambiental, previsto na legislação Ambiental, serve para identificar e analisar as alterações que deverá sofrer o meio ambiente com a construção e a operação da usina hidrelétrica, bem como para apresentar os projetos/programas propostos para mitigar e compensar os impactos. O resultado deve permitir aos órgãos ambientais julgar sobre o licenciamento ambiental do empreendimento.

Os impactos negativos sobre o meio físico são resultantes de ações antrópicas relacionadas principalmente pelas atividades de movimentação de solos/rochas e enchimento do reservatório, ambas na fase de implantação; bem como por atividade de controle do escoamento e oscilações do nível d’água superficial, na fase de manutenção e operação.

Considerando os estudos de impactos ambientais realizados para empreendimentos hidrelétricos são identificados, em média, 44 impactos (positivos e negativos). Destes, a metade encontra-se no meio natural (físico e biótico) e a outra no meio socioeconômico.

Tucci & Mendes (2006) apontam alguns impactos decorrentes da construção das obras hidráulicas e da formação da represa, os quais se podem destacar:

A montante

- Desapropriação e deslocamento de pessoas da área de inundação de lago;
- Redução da velocidade do escoamento, aumento da largura e formação do lago, deposição de sedimentos na entrada do lago e distribuição ao longo do reservatório assoreado;
- Estratificação térmica com a profundidade, e redução da qualidade da água com a profundidade resultante da inundação da matéria orgânica durante o enchimento e a retenção dos poluentes provenientes de montante;
- Com a redução da velocidade, aumento do tempo de residência e entrada de nutrientes, há tendência à eutrofização, com geração de gases e crescimento de algas que podem produzir toxinas;
- No fundo do lago acumula-se uma carga poluente que pode se misturar com a massa de

água, em função do efeito do vento ou de inundações, gerando forte demanda de oxigênio e impactando o sistema aquático.

#### A Jusante

- Variabilidade dos níveis em função da operação da barragem, principalmente em usinas de ponta que operam com a demanda, com grandes flutuações ao longo do dia. Esta variabilidade cria problemas para a navegação, tomadas de água, alterações no sub-solo pela constante flutuação do nível do lençol freático, ação dinâmica sobre as margens matas ciliares, alterando também a fauna e flora de jusante;
- Qualidade da água resultante da saída das turbinas ou vertedouros em função da cota de onde a água é retirada dos reservatórios. Nas camadas inferiores a água tem a tendência de ser anaeróbica (sem oxigênio) e com importante carga poluente;
- Aumento da erosão de jusante, já que a água que escoar tem poucos sedimentos, tendendo a ter mais energia erosiva.

No que se refere às interferências nos recursos hídricos subterrâneos Albuquerque Filho (2002), destaca a alteração e variação do nível freático; o aumento da espessura saturada do aquífero; diminuição dos gradientes hidráulicos subterrâneos; perda dos pontos de captação instalados; acréscimo da vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação. Com o aumento do nível d'água, o lençol freático fica mais vulnerável à contaminação por fontes de poluição como fossas, lixões, cemitérios e postos de gasolina, representando degradação na qualidade da água e riscos para as populações. Como ponto positivo o autor aponta a maior facilidade de acesso aos recursos subterrâneos; melhoria da umidade subsuperficial do solo; surgências d'água e formação de novas áreas úmidas e perenização de cursos d'água antes intermitentes.

Segundo Winter *et al.* (1998), dentre as obras hidráulicas, os reservatórios certamente são os maiores responsáveis por alterações no regime hidrológico entre os mananciais superficiais-subterrâneos. Devido ao aumento da carga hidráulica sobre a superfície do solo provocada pelo volume de água represado, a elevação permanente do nível freático nas proximidades dos barramentos a até distâncias consideráveis pode aumentar a recarga do aquífero em algumas áreas e diminuir em outras, afetando todo o sistema de recargas e descargas na bacia.

## **1.6 MATERIAIS E MÉTODOS**

Para alcançar o objetivo proposto utilizou-se da estrutura previamente instalada de 34 poços de monitoramento e selecionadas cisternas, além da realização de análises eventuais em poços tubulares de abastecimento e em pontos específicos dos cursos de drenagens superficiais.

O método utilizado para desenvolver o estudo baseou-se num conjunto de atividades, conforme apresentado a seguir.

1 - Caracterização dos aquíferos: etapa realizada a partir dos dados existentes de descrição dos perfis litológicos durante a instalação dos poços de monitoramento. Nessa fase do trabalho foram definidos os tipos de aquíferos, forma de circulação das águas subterrâneas, áreas de recarga e contribuição.

2 - Caracterização da altura máxima e mínima dos níveis d'água antes e após a formação do lago: Atividade desenvolvida com a avaliação dos dados de medidas de nível em cisternas e poços de monitoramento.

3 - Coleta e análise da terceira e quarta campanhas de amostragem (depois da formação do lago artificial): as amostras foram coletadas e analisadas utilizando-se os mesmos métodos aplicados nas duas primeiras etapas.

4 - De posse de todos os dados obtidos nas quatro fases de monitoramento e após tratamento estatístico específico, foi traçado o perfil da qualidade de água subterrânea nas adjacências do lago da UHE Peixe Angical. A composição da água e a classificação em tipos e subtipos foram explicadas com base no cruzamento de informações de geologia, pedologia, geomorfologia, clima, uso e ocupação do solo.

5 - Avaliação das eventuais variações sazonais e pós-formação do lago: nessa etapa foram discutidos os mecanismos que podem explicar as modificações, como: a diluição ou concentração de elementos e substâncias do período chuvoso para o período seco do ano, e eventuais modificações após a elevação dos níveis freáticos.

6 – Avaliação em função da presença do lago artificial. Pretendeu-se separar os efeitos da elevação do nível freático daqueles processos já existentes, os quais, em última análise, são responsáveis pela qualidade química das águas freáticas da região das cidades de São Salvador, Paranã e Vila do Retiro.

### **1.6.1 Etapa de Campo**

Visando ao reconhecimento da área de estudo e a realização das campanhas de amostragem das águas para o levantamento de dados hidroquímicos, as atividades de campo foram distribuídas segundo as condições apresentadas na Tabela 1.2.

**Tabela 1.2** - Atividades de campo.

<b>Período</b>	<b>Atividades</b>	<b>Situação do reservatório</b>
Julho a novembro de 2004	Reconhecimento Geológico e implantação dos piezômetros	Curso do rio natural, com praias e matas ciliares preservadas.
Janeiro 2005	1ª campanha	Pré-enchimento
Agosto 2005	2ª campanha	Pré-enchimento
Novembro 2006	3ª campanha	Pós-enchimento
Agosto de 2007	4ª campanha	Pós-enchimento

A primeira etapa de campo visou o reconhecimento geológico, levantamento das condições de uso do meio físico e a implantação da rede de amostragem composta pelos poços de observação. As campanhas de amostragem foram realizadas em diferentes estações climáticas visando contemplar a possível existência de variações sazonais na composição das águas e no período pré e pós-enchimento do lago de modo a se verificar alterações com a elevação do lençol freático.

A primeira campanha ocorreu em Janeiro de 2005, corresponde a um período em que a estação chuvosa está no seu máximo. A segunda amostragem ocorreu em agosto de 2005, no pico da estação seca, a terceira campanha ocorreu em novembro de 2006 refere-se ao início da estação chuvosa e a quarta campanha foi em agosto de 2007. As duas primeiras campanhas ocorreram antes do enchimento do lago e as duas últimas após o enchimento.

### **1.6.2 Amostragem e Análises *in situ***

A coleta de amostras em campo é, provavelmente, o passo mais importante de um programa de monitoramento de qualidade de água. Da correta execução dos procedimentos depende a confiabilidade dos resultados finais e, portanto, as ações resultantes da interpretação dos dados gerados. O intervalo de tempo entre a coleta das amostras e a realização das análises pode comprometer sobremaneira sua composição inicial. Desta forma, o procedimento utilizado para coleta e análise das amostras passou por três etapas, sendo elas análise *in situ*, análise no laboratório de campo montado nas dependências do Hotel em Palmeirópolis e análise no Laboratório de Geoquímica da Universidade de Brasília.

A primeira medição realizada em campo foi o nível da água nos poços de observação. Para isso utilizou-se medidor com sensor elétrico sonoro, que permite determinar o contato com água. A fita de medição utilizada tem graduação até os milímetros, o que amplia a precisão da medida.

Para a amostragem de água subterrânea foi utilizado o amostrador descartável, tipo “*bailer*”. Caracterizado por tubo em PVC com capacidade 1 litro, aberto nas extremidades, com

uma esfera plástica no interior que funciona com uma válvula, que fecha a extremidade do equipamento quando a amostra é erguida a partir da zona saturada do aquífero.

Parte da água amostrada foi armazenada em um frasco de polietileno de 1 litro para as análises de laboratório e cerca de 50 ml foram transferidos para um béquer para determinação de parâmetros físicos *in loco*. Foram medidos valores de temperatura, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e potencial de oxidação-redução. Para determinação do pH o aparelho foi calibrado previamente com soluções padrão 4, 7 e 10. A condutividade elétrica é corrigida automaticamente de acordo com a temperatura. O equipamento utilizado foi pH Meter SHOTT GERATECG813 e Conductivity/TDS meter da Hach Company CO-150 (Figura 1.5).



**Figura 1.5** - Equipamento portátil utilizado durante as medições *in situ* nas quatro campanhas de amostragem.

No laboratório de campo as amostras de água foram filtradas, utilizando-se bomba de vácuo, filtro e membrana descartável de 0,45  $\mu\text{m}$  da marca Millipore. Cerca de 100 ml dessa amostra foi acidificada com  $\text{HNO}_3$  para determinação dos metais. Outra alíquota foi utilizada para determinação dos parâmetros: cor, nitrito, amônia e nitrato, sulfato e fosfato. A turbidez foi analisada na água bruta. Nas quatro campanhas utilizou-se o equipamento portátil HACH-Espectrofotômetro UV-Visível (DR 2000), montado no laboratório de campo.

No Laboratório de Geoquímica foram utilizados os equipamentos Espectrofotômetro de Absorção Atômica (EAA), da marca Perkin Elmer, modelo 603 de duplo feixe para análise de sódio e potássio e Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma indutivamente acoplado (ICP/AES) marca PERKIN ELMER, modelo 603 de duplo feixe, para os demais elementos.

A metodologia utilizada nas análises químicas foi baseada no *Standards Methods for the Examination and Wastewater*; publicada pelo *American Public Health Association*.

A Tabela 1.3 resume os procedimentos adotados para a análise dos parâmetros físico-químicos nas amostras dos poços de monitoramento.

**Tabela 1.3** - Síntese da metodologia analítica aplicada nas várias etapas de análises de amostras de águas freáticas.

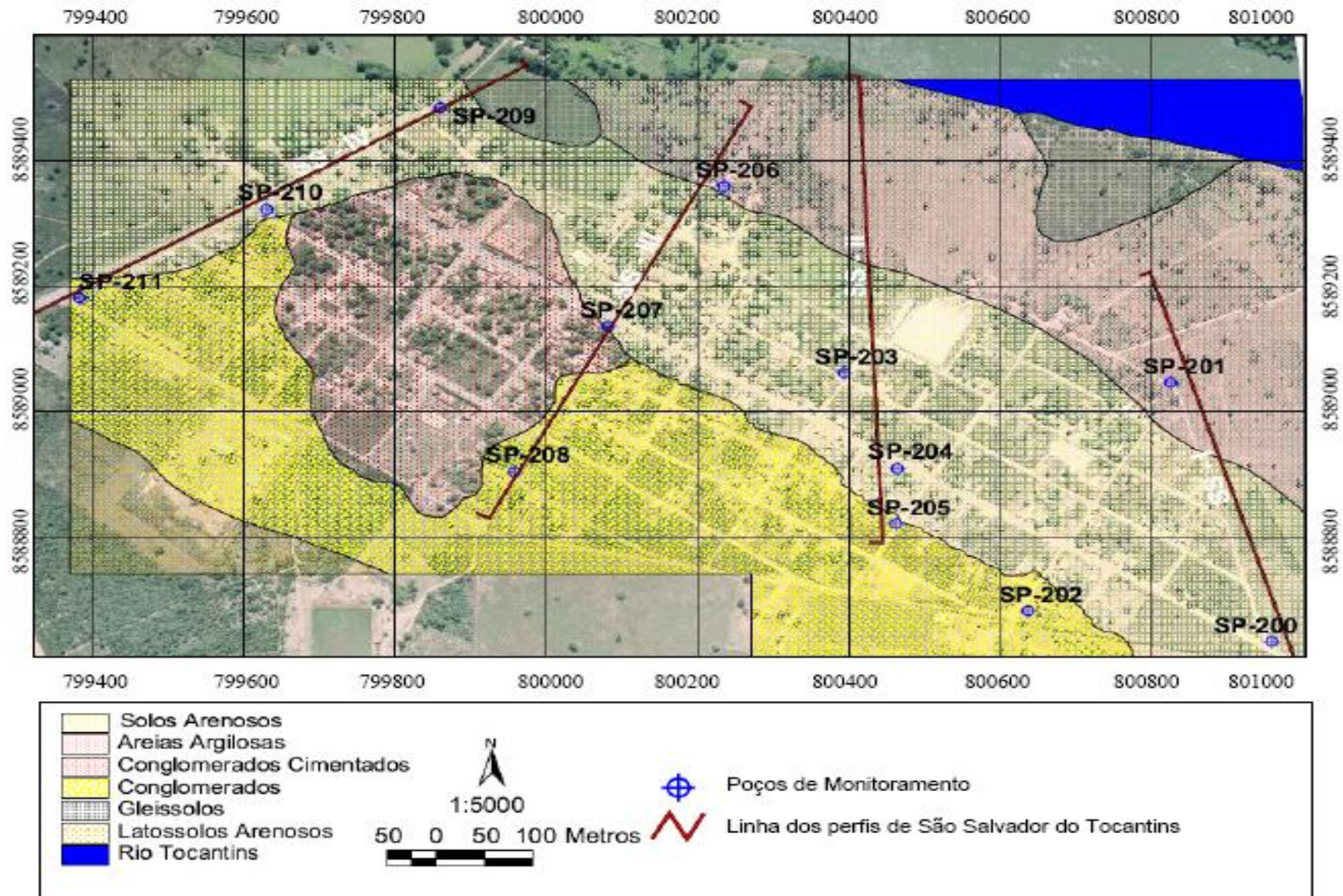
<b>Parâmetro</b>	<b>Método Analítico</b>	<b>Laboratório</b>
pH, CE, TDS, Temp	pHmetro, condutivímetro	Análise <i>in situ</i>
Cor,	Espectrofotômetro	Laboratório de campo
Turbidez	Espectrofotômetro	
Nitrato, nitrito e amônia	Espectrofotômetro	
Fosfato	Espectrofotômetro	
Sulfato	Espectrofotômetro	
Elementos-traço e metais	Absorção Atômica e ICP/AES	Laboratório da Geoquímica da UnB
Alcalinidade	volumetria	
Dureza	volumetria	
Cloreto	titulometria	

### 1.6.3 Poços de Amostragem

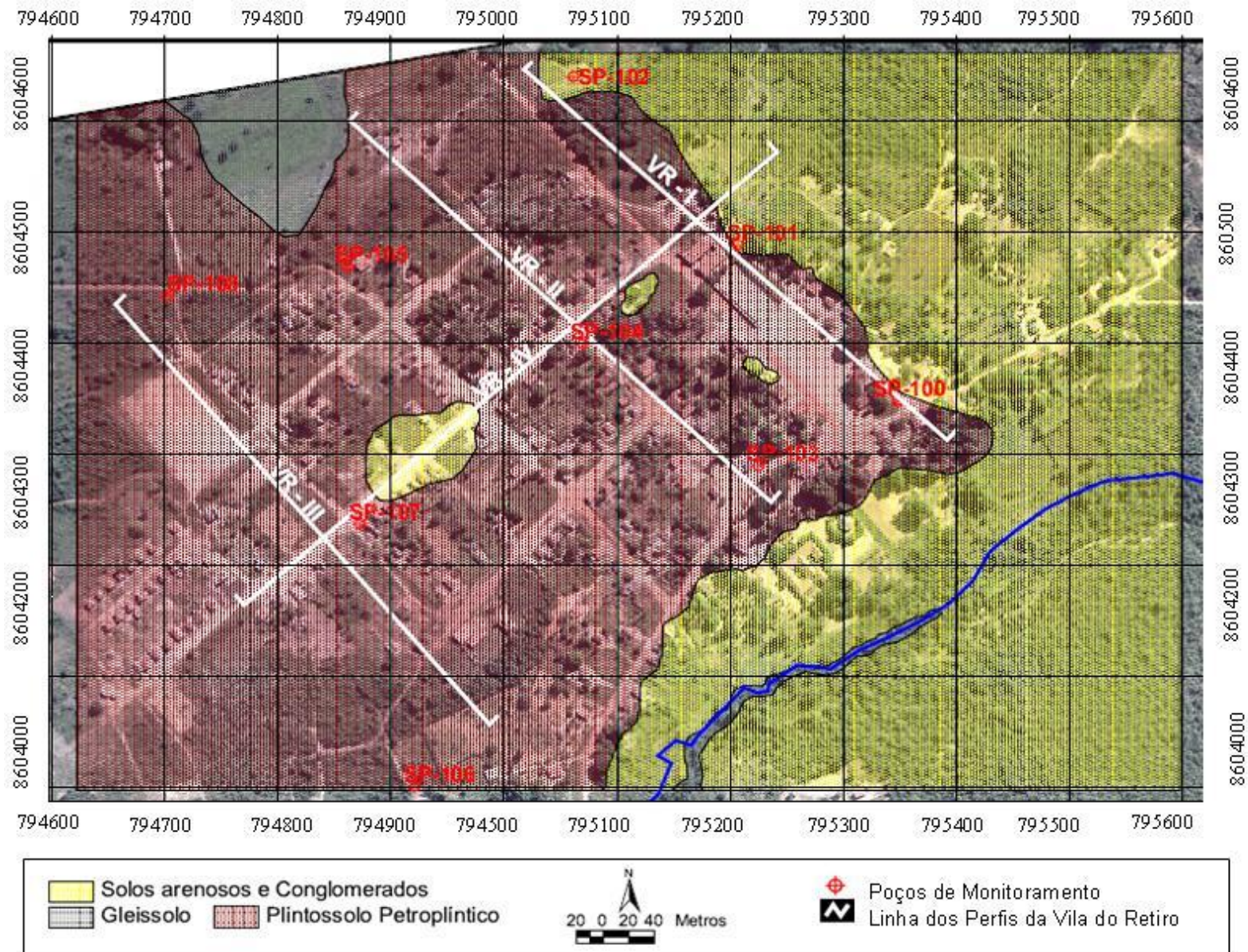
Os trabalhos iniciais foram executados em sessenta e dois pontos de amostragem, representando dados das cisternas, poços tubulares e os poços de monitoramento. Após uma primeira avaliação estatística e, considerando os objetivos propostos optou-se por trabalhar apenas com dados provenientes dos poços de monitoramento, uma vez que o controle sobre esses era maior. Os dados das cisternas serão referenciados apenas quando forem significativos para entender resultados anômalos nas amostras dos poços de observação.

Dos trinta e quatro poços de monitoramento dois foram excluídos, pois não foi possível realizar amostragem nas 4 campanhas. As figuras 1.6, 1.7 e 1.8 mostram a distribuição desses poços e características do material de superfície nas três regiões estudadas.

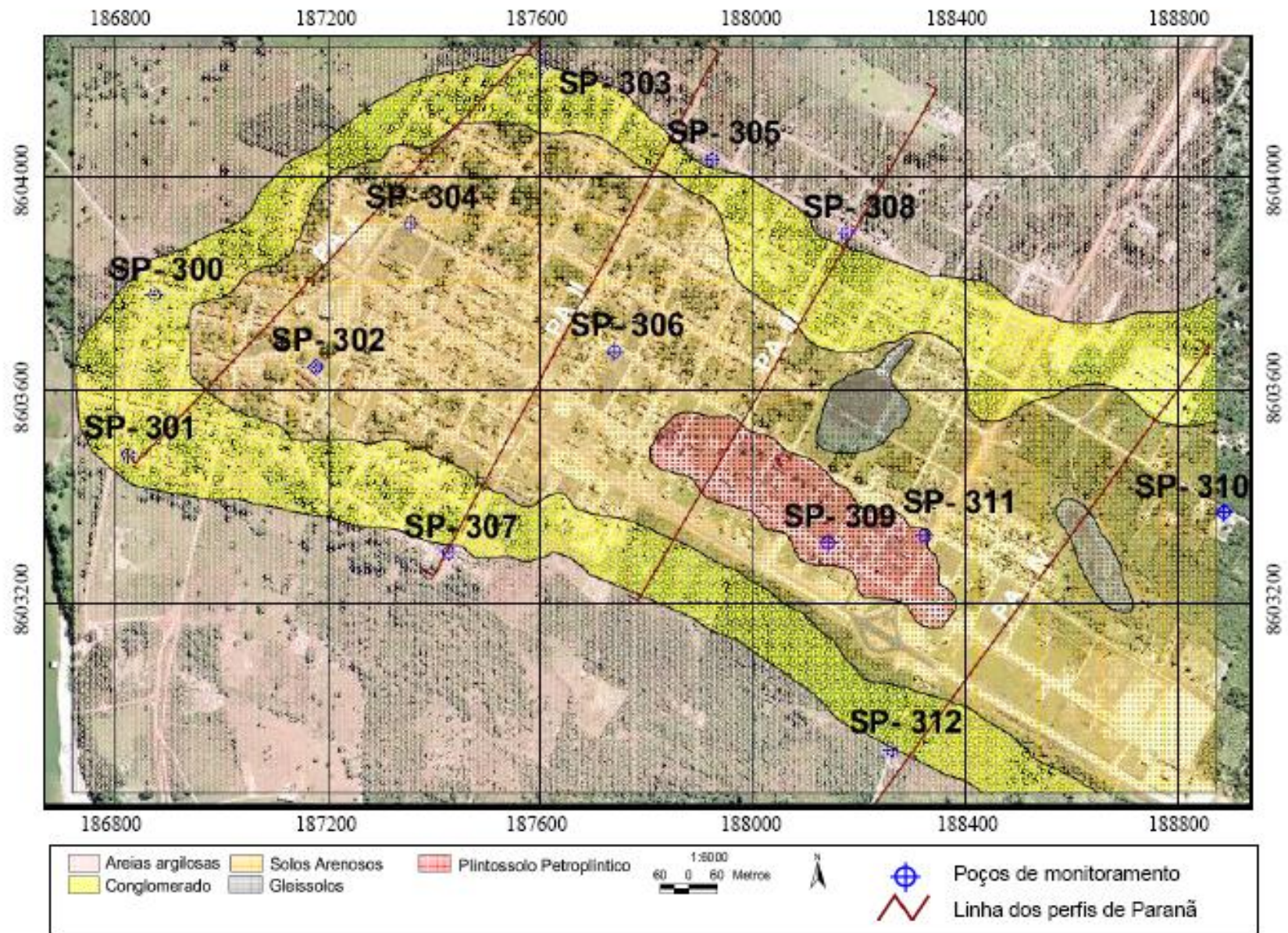




**Figura 1.6** - Mapa imagem de São Salvador do Tocantins com 11 poços de monitoramento e a distribuição dos materiais em superfície.



**Figura 1.7** - Mapa imagem da Vila do Retiro com 9 poços de monitoramento e a distribuição dos materiais em superfície.



**Figura 1.8** - Mapa imagem de Paraná com 13 poços de monitoramento e a distribuição dos materiais em superfície.

## CAPÍTULO II

### CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 2.1 GEOLOGIA

##### 2.1.1 Geologia Regional

A região onde se insere o estudo é marcada pela presença de importante faixa de dobramentos proterozóicos, envolvendo um conjunto de unidades estratigráficas de evolução policíclica e assentadas sobre embasamento Arqueano/Paleoproterozóico, essencialmente granito-gnáissico, com seqüências vulcano-sedimentares do tipo Grupo Araí associadas à metamorfitos de maior grau (tipo Grupo Serra da Mesa), Schobbenhaus *et al.* (1984).

Está inserida no contexto geotectônico da Província Estrutural do Tocantins, mais precisamente à Faixa de Dobramentos Brasília de idade Neoproterozóica. Em síntese regional a Faixa Brasília, segundo Fuck (1994), é apresentada como um extenso sistema de dobramentos neoproterozóicos, edificado na margem oeste do Cráton do São Francisco e compartimentado em zonas cratônica, zona externa e zona interna. A zona cratônica é constituída por exposições do embasamento cobertas pelas seqüências sedimentares proterozóicas dos grupos Paranoá e Bambuí. A zona externa é representada pelas seqüências metassedimentares dos grupos Paranoá e Canastra, além de porções de seu embasamento. A zona interna compreende os micaxistos e as rochas do Grupo Serra da Mesa e áreas de embasamento expostas entre os xistos. Esta Faixa se estende na direção N-S, situando-se tectonicamente entre o Cráton de São Francisco a leste e a Faixa-Paraguaia-Araguaia a noroeste e a Bacia do Paraná a sudeste, Marini *et al.*, (1984).

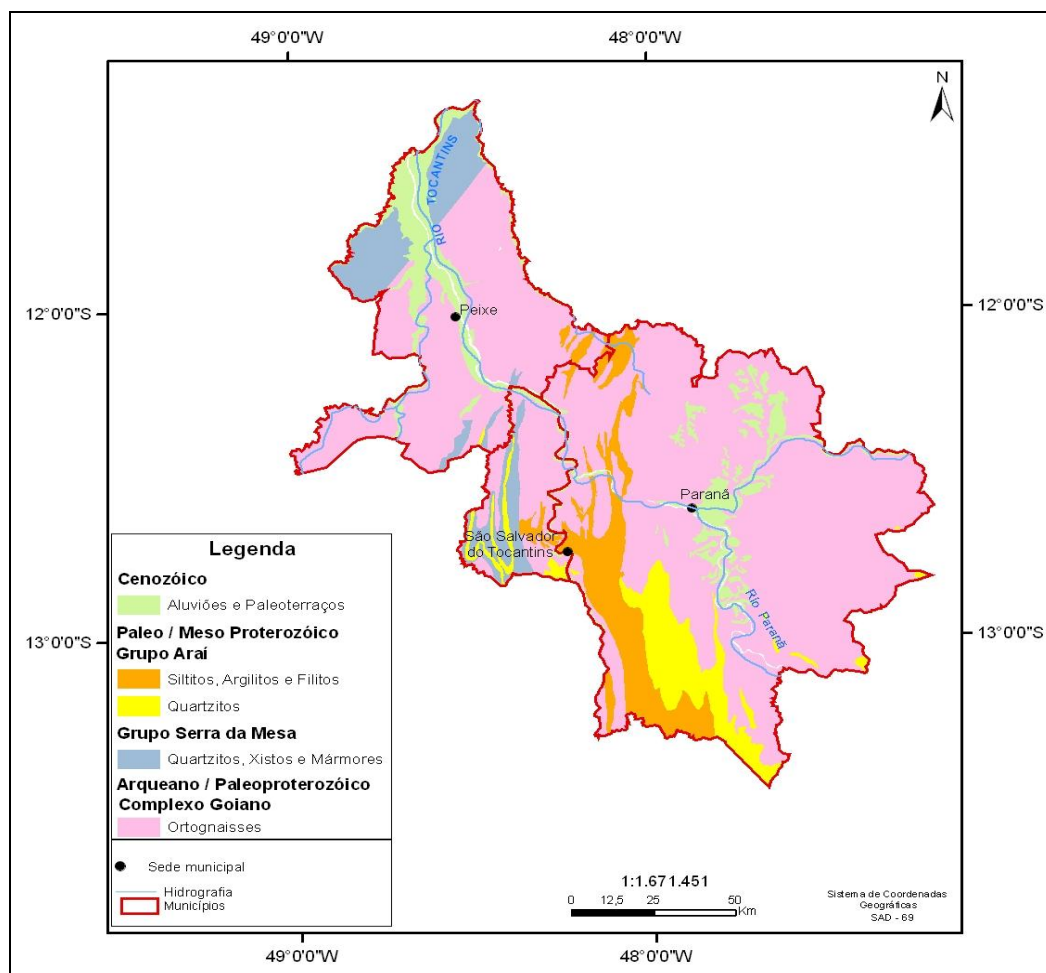
##### 2.1.2 Geologia Local

Localmente a geologia é representada pelas unidades do Complexo Goiano e rochas supracrustais dobradas dos grupos Araí e Serra da Mesa, além de sedimentos aluviais recentes. A Figura 2.1 mostra a distribuição das rochas que compõem estas unidades.

#### **Complexo Goiano**

O embasamento cristalino é constituído por rochas granito-gnáissico-migmatíticas do Complexo Goiano, que alojam corpos granodioríticos da unidade Granodiorito São José e corpos graníticos do tipo Serra Branca. O Complexo Goiano é descrito na literatura como sendo constituído por biotita-gnaisses, gnaisses quinzigíticos, gnaisses básicos contendo hornblenda e piroxênio, além de diferentes tipos de migmatitos. Ocorrem também leptinitos, biotitaxistos, mármore, quartzitos,

metaconglomerados e anfíbolitos. São comuns núcleos graníticos ou granitóides, com orientação incipiente dos cristais e, às vezes, cataclasados.



**Figura 2.1** - Distribuio das rochas presentes nas áreas do estudo.

### Grupo Serra da Mesa

O Grupo Serra da Mesa foi definido por Marini *et al.* (1977) e Fuck & Marini (1981) na porão norte da Faixa Brasília. Inicialmente foi correlacionado com o Grupo Araxá (da porão sul da faixa), contudo mais recentemente essa seqncia  correlacionada ao Grupo Araí, Dardenne (2000).

Essa sucessão  caracterizada por quartzitos, quartzitos micáceos, xistos e lentes de mármore. Os quartzitos dominam na base da seqncia e as lentes de mármore são mais comuns em direo ao topo da estratigrafia. Predominam mica xistos, representado por muscovita-biotita xistos, com clorita, granada e plagioclásio. Próximo aos grandes corpos graníticos (tipo Serra da Mesa) ocorre estauroлита, cianita, anfíbólio e outros minerais de maior grau metamórfico.

Em funo do maior grau metamórfico e de ter sido hospedeira de intrusões graníticas, essa unidade apresenta elevado potencial econmico podendo destacar as mineralizaes de ouro (região de Uruaçu), ocorrências de alexandrita (região da Serra da Mesa) e pegmatitos e pequenos corpos graníticos intrusivos.

O Grupo Serra da Mesa no contexto do rifte Araí representaria as fácies marinhas transgressivas depositadas nas porções mais internas da Faixa Brasília. Nesse contexto, os quartzitos basais e intercalados nos xistos comporiam arenitos plataformais, enquanto os mármore do topo seriam as fácies carbonáticas regressivas depositadas ao final da evolução da Bacia Araí. A ausência das fácies continentais e transicionais são explicadas pela própria paleogeografia, onde os pséfritos e maior parte dos psamitos imaturos ocorrem exclusivamente junto aos blocos escalonados na fase pré- e sin-rifte (situados na porção externa da faixa).

### **Grupo Araí**

O Grupo Araí representa uma seqüência de baixo grau de metamorfismo, com um espesso pacote de rochas metassedimentares depositadas sobre uma superfície erosiva em discordância com embasamento paleoproterozóico. Sua porção basal é composta por um pacote de metaconglomerados, quartzitos (com estratificação plano-paralela, cruzada e até acanalada), quartzitos conglomeráticos associados a rochas vulcânicas (basaltos, dacitos e riolitos) (Menezes *et al.*, 2006).

Este grupo é dividido em duas formações, Arraias e Traíras. A primeira é constituída por quartzitos e responsável pelas principais elevações topográficas da região; a segunda, que se sobrepõe concordantemente à Formação Arraias, apresenta um caráter mais pelítico, constituída por micaxistos e metassiltitos.

Foram observados na área de estudo, no leito do rio Tocantins, micaxistos sericíticos prateados e quartzitos, além de afloramentos de solo de alteração de xistos e quartzo xistos.

Tanto o Grupo Araxá como o Grupo Araí, representado pela Formação Traíras, podem apresentar rochas calcárias. São conhecidas ocorrências de rochas calcárias entre a Vila do Retiro e São Salvador, na margem esquerda do Rio Tocantins. Ocorrências dessas rochas são também sugeridas através de feições que se destacam em fotointerpretação.

### **Coberturas Detríticas Terciário-Quaternárias**

Na parte leste da área, existem manchas de coberturas cenozóicas, de natureza detrítica e, em parte, laterítica. Margeando as calhas dos rios Paranã, Palma, Tocantins encontram-se depósitos aluvionares de planície de inundação e terraços, geralmente estreitos, alcançando larguras maiores apenas no rio Tocantins.

Os depósitos de planície são constituídos de areia fina e silte, podendo conter cascalhos na base. Localmente, como logo a jusante da confluência dos rios Paranã com o Tocantins, os aluviões de areia fina silto-argilosa mostram-se muito endurecidos e cortados por veios silicosos paralelos às margens, bastante retilíneos.

Localmente foram registrados depósitos de terraços elevados antigos assinalando-se um depósito de terraço sustentando pequenos platôs afeiçoados pela erosão nas proximidades de Retiro, na margem esquerda do rio Tocantins. Estudos informam que estes depósitos contêm cascalho muito grosso e bem arredondado ao longo de praticamente toda a seção vertical, com alguns blocos angulosos de até 0,5 m de diâmetro, de quartzo, e apresenta nível limonitizado e endurecido com alguns metros de espessura, na parte superior dos depósitos.

Foram registrados também depósitos detríticos de cobertura, constituídos por fragmentos de quartzo originados a partir da erosão de rochas portadoras de veios quartzosos, constituídas, sobretudo pelos xistos e quartzitos proterozóicos. Esse material detrítico espalha-se a partir de áreas pouco mais elevadas, com grandes concentrações de veios quartzosos, dando origem às delgadas e generalizadas coberturas de fragmentos de quartzo.

Os depósitos detrítico-lateríticos são representados por coberturas de areias finas quartzosas e cascalhos, constituindo material detrítico solto ou, muitas vezes, laterizado associados a superfícies de pediplanização originadas sob climas áridos.

Os depósitos atuais do leito dos rios são constituídos, sobretudo, por areias finas e cascalhos, encontrando-se, em menor escala, bancos de areia média e grossa.

## **2.2 GEOMORFOLOGIA**

Segundo observado no Mapa de Unidades de Relevo do Brasil do IBGE (1993), a região estudada situa-se no contato entre dois compartimentos geomorfológicos marcadamente distintos, Depressão do Alto Tocantins-Araguaia e no Planalto Central, em terrenos esculpidos sobre rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas. A Depressão do Tocantins apresenta relevo de dissecação suave, predominando as formas tabulares esculpidas sobre os gnaisses do Complexo Goiano. Em direção ao sul essa depressão apresenta um contato interdigitado com o Planalto Central.

O Planalto Central caracteriza-se por uma intrincada variedade de formas de relevo, por uma diversidade muito grande de rochas metamorfizadas, por uma estrutura complicada por falhamentos, intrusões, metamorfismos, e por grande variação de cotas altimétricas.

Do ponto de vista local, na área de estudo predominam as Colinas pequenas e médias, Morrotes e Morros residuais, além dos Terraços e Planícies de inundação.

### **Colinas**

As colinas estão presentes em toda área. Apresentam topos estreitos e convexos e o perfil das vertentes é contínuo com segmentos retilíneos, com inclinações de 2,5 a 10 %. Os vales são erosivos e estreitos, com canais sobre rocha, matacões, blocos e barras com seixos e areia grossa e média. O padrão de drenagem é subdendrítico e de densidade média, apresentando altitudes de 280 a 410 m.

Este relevo é sustentado por gnaisses migmatíticos e granitóides, xistos, filitos, anfíbolios xistos e, mármores. Em superfície predominam afloramentos de rocha alterada e extensos pavimentos detríticos formados por blocos e fragmentos angulosos de quartzo e quartzito centimétricos a decimétricos, e por vezes com nódulos e fragmentos de laterita.

### **Morros e Morrotes Residuais**

Os Morrotes e Morros residuais são mais freqüente ao longo do vale do Rio Tocantins, a montante da Vila do Retiro. As formas têm topos estreitos, angulosos, convexos e rochosos, que por vezes formam cristas e picos, com altitudes variáveis de 320 a 580 m. O perfil das encostas é descontínuo, freqüentemente com segmentos rochosos, que formam escarpas. Tem inclinações de 16 a 45 % nos morrotes e de 26 a 48 % nos morros. Os vales são erosivos, fechados e estreitos, sendo constituídos predominantemente por canais em rocha, de primeira e segunda ordem. O relevo é sustentado predominantemente por quartzitos, e subordinadamente por gnaisses migmatizados. Predominam solos litólicos, textura areno-siltosa, rasos e ricos em cascalho de quartzo angulosos. Apresentam no sopé depósitos de tálus e leques aluviais constituídos por matacões e blocos de quartzito.

### **Terraços**

Os Terraços elevam-se de 15 a 20 m acima do nível do canal, ocupando altitudes variáveis de 265 a 285 m. A superfície do terraço é plana e extensa, sua borda forma degrau suave sobre a planície de inundação. Nos terraços é comum a presença lagoas isoladas. Nas proximidades da Vila do Retiro ocorre um nível de terraço mais elevado e já erodido que forma superfícies isoladas com depósitos esparsos. Os sedimentos fluviais, associados aos terraços, são constituídos por areia fina a média, pouco argilosa, rica em grânulos angulosos de quartzo, com espessuras de 1,5 a 6 m.

### **Planície de Inundação**

A Planície de inundação do rio Tocantins, que ocorria continuamente ao longo da área estudada, desapareceu com a criação do Lago da UHE Peixe, permanecendo apenas alguns pequenos trechos próximos ao fim do reservatório. Os depósitos aluvionares são constituídos por areias finas, silto argilosas, dispostas em camadas plano paralelas, e comumente com cascalhos na base, formados por blocos e seixos de quartzo e quartzito sub-arredondados a arredondado, por vezes ferruginizados. Esses depósitos apresentam espessuras de 3 a 10 m, ocorrendo sempre sobre o embasamento rochoso.



### 2.3 PEDOLOGIA

Os levantamentos pedológicos realizados em estudos prévios por THEMAG (2000) e Campos & Seidel (2004), na área de estudo identificaram 7 tipos de solos, tendo como base a classificação proposta pela Embrapa (1999). A Tabela 2.1 apresenta descrição sumária das classes e associações de solos mais comumente observadas na área de estudo.

De maneira geral a sazonalidade climática aliada ao relevo e evolução geomorfológica da região resultou em uma predominância de coberturas de Neossolos Litólicos e Cambissolos. Caracterizando processos pedogenéticos pouco pronunciados formando solos rasos ou pouco desenvolvidos.

Ocorrem também nos terraços do rio Tocantins e Paranã, Neossolos Flúvicos com atributos diferenciais em relação aos desenvolvidos a partir de rochas metamórficas. Esses atributos são: teores maiores de areia na superfície, cores mais claras e menor teor de matéria orgânica, também no horizonte A.

Os Latossolos estão associados às superfícies de aplainamentos degradadas. São solos profundos, bastante intemperizados, homogêneos quanto aos atributos morfológicos, físicos e químicos. O horizonte diagnóstico é denominado de B latossólico e é constituído por uma espessura mínima de 50 cm que apresenta, em geral, textura franco arenosa a argilosa, baixa capacidade de troca de bases, grande estabilidade dos agregados, microestrutura ou blocos subangulares fracos a moderados e poucos minerais resistentes ao intemperismo.

**Tabela 2.1** - Descrição das classes e associações de solos mais comumente observadas nas áreas de estudo.

UNIDADES DE MAPEAMENTO
<b>Neossolo Flúvico Psamítico típico distrófico A fraco + Neossolo Flúvico eutrófico argiloso</b> - não apresentam seqüência de horizontes diagnóstica, são rasos a pouco profundos, apresentam transição entre horizontes difusa e ampla variação dos componentes texturais quando observados lateralmente. Na maior parte da área, são representados pelos solos de textura arenosa a cascalhenta distrófico. Em áreas mais próximas do leito atual do rio Tocantins, há variedades de textura mais fina (silto-argilosa a argilosa). Apresentam erodibilidade baixa a moderada, entretanto o fluxo hídrico concentrado em áreas que sofreram desmatamento incrementa de forma sensível essa feição e processos lineares podem ser observados.
<b>Neossolo Litólico distrófico cascalhento</b> - caracterizados por seqüência de horizonte A-C-(R) ou por A diretamente em contato lítico. Comumente apresenta pedregosidade e rochiosidade em função de sua alta afinidade com os materiais parentais, sendo que os matacões de gnaisses e granitos são as litologias mais comumente observadas. Em ambos contextos geomorfológicos (montanhoso e plano) esse solo ocorre entremeado por amplas exposições rochosas na forma de lajedos. A erodibilidade é minimizada pelas características litológicas que funcionam como uma camada de boa drenagem e com massa específica elevada, o que diminui a concentração de fluxo na superfície e funciona como um pavimento de proteção natural ao trabalho erosivo das águas.

## UNIDADES DE MAPEAMENTO

**Neossolo Quartzarênico Órtico** - Além da expressiva profundidade, podem exibir perfis superiores a dois metros, normalmente esses solos apresentam-se com grãos simples - quartzo predomina na fração areia, estrutura fraca a ausente, grande permeabilidade, condutividade hidráulica muito elevada e moderada suscetibilidade à erosão; o que resulta em uma caracterização como solos minerais, pouco desenvolvidos, profundos, excessivamente drenados e porosos. Em geral ocorrem em relevo arrasado na planície de inundação fluvial e em áreas mais restritas sobre os quartzitos do Grupo Araí no sopé e junto a encostas íngremes onde ocorrem afloramentos dessa unidade.

**Cambissolo Háptico Tb eutrófico típico A moderado cascalhento** - solos pouco desenvolvidos, cuja pedogênese já alterou o material de origem, mas ainda encontram-se fragmentos de minerais primários e materiais pedregosos e rochosos. O alto teor de silte do horizonte A e a restrita profundidade do perfil fazem com que esta classe de solo tenha permeabilidade dificultada. Aliadas a taxas de declividade moderadas a elevadas nos locais os tornam mais susceptíveis à erosão. Esses solos ocorrem principalmente nas vertentes e encostas com pendentes mais elevadas, sendo abundantes nas condições de rampas mais longas do compartimento geomorfológico arrasado.

**Latossolo Vermelho Distrófico** - na área de estudo esses solos apresentam ocorrência restrita associada à vegetação de cerrado e/ou cerradão em áreas planas ou topos de platôs em geral áreas de topografia favorável à mecanização. O material de origem é variado desde granitos, gnaisses até rochas pelíticas do Grupo Araí e materiais aluvionares mais finos. Na área percorrida esses se encontram em porções mais abundantes e contínuas sobre os granitos e gnaisses mais ricos em biotita. Apesar desse tipo de solo ser bastante permeável e encontrar-se em áreas morfodinamicamente mais estáveis, é necessário um manejo adequado à prevenção do risco erosivo.

**Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico** - apresentam-se comumente nos divisores de água e em áreas de transição para rebordos de chapada, integrada com vegetação de cerrado *sensu stricto*, campo limpo e campo sujo; em superfícies planas e em vertentes com declividades entre 3 e 10%. Na área estudada, essa classe comumente decorre da pedogênese em metarritmitos arenosos do Grupo Araí e de rochas graníticas de composição modal mais félsica. Diferem do Latossolos Vermelhos por apresentarem suprimento de óxidos de ferro menor, acarretando colorações mais amareladas, drenagem moderada, além de boas condições de aeração.

**Plintossolo Pétrico Concrecionário Distrófico** - ocorrem em localidades onde a oscilação do lençol freático associada à dificuldade de movimentação gravitacional da água propiciam a formação da plintita e o aparecimento de mosqueados. Constitui-se em um tipo de solo bastante desgastado, pouco profundo e pouco permeável. No local de estudo essa classe de solo ocupa áreas restritas.

## 2.4 VEGETAÇÃO

O tipo vegetacional que domina a região é do Bioma Cerrado. Segundo conceito utilizado por Ab'Saber (1970), o Cerrado corresponde ao Domínio Morfoclimático descrito como chapadões recobertos por cerrados e penetrados por florestas de galerias.

Além da biodiversidade considerável, esse bioma caracteriza-se como uma grande “caixa d’água” no continente sul americano, captando águas pluviais que abastecem nascentes que formam rios da bacias do Amazonas, Tocantins, Parnaíba, São Francisco, Paraná e Paraguai, dada a sua localização na cumeeira do continente.

Segundo IBAMA (2002), neste bioma ocorre um mosaico de tipos vegetacionais, incluindo as formações abertas do Brasil Central: campo limpo, campo sujo, campo cerrado, e campo rupestre e as formações florestais características tais como vereda, mata de galeria, cerradão e mata mesofítica.

Na área de estudo o cerrado é a vegetação predominante. Condicionada localmente pelas variações de solo, verifica-se que a vegetação assume fisionomias abertas quando presente sobre cambissolos. Já as fisionomias densas predominam em latossolos, apresentando por vezes marcante deciduidade foliar, resultando em fisionomias peculiares e pouco comuns de cerrado.

Em direção às cabeceiras dos rios da margem direita, prevalecem cerrados abertos em solos arenosos. Ao longo dos cursos d’água, áreas úmidas condicionam a formação de veredas contendo campos com buritis e demais fitofisionomias de ambientes permanentemente encharcados.

## 2.5 ASPECTOS CLIMÁTICOS

Os principais pontos de monitoramento climatológico existentes na Bacia do rio Tocantins pertencem ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, cujos dados constam da publicação Normais Climatológicas (1961-1990). A Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e Furnas Centrais Elétrica possuem 13 estações, compondo a rede meteorológica da Bacia.

A bacia hidrográfica do rio Tocantins é predominantemente afetada pelos mecanismos de produção de precipitação que incidem nas regiões Norte e Nordeste. Estudos de inventário hidroenergético desenvolvidos pela Eletronorte identificaram dois setores climáticos para essa bacia a montante do Município de Peixe, assim caracterizados:

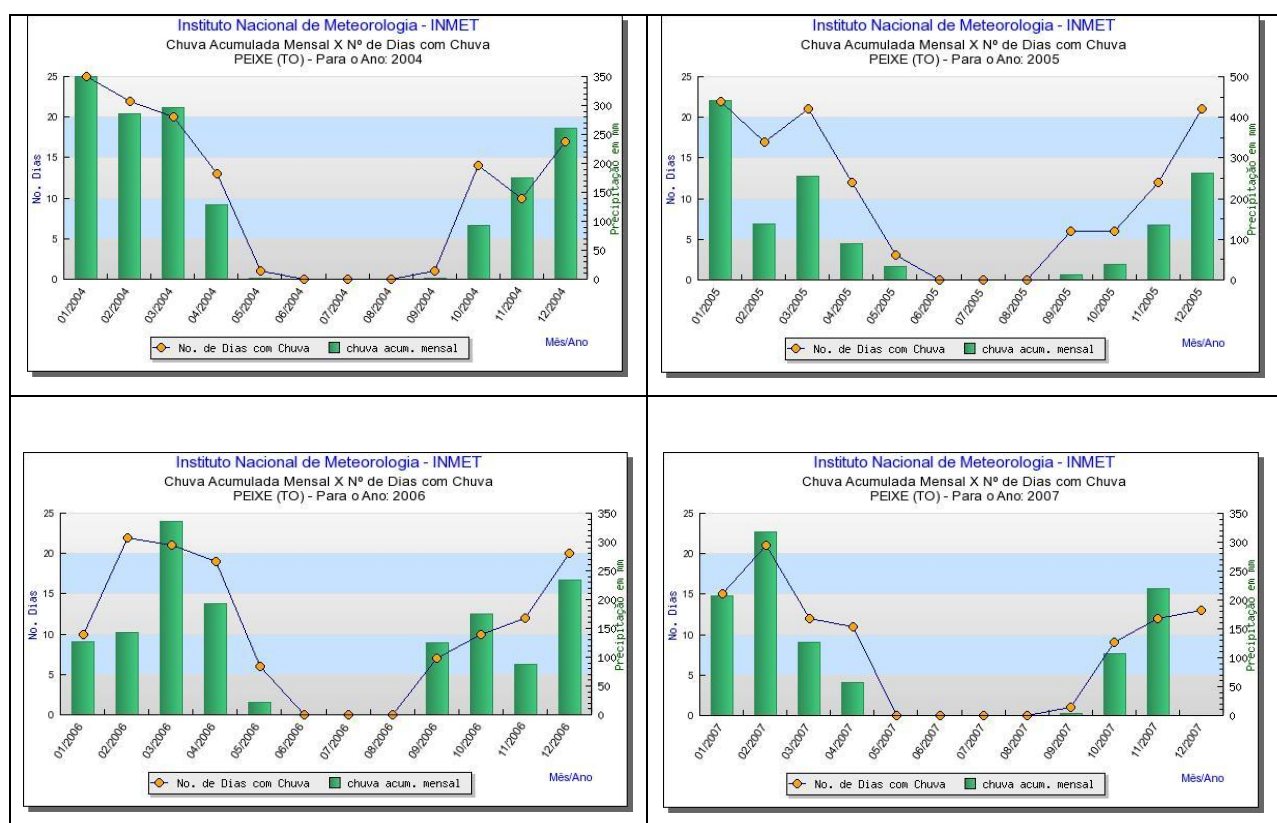
Setor 1T - Extremo Sul do Rio Tocantins - Constitui parte integrante do Planalto Central, com elevadas altitudes junto ao Espigão Mestre e à Serra Geral de Goiás. Seu limite setentrional encontra-se entre os paralelos 13° e 14° Sul. O clima predominante é de natureza tropical continental úmido, com amenizações parciais na época quente devido à altitude. Sua classificação climática, segundo Köppen, é do tipo Cw. O período quente e chuvoso é bem definido, indo de novembro a março, com o mês de dezembro sendo o mais chuvoso. O período seco vai de junho a agosto, sendo os meses abril a maio e setembro a outubro meses de transição.

Setor 2T - Transição ao Médio Tocantins - É limitado, ao sul, pelo Setor 1T e, ao norte, pelo paralelo 11o Sul, aproximadamente, na região da cidade de Porto Nacional. A posição latitudinal deste setor propicia uma influência apenas indireta da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), o que lhe confere um clima classificado como tropical continental, embora seja bastante úmido pela proximidade equatorial. Sua classificação climática, segundo Köppen, é do tipo Cw. O período chuvoso vai de outubro a março, sendo dezembro e janeiro os meses mais chuvosos. O período seco vai de junho a agosto, sendo os meses abril e maio e setembro a outubro meses de transição.

De forma geral, as temperaturas médias anuais nesta região tendem a diminuir à medida que aumenta a latitude, variam de 25°C na região de São Salvador e Paranã a 22°C próximo ao Distrito Federal. A característica da precipitação é marcada pela época chuvosa, quente e úmida, que alterna sazonalmente com a época relativamente seca e mais fria.

Conforme se observa nos gráficos da Figura 2.2 (INMET 2008) para a estação de Peixe, entre 2004 a 2007, o período chuvoso estende-se de outubro a março, com índices pluviométricos ultrapassando os 400 mm mensais em 2005. O trimestre mais chuvoso no ano oscila entre Dez-Jan-Fev e o trimestre mais seco no ano se firma em Jun-Jul-Ago, em níveis que chegam próximo a zero.

Os meses de transição entre a estação seca e chuvosa correspondem a abril e maio, setembro e outubro, respectivamente. A precipitação média anual para a área de estudo chegou a 1.500 mm, com 80% ocorrendo entre os meses de outubro e abril, Meirelles *et al.* (2007).



**Figura 2.2** - Normais climatológicas mostrando a distribuição da precipitação entre os anos de 2004 e 2007 para Estação da cidade de Peixe – TO.

## 2.6 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

As informações referentes ao aspecto socioeconômicos para os municípios de Paranã e São Salvador estão sintetizadas na Tabela 2.2. Os dados são oriundos de pesquisa e levantamento realizado no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2005), relativas ao censo demográfico de 2000, e do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS 2006). As consultas foram realizadas na página eletrônica das instituições nos endereços: <http://www.ibge.gov.br/home/> e <http://www.snis.gov.br/>.

**Tabela 2.2** - Estatísticas de dados sociais e econômicos para os municípios de Paranã e São Salvador do Tocantins. Fonte: Modificado de IBGE (2005) e SNIS (2006).

Características		São Salvador do Tocantins
População do Município	Total	2.740
	Urbana	1.119
Índice de atendimento de água (%)	Total	57,56
	Urbana	100
% de domicílio atendido por abastecimento de água	Rede	37
	Poços	51
Consumo médio per capita de água	L/hab.dia	114,19
Índice de atendimento de esgoto (%)	Total	0
	Urbana	0
% de domicílios atendidos por coleta de lixo	Total	11

De acordo com IBGE (2005) a população na cidade de Paranã era cerca de 10.400 habitantes e mais de 50% moravam na zona rural. Em São Salvador do Tocantins a população estimada era de 2 740 habitantes. A taxa de crescimento populacional para o período de 1991 a 2000 girou em torno de 1%. A densidade demográfica nestes dois municípios é baixa e está na ordem de 6,4 hab/km<sup>2</sup>. Caracteriza-se ainda por um baixo dinamismo e pelo grau de urbanização abaixo do percentual nacional.

Em nenhum dos municípios existe sistema de esgotamento sanitário em operação, parte da população utiliza fossa séptica. A percentagem de domicílios atendidos por coleta de lixo não ultrapassa aos 20%, muito abaixo da média nacional que é de 91%. Estes dois fatores demonstram a situação precária no que diz respeito ao saneamento ambiental, interferindo negativamente na qualidade de vida da população.

O sistema de abastecimento de água atende 100% das populações urbanas de São Salvador e Paranã. No entanto, os dados relativos aos percentuais de domicílios com água encanada revelam baixo atendimento desse serviço. Nas duas cidades mais de 50% das captações são realizadas por meio de poços e sem tratamento. Em Paranã, a água para abastecimento público é retirada do rio Palma, com estação de tratamento tradicional.

Praticamente inexistente atividade industrial nos dois municípios. A atividade econômica se concentra na pecuária, agricultura e no setor de serviços terciário principalmente na administração pública. Estes três segmentos absorvem parte da mão de obra disponível.

No que tange ao potencial turístico da região, verificou-se que no município de Paranã existem praias naturais formada na confluência dos rios Palmas e Paranã, bem como fontes terminais na encosta da Serra da Caldas (de difícil acesso e distante 42 km da sede municipal). As praias contam com infra-estrutura temporária na estação turística, meses de junho a agosto, e, a cada ano vem atraindo mais turistas. Em São Salvador do Tocantins também há presença de praias fluviais, mas serve basicamente ao lazer dos moradores locais.

A água subterrânea constitui-se uma importante fração dos recursos hídricos disponíveis nestes municípios. Apresenta, normalmente, em seu estado natural condições boas para todo tipo de uso. A qualidade dessa água, no entanto, pode ser modificada direta ou indiretamente por atividades antrópicas, onde se inclui a construção de obras de captação inadequadas.

## **2.7 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS**

O rio Tocantins, formado pelos rios Maranhão e das Almas, nasce no Planalto de Goiás, cerca de 1000 m de altitude, próximo ao Distrito Federal, e flui em direção ao norte do país por cerca de 2.500 km. O primeiro trecho, de 1.100 km, corresponde ao Alto Tocantins; o trecho de 900 km para jusante é denominado Médio Tocantins e, o trecho final, Baixo Tocantins, encontra-se a jusante da foz do rio Araguaia.

A área de estudo inclui-se no trecho denominado Alto Tocantins. Segundo dados da EPE (2007), este trecho possui uma área de drenagem de aproximadamente 127.700 km<sup>2</sup> e uma extensão limitada pelo paralelo 12° de latitude sul, próximo ao município de Peixe, no Estado do Tocantins. Os principais afluentes encontram-se na margem direita, sendo o de maior porte o rio Paranã, que tem uma área de drenagem de aproximadamente 65 mil km<sup>2</sup>. Na margem esquerda, o afluente mais importante é o rio Santa Teresa, com cerca de 14.600 km<sup>2</sup> de área de drenagem.

Uma apreciação geral do potencial hídrico de superfície, baseada nas séries de vazões médias naturais definidas para alguns locais do rio Tocantins, mostra que o regime fluvial caracteriza-se por apresentar um período de enchentes entre os meses de novembro a maio, concentrado no trimestre janeiro a março, e o período de estiagem entre os meses de junho a outubro, sendo que os menores deflúvios ocorrem no trimestre de julho a setembro.

Segundo a EPE (2007) com o início da operação do reservatório da UHE de Serra da Mesa, houve uma modificação do regime fluvial do rio Tocantins a jusante do aproveitamento, provocando: (i) a atenuação dos eventos de cheias pelo controle proporcionado pelas comportas e volume de espera alocado no reservatório; (ii) o aumento das vazões de estiagem devido à capacidade de regularização de vazões desse reservatório. Os demais reservatórios do Alto e Médio Tocantins operam a fio d'água, não influenciando assim significativamente na regularização do rio Tocantins.

## Qualidade de Água

De acordo com ANA (2007a), na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, os principais fatores que alteram a qualidade das águas superficiais são: a atividade mineradora em garimpos e áreas de extração de areia em pequenos mananciais, o lançamento de esgotos domésticos, a contaminação por fontes difusas tais como agrotóxicos, fertilizantes sedimentos carreados por ação erosiva em solos mal manejados, entre outros e lançamento de efluentes com grande quantidade de matéria orgânica provenientes de matadouros e frigoríficos.

Para o curso do rio Tocantins atenção especial ainda deve ser dada à questão da implantação de usinas hidrelétricas. Os efeitos sobre a qualidade da água são ainda pouco conhecidos, a despeito dos problemas socioambientais envolvidos. As alterações ocorrem, sobretudo pela formação de lago artificial e pela alteração do regime fluvial para jusante.

A poluição de origem doméstica ocorre de maneira localizada, próxima aos principais centros urbanos. Este cenário se deve as baixas percentagens de coleta e tratamento de esgotos domésticos acarretando na entrada de expressivas cargas poluidoras até os corpos hídricos.

Foram detectadas concentrações mais elevadas de nitrogênio na forma amoniacal nas águas do rio Paranã em relação ao Tocantins. Segundo EPE (2007) as fontes de nutrientes minerais nos ecossistemas aquáticos na área de drenagem dos rios Paranã e Palma, possivelmente, são resultantes da aplicação de fertilizantes em lavouras, que podem intensificar os fenômenos de eutrofização em ambientes lênticos.

Nesse sentido, as águas do reservatório da AHE Peixe Angical, cuja operação foi iniciada em janeiro de 2006, encontram-se mais susceptíveis ao acúmulo de nutrientes minerais. Porém, devido ao baixo tempo de residência das águas (18 dias), não se espera piora na atual qualidade da água.

## 2.8 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

Águas subterrâneas, para Manoel Filho (1997), são águas armazenadas nas rochas e/ou depósitos sedimentares que se acumularam ao longo de milhares de anos e se encontram, sob condições naturais, numa situação de equilíbrio governada por mecanismos de recarga e descarga. Rebouças (2002) definiu como a parcela das chuvas que infiltra nos terrenos da bacia hidrográfica e circula pelo seu subsolo.

Para Almeida *et al* (2006) as águas subterrâneas representam a fração de água que, após a precipitação, infiltra e ocupa os espaços vazios existentes tanto nos solos quanto nas rochas. Desempenham papel fundamental na manutenção da umidade do solo e na perenização de rios e nascentes. Armazenam-se em espaços vazios nos materiais de solos e rochas, caracterizados por espaços intergranulares ou por espaços abertos pelo fraturamento ou fissuramento das rochas e por espaços gerados pela dissolução de minerais.

Por efeito da radiação solar, as águas dos mares, rios e lagos evaporam-se e formam nuvens, que ao encontrarem correntes frias de ar ou baixas pressões atmosféricas, condensam-se e precipitam-se sob a forma de chuva, granizo ou neve. Da água precipitada, uma parte evapora-se a outra escoar para os rios, lagos e mares; e, finalmente, outra parte infiltra-se no subsolo formando os reservatórios naturais de água subterrânea ou aquíferos. A água subterrânea, por meio de um fluxo muito lento, também alimenta os rios, lagos e mares ou emerge a superfície, formando fontes. A água dos lagos, rios e mares evapora-se outra vez e assim o ciclo é reiniciado.

Os aquíferos são formações geológicas constituídas por rochas capazes de armazenar e transmitir quantidades significativas de água. São efetivamente reservatórios naturais subterrâneos de variados tamanhos (poucos km<sup>2</sup> a milhares de km<sup>2</sup>) e espessuras (poucos metros a centenas de metros de profundidade), Rebouças *et al.*, (2002). A constituição geológica (porosidade/permeabilidade intergranular ou de fissuras) é que irá determinar a velocidade da água em seu meio, a qualidade da água e a sua qualidade como reservatório. Os diferentes tipos de aquíferos são decorrentes da origem geológica, que pode ser fluvial, lacustre, eólica, glacial e aluvial (rochas sedimentares), vulcânica (rochas fraturadas) e metamórfica (rochas calcárias).

Em função da forma de como as rochas armazenam e transmitem a água, influencia diretamente a sua quantidade e qualidade. Existem basicamente três tipos de domínios hidrogeológicos que refletem estas características:

**Domínio Fraturado:** é aquele formado por rochas ígneas e metamórficas onde a água está associada à presença de descontinuidades na rocha, responsáveis por uma porosidade secundária associada a falhas, fraturas e diáclases. É formado por rochas que incluem gnaisses, xistos, filitos, granitos e quartzitos e que dão origem aos terrenos denominados genericamente de cristalinos. Compreende as Províncias Hidrogeológicas dos Escudos Setentrional, Central, Oriental, Meridional e Centro-Oeste. Apresenta, em geral, sistemas aquíferos com potencial hídrico inferior àqueles pertencentes aos domínios hidrogeológicos físsuro-cárstico e intergranular.

**Domínio Físsuro-Cárstico:** corresponde à região de ocorrência de rochas sedimentares ou metassedimentares associadas a rochas calcárias (calcário, dolomitos e mármore). A água está presente nas descontinuidades da rocha, como falhas, fraturas e diáclases, aos quais se associam feições de dissolução nas rochas calcárias. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões, criando, por vezes rios subterrâneos. Estes sistemas aquíferos apresentam poços com produtividade muito variada.

**Domínio Intergranular:** a circulação da água ocorre nos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila que compõem a rocha. É representado pelas rochas sedimentares, como arenitos e conglomerados. De forma geral, constituem os mais importantes aquíferos pelo grande volume que



armazenam apresentando o maior potencial hídrico.

A combinação das estruturas geológicas com fatores geomorfológicos e climáticos do Brasil resultou na configuração de 10 províncias hidrogeológicas, que são regiões com sistemas aquíferos com condições semelhantes de armazenamento, circulação e qualidade de água. Os terrenos cristalinos fraturados e cárstico-fraturados ocupam 52% do País.

Em função da sua natureza heterogênea, eles normalmente apresentam potencial hídrico baixo, mas localmente podem constituir bons aquíferos. Aproximadamente 48% do território nacional é ocupado por bacias sedimentares onde se encontram importantes sistemas aquíferos com boa distribuição nas regiões hidrográficas. A maior parte destes aquíferos é do tipo poroso e possuem bom potencial hídrico, (SRH/MMA, 2003).

### **2.8.1. Caracterização dos Sistemas Aquíferos na Área de Estudo**

Regionalmente, a área do estudo está inserida na Província Hidrogeológica do Escudo Central, Ment (2000). Do ponto de vista geológico inclui parte da Província Estrutural do Tocantins, da Faixa Brasília, além de restritas porções do sul do Cráton Amazônico e Cráton do Guaporé.

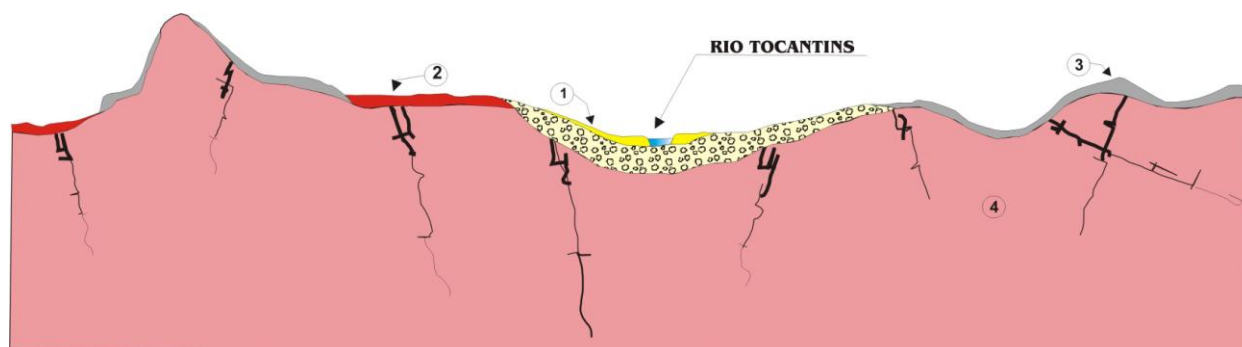
O Estudo de Impacto Ambiental apresentado para o empreendimento UHE Peixe Angical informa que predominam na região aquíferos fraturados desenvolvidos sobre terrenos granito-gnáissicos, coberturas metassedimentares e rochas vulcânicas ácidas do Grupo Araí.

O aquífero fissural possui baixo potencial hídrico, enquanto o das coberturas detritolateríticas (sedimentos cenozóicos, colúvios e alúvios) são caracteristicamente pouco profundos, com nível d'água bastante variável, ainda que possuam boa capacidade de infiltração. Os aquíferos cársticos são restritos a lentes de rochas carbonáticas pertencentes aos grupos Bambuí, Paranoá e Araí.

Campos & Seidel (2005), identificaram quatro sistemas aquíferos na área de estudo (Figura 2.3), que foram distinguidos em função das variações de parâmetros hidrodinâmicos como transmissividade, condutividade hidráulica, capacidade específica, além do tipo de porosidade.

Importante frisar que a classificação proposta foi realizada de forma qualitativa, sem a preocupação de definição precisa de valores dimensionais, os quais requerem maior disponibilidade de informações.

- (1) Sistema Aquífero Freático I - Aluviões
- (2) Sistema Aquífero Freático II – Latossolo
- (3) Sistema Aquífero Freático III – Cambissolo/Neossolo Litólico
- (4) Sistema Aquífero Cristalino – Granito/Gnaiss/Metassedimentos



**Figura 2.3** - Distribuição espacial dos sistemas aquíferos caracterizados na área de estudo.

O Sistema Freático I relaciona-se ao vale fluvial atual e ao paleo canal aluvial do Rio Tocantins. Litologicamente, esse sistema inclui os aluviões ou alternativamente aos neossolos litólicos (principalmente suas porções de granulometria mais grossa). Segundo o estudo a condutividade hidráulica é alta a muito alta, com média em torno de  $10^{-4}$  m/s. A transmissividade deverá variar de forma extrema, sendo os valores mais elevados esperados nas áreas de ocorrência dos aluviões mais grossos e mais espessos (cuja espessura pode ser da ordem de 10 metros) e o menores valores condicionados as áreas de aluviões lamosos e mais delgados ligados ao canal fluvial atual.

Em função da elevada condutividade hidráulica e da reduzida espessura média da zona vadosa esse sistema é considerado como o de maior vulnerabilidade à contaminação da região. A recarga desses sistemas se dá diretamente pela infiltração das águas de chuva ou pela água dos rios, após filtragem através dos bancos areno-silto-argilosos do dique marginal ou das porções mais rasas dos aluviões. A descarga se processa por nascentes difusas que deságuam diretamente no Rio Tocantins ou em seus tributários.

O Sistema Aquífero Freático II desenvolveu-se nos latossolos vermelhos e vermelho-amarelos de textura arenosa ou em áreas mais restritas, como neossolos quartzarênicos. Representa um sistema intergranular onde estão localizadas as mais importantes áreas de recarga regionais dos aquíferos, principalmente distribuídas ao longo das áreas mais planas e de menor densidade de drenagem como manchas associadas aos solos referidos.

A região de distribuição dos aquíferos do Sistema Aquífero Freático II apresenta taxas de declividades em geral inferiores a 5% e, apenas localmente, entre 5 e 10%. Estudos realizados indicam que as condutividades hidráulicas devem ser da ordem de grandeza de  $10^{-6}$  m/s ou maiores.

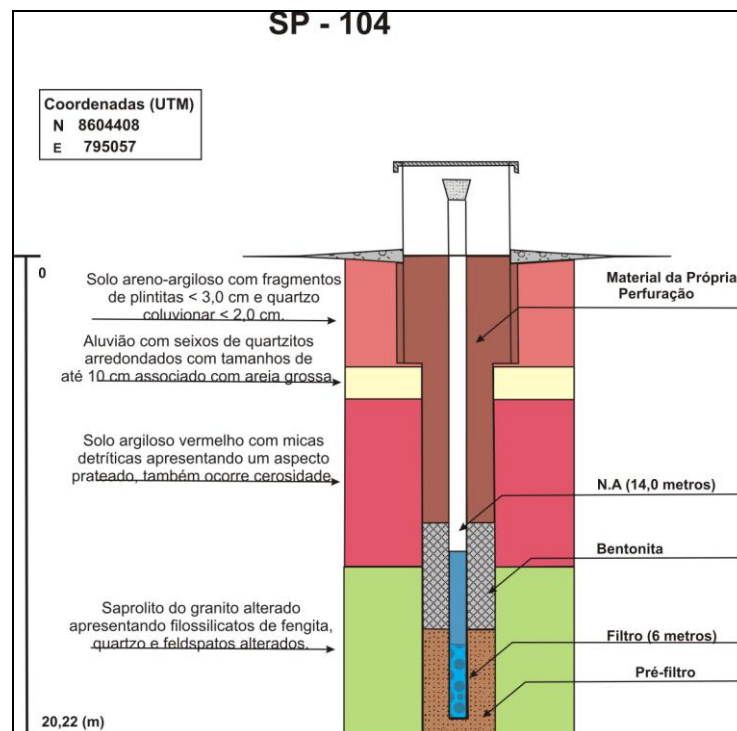
Representam aquíferos do tipo intergranulares contínuos, livres, de grande extensão lateral, com importância hidrogeológica local relativa moderada.

O Sistema Aquífero Freático III é composto por cambissolos litólicos e litossolos rasos, comumente com fragmentos líticos de rochas e quartzo de veios na porção superior. Compõem aquíferos intergranulares, descontínuos, livres e muito restritos lateralmente, com importância hidrogeológica local relativa muito pequena.

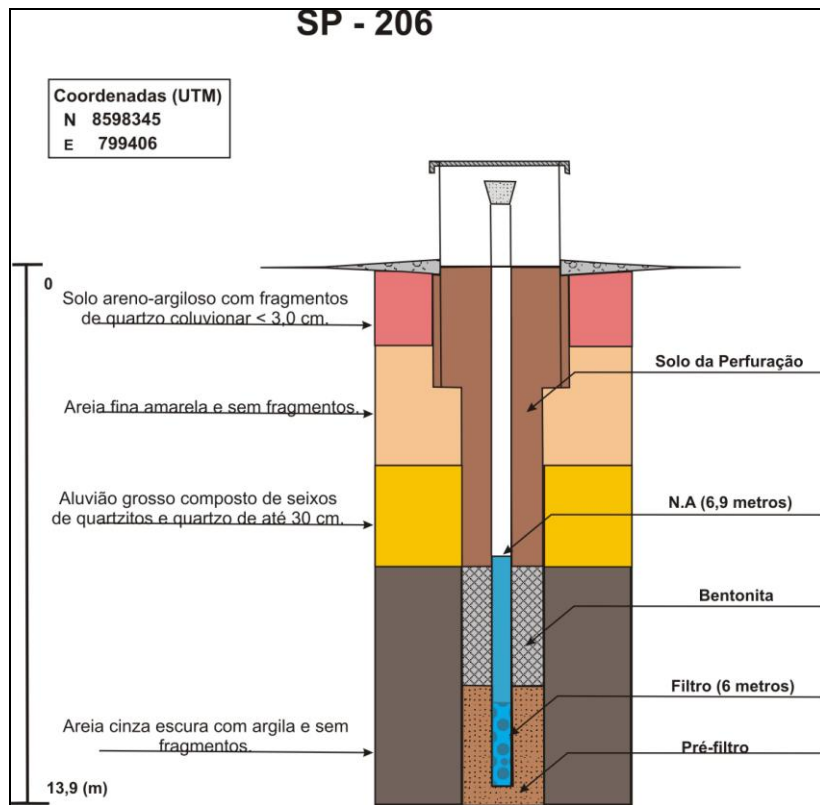
A condutividade hidráulica e a transmissividade são consideradas muito baixas respectivamente da ordem de  $10^{-8}$  m/s e  $10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s. A camada de cascalhos soltos, comumente observada na porção superior, funciona como uma esponja de captação das águas de precipitação de chuvas. Contudo, quando essas águas alcançam a interface de topo do horizonte A ou Bi, há forte interceptação e o fluxo interno descarrega as águas em direção às drenagens intermitentes.

O Sistema Aquífero Cristalino inclui as unidades psamíticas e pelíticas do Grupo Araí e as rochas graníticas e gnáissicas do embasamento. Compõe um sistema aquífero descontínuo, anisotrópico, heterogêneo, com extensão lateral variável, livre ou confinado e características hidrodinâmicas anisotrópicas. A área de distribuição deste subsistema é um fator que potencializa sua importância local, uma vez que ocorre em uma região extensa pode contribuir para o abastecimento de propriedades rurais e para complementar o abastecimento de pequenas aglomerações urbanas.

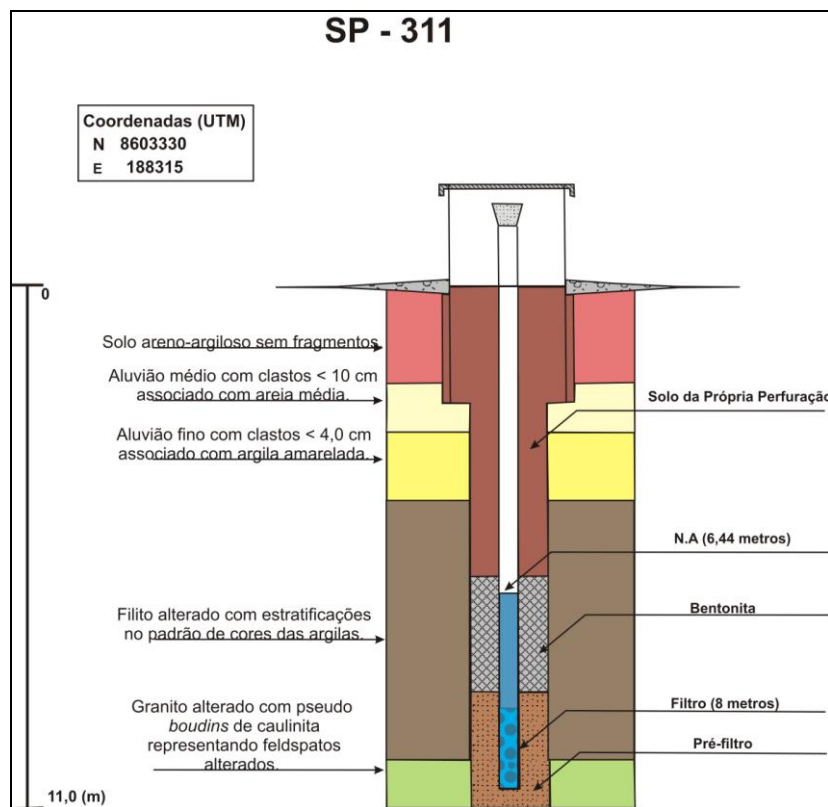
As figuras 2.4 a 2.6 exemplificam o tipo de material presente nos poços de monitoramento, representando as três áreas estudadas.



**Figura 2.4** - Exemplo de perfil construtivo e litológico de poço de monitoramento instalado na Vila do Retiro.



**Figura 2.5** - Exemplo de perfil construtivo e litológico de poço de monitoramento instalado na cidade de São Salvador do Tocantins.



**Figura 2.6** - Exemplo de perfil construtivo e litológico de poço de monitoramento instalado na área urbana de Paranã.

## 2.8.2 Variações dos Níveis Freáticos

Os dados de monitoramento do nível d'água medido diretamente nos 32 poços estão apresentados na tabela 2.3. Foi escolhido apenas o período chuvoso e o mês de janeiro em virtude da precipitação semelhante no período anterior e por apresentarem menores lacunas de medição.

**Tabela 2.3** – Variação de profundidade, em metros, dos níveis d'água no período chuvoso, antes e após a formação do reservatório.

Localização	Poços de Monitoramento	Período Chuvoso			Observações
		jan/05	jan/07	Variação	
Vila do Retiro	SP-100	8,3	4,8	3,5	Situada em uma porção mais central do lago, já era esperado maior elevação da águas subterrâneas rasas nesta região. A variação média ficou em torno de 5m, o que já era esperado. O valor observado no poço SP-107 – pode ser considerado como anômalo, não refletindo o restante da população.
	SP-101	7,92	5,66	2,26	
	SP-102	5	3,22	1,78	
	SP-103	9	6,07	2,93	
	SP-104	14	5,81	8,19	
	SP-105	11	3,27	7,73	
	SP-106	4,7	5,24	-0,54	
	SP-107	20,1	5,19	14,91	
São Salvador do Tocantins	SP-108	7,75	5,44	2,31	É a cidade que apresenta a maior média de profundidade de níveis d'água. O lago não interferiu de maneira significativa, pois apresentou elevação inferior a 1m em seu ponto mais crítico.
	SP-201	12,25	8,8	3,45	
	SP-202	11,25	11,95	-0,7	
	SP-203	6,75	7,53	-0,78	
	SP-204	9,5	10,46	-0,96	
	SP-205	8,7	8,86	-0,16	
	SP-206	6,9	6,57	0,33	
	SP-207	8,6	8,46	0,14	
	SP-208	12,3	12,19	0,11	
	SP-209	4,3	3,32	0,98	
	SP-210	8	7,79	0,21	
Paraná	SP-211	9,05	8,53	0,52	Como essa cidade está situada no remanso do lago, a elevação do nível foi restrita e sentida apenas nas porções mais baixas entre os rios Palma e Paranã. A diferença de nível observado no poço SP-314 é explicada pelo bombeamento realizado em poço próximo.
	SP-301	1,52	2,23	-0,71	
	SP-302	3,84	4,17	-0,33	
	SP-303	2,4	2,1	0,3	
	SP-304	3,74	4,18	-0,44	
	SP-305	2,16	3,33	-1,17	
	SP-306	10,21	7,75	2,46	
	SP-307	3,36	2,6	0,76	
	SP-308	7,52	5,95	1,57	
	SP-309	13,12	10,5	2,62	
	SP-310	19,75	18,32	1,43	
	SP-311	6,44	4,74	1,7	
	SP-312	3,36	3,45	-0,09	
	SP-313	10,58	11,9	-1,32	
	SP-314	7,87	16,12	-8,25	
SP-315	6,83	7,16	-0,33		

## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### **3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Para alcançar os objetivos propostos e responder as questões levantadas neste trabalho serão apresentados os resultados obtidos na avaliação da qualidade de água. Para tal foram realizados procedimentos analíticos nas amostras provenientes dos 32 poços de monitoramentos para as quatro campanhas. Ao total foram avaliados 32 parâmetros físico-químicos, resultando por volta de 992 dados químicos para avaliação e interpretação.

Os resultados das análises encontram-se em anexo, no entanto, para fins de discussão serão apresentados dados considerados relevantes para o entendimento ao longo do texto. O banco de dados, tabelas, gráficos e cálculos estatísticos foram elaborados no Programa Excel 2007, da Microsoft Corporation. Para a caracterização hidroquímica foi utilizado o Diagrama de Piper, onde é possível reconhecer o comportamento químico geral das águas subterrâneas coletadas na área de pesquisa de forma a classificar e comparar os distintos grupos com base nos íons dominantes. O Programa utilizado foi o software livre QUALIGRAF, elaborado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME e disponível no endereço eletrônico <http://www.funceme.br/>.

Para avaliação da qualidade da água e sua classificação foram usados conhecimentos técnico-científicos e as normas estabelecidas pela legislação em vigor. Dentre os padrões de qualidade existentes no país, os mais rigorosos são os de potabilidade, uma vez que estes estão associados ao fornecimento de água para consumo humano. Esse padrão está estabelecido pela Portaria N ° 518 de 25 de Março de 2004 do Ministério da Saúde, que apresenta os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. Em abril de 2008 foi aprovada a Resolução CONAMA N° 396 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Na referida Resolução é apresentada lista de parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas e seus respectivos valores máximos permitidos para cada um dos usos considerados.

#### **3.2 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS**

A caracterização geral das águas foi apoiada no diagrama de Piper que é adequado para salientar a influência dos macro-constituintes iônicos das águas naturais. Caracteriza-se, ainda, por evidenciar possíveis processos de mistura de diferentes águas. Em geral, todas as amostras de água situam-se no campo das águas bicarbonatadas. A maior concentração dos pontos ocorre no campo

das águas cálcicas e/ou cálcio magnesianas, algumas com tendência mista cálcio-sódica. O detalhamento para as três regiões amostradas é apresentado nos itens a seguir.

### 3.2.1 Poços de Monitoramento na Vila do Retiro

A representação dos resultados das análises físico-químicas das águas dos poços de monitoramento no diagrama de Piper (Figura 3.1) mostrou predomínio de águas bicarbonatadas, independente do período de amostragem.

Enfocando-se a relação entre os cátions (triângulo Ca-Mg-Na) e ânions ( $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl}$ ) percebe-se a seguinte relação para as quatro campanhas de amostragem:

- Primeira campanha em período chuvoso – há enriquecimento de Ca e Mg, representando 55% e 22%, em relação aos ânions 100% são águas bicarbonatadas.
- Segunda Campanha, período seco – há tendência das águas se enriquecerem em Na, a relação existente é de  $\text{Na} > \text{H}_2\text{O}$  mistas (55% e restante águas mistas  $\text{Ca}^{2+}$   $\text{Mg}^{2+}$   $\text{Na}^+$ ). Este fato pode ser explicado pelas condições de ocupação das áreas e pela forma do saneamento local.
- Terceira Campanha que se refere ao período chuvoso e após enchimento – verifica-se uma visível dispersão dos dados, não há mais uma homogeneidade observada nas campanhas anteriores. 66% das amostras se concentram no triângulo das águas mistas e o restante, 22 e 11%, estão enriquecidas em Ca e Mg, respectivamente. Em relação aos ânions, ainda prevalece a classificação de águas bicarbonatadas. As amostras SP 102 e 104, no entanto, mostram um comportamento heterogêneo, uma vez que caíram no triângulo de águas mistas, e saem de uma condição de águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, para águas sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas. Essa situação ocorre apenas nesta campanha, provavelmente por ser um período chuvoso, aliado a entrada de água do reservatório, propiciou maior mistura de águas, ocasionando esta dispersão.
- Quarta Campanha que mostra um comportamento muito semelhante ao que ocorre na 2ª campanha. Prevalece maior concentração do íon Na, em torno de 66%, e o restante – 37% são águas mistas.

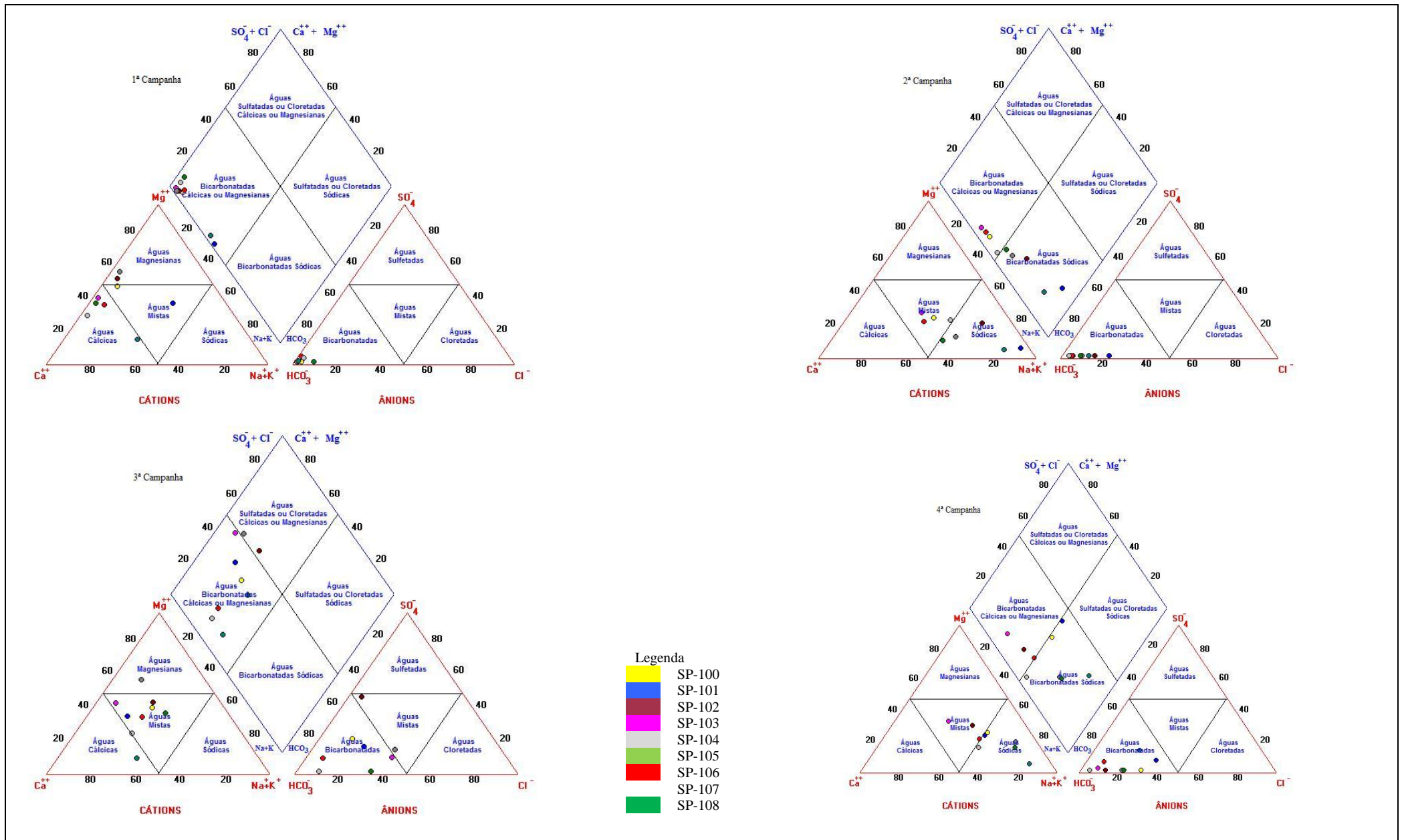


Figura 3.1 - Diagrama de Piper com a representação das 4 campanhas na Vila do Retiro.



Conforme se verifica na Figura 3.1, as características químicas das águas na Vila do Retiro evoluíram ao longo do período amostrado. No entanto, pode-se agrupar nos períodos de chuva e de seca, onde se percebe que o perfil da água se mantém constante, em alguns casos pontuais se verifica oscilações nas concentrações dos íons. No período seco, considera-se que o saprolito é o principal controle como fornecedor de íons. A presença de granitóides intemperizados ricos em biotita e clorita é responsável pela disponibilização de cálcio e magnésio e o ânion predominante é disponibilizado a partir de plagioclásios alterados. A nítida mudança apresentada na primeira e terceira campanha pode ser influência da entrada de águas novas (chuvas) ou do próprio lago.

### 3.2.2 Poços de Monitoramento em São Salvador do Tocantins

De modo semelhante ao que ocorre na Vila do Retiro, as águas de São Salvador do Tocantins na primeira campanha são bicarbonatadas cálcicas magnesianas (Figura 3.2). Os ânions no triângulo  $\text{HCO}_3^- \text{SO}_4^{2-} \text{Cl}^-$  mostram que 100% das águas plotam no campo das bicarbonatadas, com ligeira variação para o  $\text{Cl}^-$ , mas todas mantendo a mesma proporção de  $\text{SO}_4^{2-}$ . Em relação aos cátions há uma dispersão no eixo Ca-Mg, na proporção de 54% e 27,3%, respectivamente, o restante se refere às águas mistas, representadas pelos poços SP 201 e 202.

Na segunda campanha as águas ainda se mantêm como bicarbonatadas cálcicas magnesianas, a exceção do poço SP 209 que muda sua hidroquímica para águas sulfatadas ou cloretadas sódica. No triângulo dos ânions esta amostra também destoa, enquanto que as águas dos 10 poços de monitoramento formam um grupo homogêneo no campo das águas bicarbonatadas, a amostra oriunda do ponto SP 209 se desloca para o campo das águas cloretadas. Em relação aos cátions as águas tendem a apresentar um comportamento homogêneo, 6 dos 12 poços plotam no triângulo das águas mistas, 4 ainda se mantêm como cálcicas e a amostra SP 209 se enriquece em sódio, o que já era esperado pelo comportamento nos demais campos.

A terceira campanha mostra uma maior dispersão dos dados, em todos os campos do diagrama de Piper. A razão de cátion está na proporção de 36% de Mg, 45% de águas mistas, 9% de Ca e 9% de Na, que corresponde as amostras SP 206 e 210, respectivamente. No eixo  $\text{HCO}_3^- \text{SO}_4^{2-} \text{Cl}^-$ , ainda prevalecem às águas bicarbonatadas, no entanto, percebe-se uma maior variação dos dados e a tendência das águas dos poços SP 202, SP 203 e SP 205 se tornarem mistas. Observa-se, ainda, que alguns dos poços de amostragem as águas saem de uma condição de águas bicarbonatada cálcicas ou magnesianas para águas sulfatadas ou cloretadas cálcicas-magnesianas.

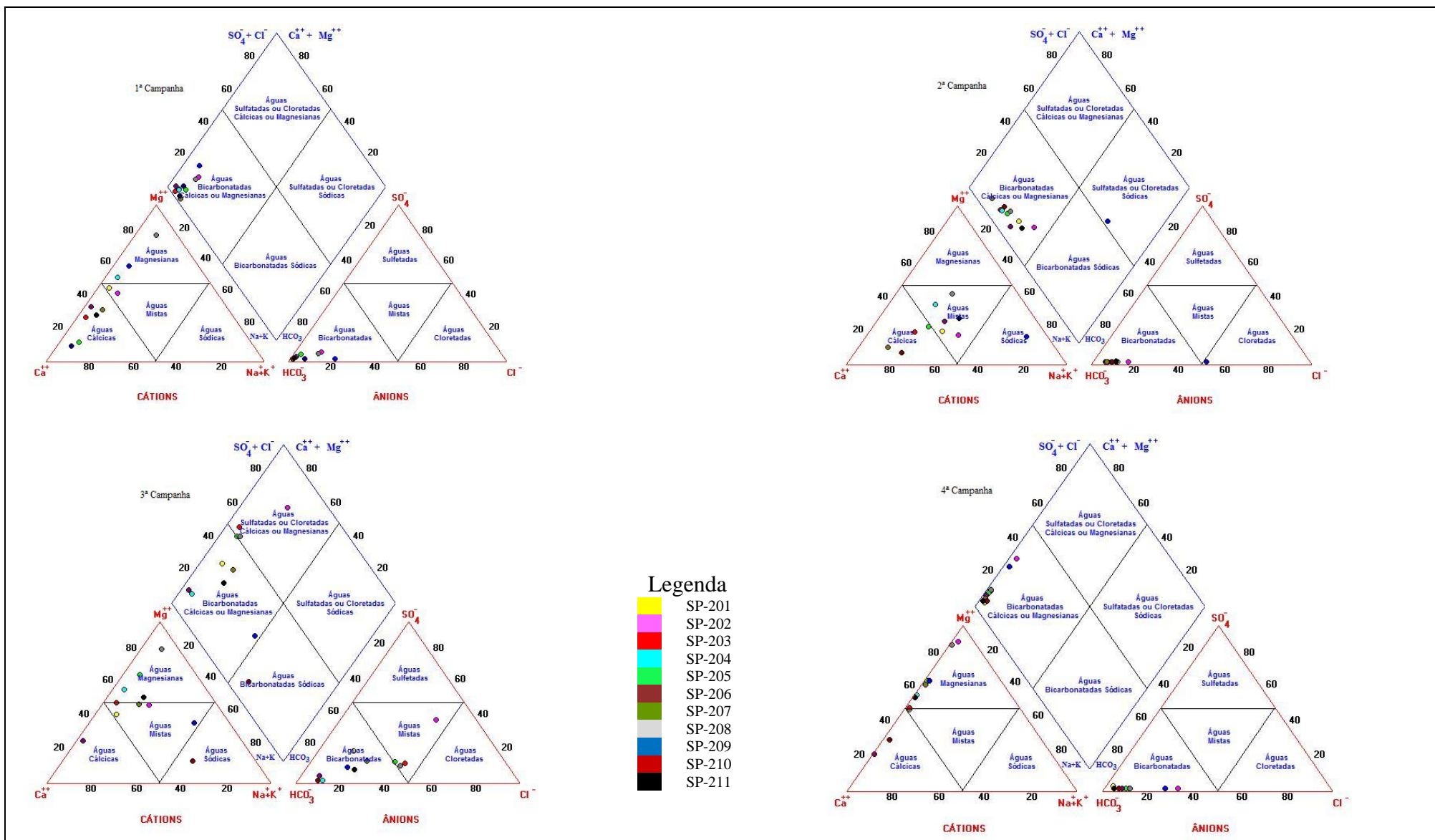


Figura 3.2 – Diagrama de Piper para as 4 campanhas de amostragem em São Salvador do Tocantins

Na quarta campanha as águas formam um grupo homogêneo na faixa bicarbonatada cálcica magnesianas, com concentração no eixo do Mg. Há uma ligeira dispersão nas amostras SP 202 e 205, no entanto, elas permanecem no mesmo campo. No triângulo  $\text{Ca}^{2+} \text{Mg}^{2+} \text{Na}^+ + \text{K}^+$ , as águas formam uma linha contínua no eixo Ca-Mg, com a proporção de  $\text{Mg} \gg \text{Ca}$  (72% Mg, 18% Ca e 10% mistas). Em relação aos ânions, a concentração também é nas águas bicarbonatadas, com enriquecimento em  $\text{Cl}^-$  nas amostras SP 202 e SP 205.

Ao contrário do que ocorre na Vila do Retiro não há um padrão definido para as campanhas nos períodos secos e chuvosos. O diagrama de Piper elaborado mostra uma heterogeneidade, havendo mais semelhanças no padrão hidroquímico da 1ª e 4ª campanha. A 3ª campanha, semelhante ao que ocorreu na Vila do Retiro, mostrou um padrão aleatório. Pode-se concluir que com esta primeira entrada das águas do reservatório aliada ao período de chuva propiciou uma mistura maior de diferentes tipos de água, há diferenças significativas nas quatro campanhas de amostragem.

### 3.2.3 Poços de Monitoramento em Paranã

O padrão hidroquímico das águas dos poços de monitoramento da cidade de Paranã para as quatro campanhas de amostragem é apresentado na Figura 3.3. Na primeira campanha as amostras formam um grupo coeso no campo das águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. A exceção é a amostra SP 314 que é classificada como sulfatada ou cloretada e a SP 315 que tende a se enriquecer em  $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$ . Em relação aos ânions, apenas a amostra SP 314 não plota no campo das águas bicarbonatadas. No triângulo dos cátions 75% das amostras são águas cálcicas e 25 % magnesianas.

Na segunda campanha há uma tendência de deslocamento para o campo das águas bicarbonatadas sódicas, a exemplo dos poços SP 300 e SP 311. No triângulo dos cátions 50% das amostras são cálcicas, 37% são mistas e 12%, correspondem aos poços com águas alcalinas.

Na terceira campanha que corresponde ao período chuvoso e após o enchimento, há uma inversão das concentrações. Alguns poços saem de uma condição de águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, para cloretadas cálcicas ou magnesianas. No campo dos ânions ocorre uma dispersão na concentração das águas dos poços, a exemplo das amostras SP 303, 304, 306, 311 que saem de uma condição de águas bicarbonatadas para águas cloretadas. Para os cátions o  $\text{Ca}^{2+}$  ainda permanece como íon dominante, seguido das águas mistas e águas magnesianas (SP 308, 304 e 302).

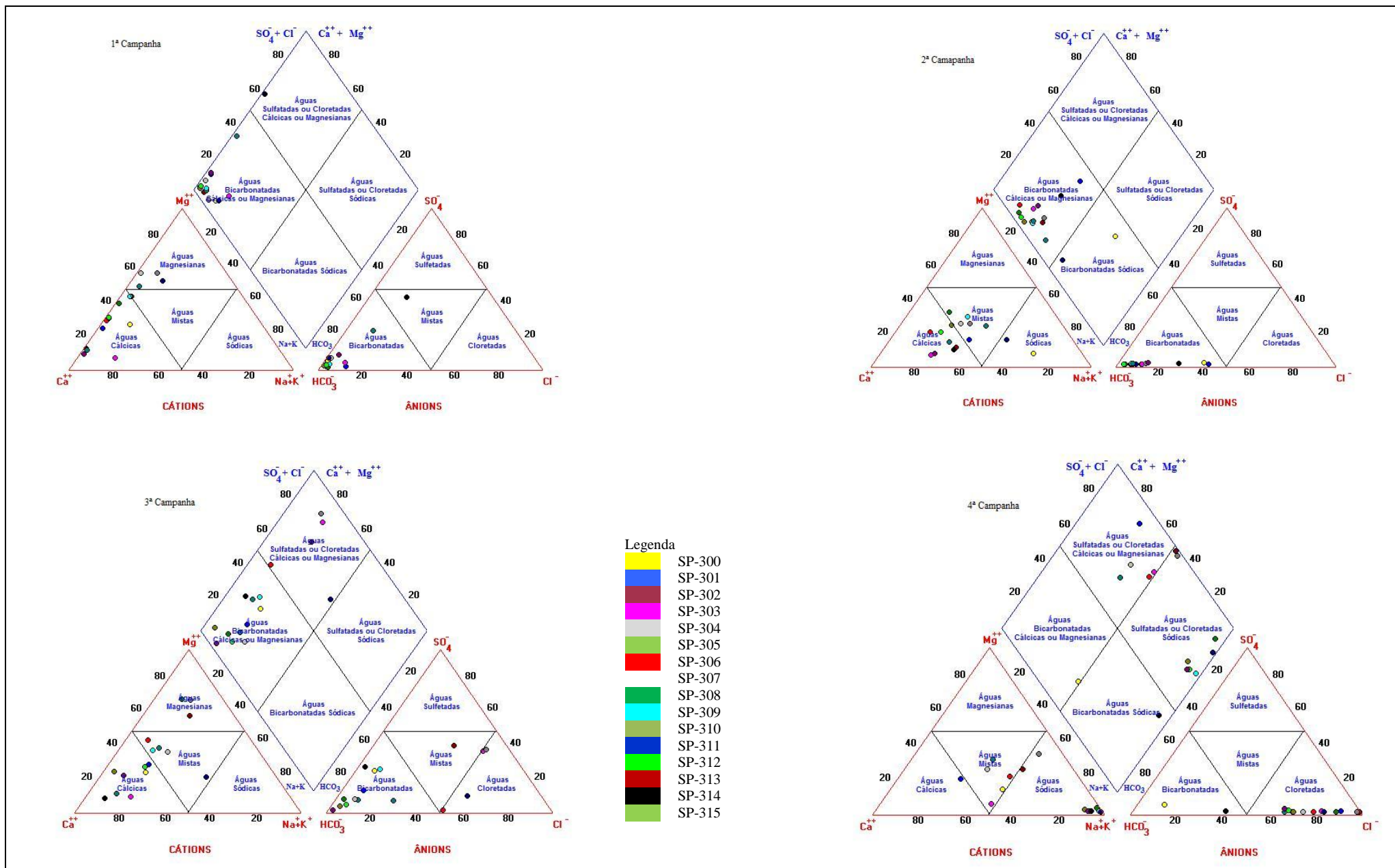


Figura 3.3 - Diagrama de Piper com a representação das 4 campanhas em Paranã.

O gráfico obtido na quarta campanha se distanciou completamente do padrão até então observado. Prevalece enriquecimento em águas cloretadas, quase 86% dos poços caem neste campo, apenas as amostras SP 300 e SP 315 permanecem como bicarbonatadas. Dos 15 poços amostrados, 5 forneceram águas sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas, 8 plotam no campo das águas sulfatadas ou cloretadas sódicas. No caso dos cátions 60% são águas sódicas, 33% são águas mistas e apenas uma amostra indica característica de água cálcica.

A presença de  $\text{Na}^+$  aliado ao  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  é freqüentemente atribuída a contaminações antrópicas, o que pode ocorrer em alguns poços pouco profundos e em águas residindo por pouco tempo no aquífero. Na maioria dos casos o ambiente alcalino é quem eleva a relação  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  pela imobilização do cálcio e também do magnésio. O  $\text{Cl}^-$  apresenta forte correlação com o  $\text{Na}^+$ , o que é indicativo de se tratar de controle antropogênico, vinculado a acumulação em esgotos domésticos.

Desta forma, as composições tendendo para o campo sódico, sugerem contribuição de fontes externas ao aquífero, enquanto que teores maiores de magnésio podem perfeitamente se relacionar com os tipos petrográficos que compõem o aquífero local. A localidade de Paranã foi o caso em que os poços de monitoramento interceptaram maior seção de saprolitos abaixo dos materiais aluvionares (areias e cascalhos). Identificam-se pelo menos duas populações distintas, que podem ser resultado de diferentes aquíferos e também estar relacionado à nova condição do ambiente.

### **3.3 AVALIAÇÃO DE VARIAÇÕES SAZONAIS E RELAÇÕES ENTRE ELEVAÇÃO DO NÍVEL FREÁTICO E MUDANÇA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA**

O aspecto climático está fortemente relacionado com a taxa entre recargas e descargas do aquífero. Segundo Sophocleous (2002), de maneira geral, sob condições de baixa precipitação, o fluxo nos corpos superficiais resulta, em sua maior parte, da contribuição subterrânea, causando uma redução da carga hidráulica do nível freático. Por outro lado, em condições de alta precipitação, o aumento gradativo dos níveis superficiais de água pode elevar a infiltração para o aquífero, aumentando a recarga da água subterrânea.

Assim para a análise das eventuais variações sazonais da composição das águas devem-se considerar os pares 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> campanhas e 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> campanhas de forma que se possa avaliar as composições quando os níveis estavam mais rasos (época de chuva, com águas mais diluídas) e quando os níveis freáticos se encontravam mais profundos (época seca do ano, quando as águas são potencialmente mais concentradas).

Em função da elevação artificial dos níveis freáticos (com formação do lago), devem ser comparados os pares representados pelas 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> campanhas e pelas 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> campanhas que

representam respectivamente período antes e depois da formação do lago. Esta avaliação se realizará tendo como base os mesmos gráficos elaborados para variações sazonais.

Os gráficos representados pelas Figuras 3.4 a 3.29 foram apresentados em conjunto para as quatro campanhas e em separado por cada cidade estudada. Essa metodologia visou facilitar a avaliação global, por meio de uma análise direta, e também para eliminar possíveis efeitos de anomalias locais, diferenças geológicas e em especial para as diferenças de concentrações presentes nas três localidades estudadas. A exceção é dada para os parâmetros de pH e para série nitrogenada, onde se optou por construir em único gráfico.

A escolha dos parâmetros, em especial aqueles adequados para avaliar a qualidade de água, teve por base estudo realizado por Boaventura & Freitas (2006). Quando necessário, a avaliação dos resultados foi feita com base nos padrões de potabilidade estabelecidos na legislação federal.

### 3.3.1 – Evolução química ao longo das quatro campanhas de amostragem

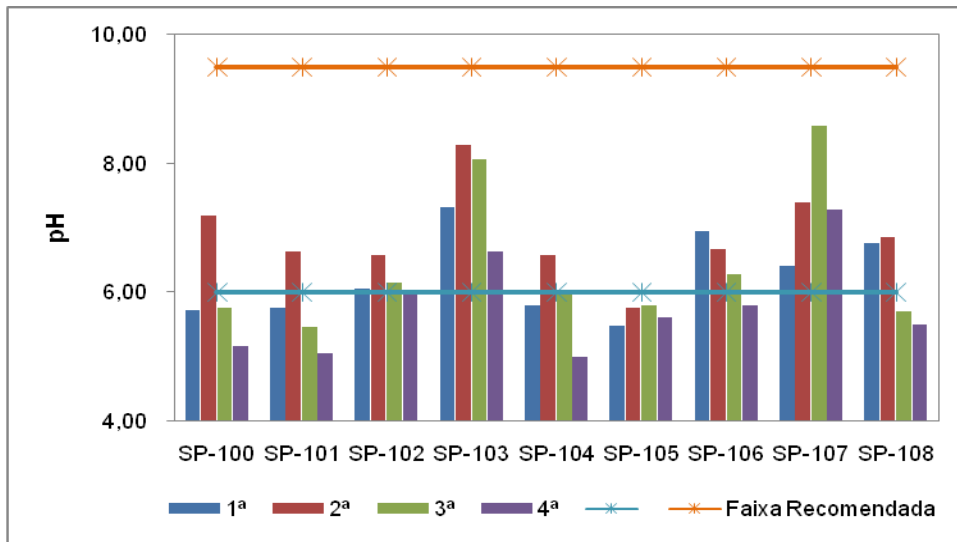
#### pH

A Portaria MS 518 recomenda que no sistema de distribuição os valores de pH fiquem na faixa 6,0 a 9,5. Considerando as 4 campanhas realizadas nas três áreas de estudo observa-se pelas Figuras 3.4 a 3.6, que nenhuma amostra ultrapassou o valor máximo permitido, no entanto, em pelo menos 45% das amostras foram obtidos valores inferiores a 6.

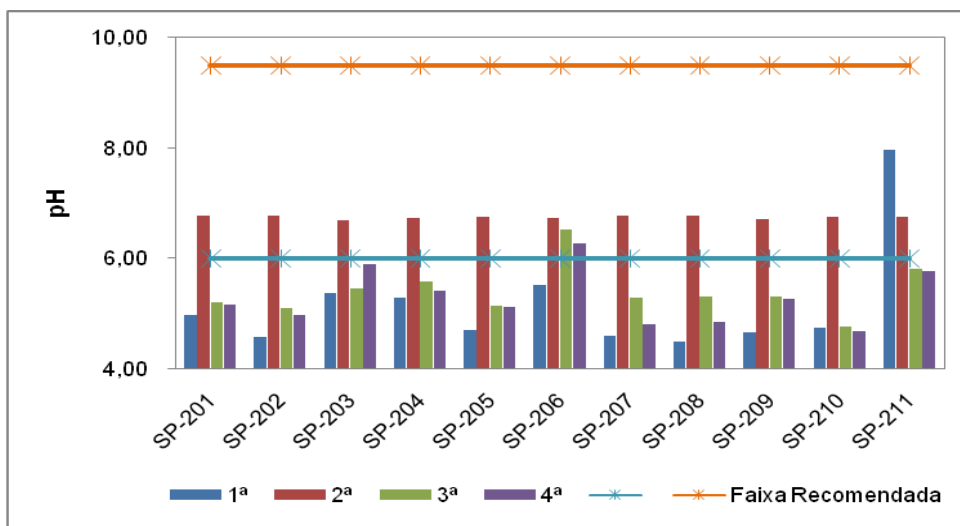
Uma análise de estatística descritiva, Tabela 3.1, mostra que as amostras de Paranã foram as que apresentaram maior variação, o pH oscilou de 3,41 a 7,7; seguida pela Vila do Retiro com valores de 5,06 a 8,58 e São Salvador do Tocantins de 4,51 a 7,97.

**Tabela 3.1** - Valores de média, máximo e mínimo para o pH nos quatro períodos de amostragens.

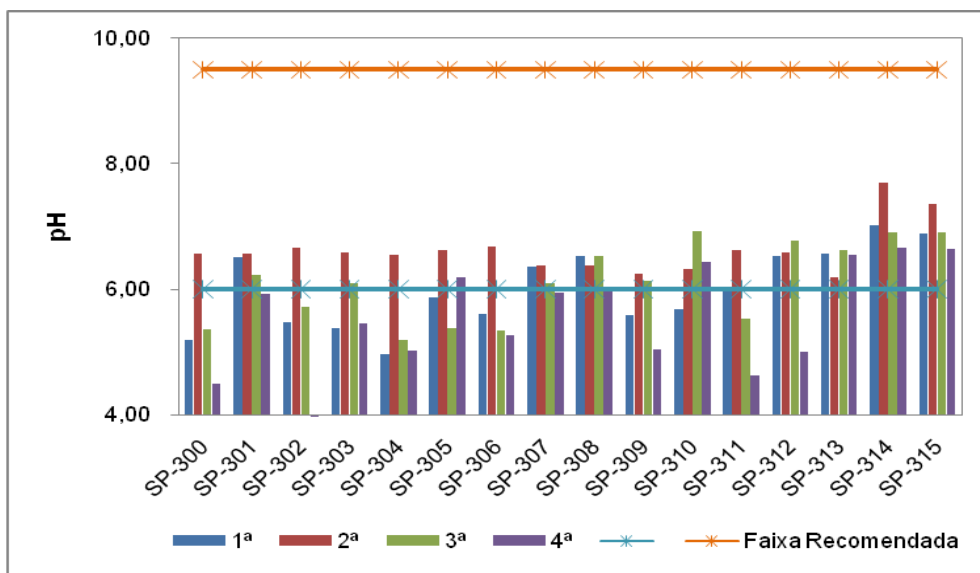
	n		1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
<b>Vila do Retiro</b>	9	Média	6,25	6,89	6,43	6,01
		Máximo	7,32	8,29	8,58	7,28
		Mínimo	5,48	5,77	5,46	5,06
<b>São Salvador do Tocantins</b>	11	Média	5,18	6,75	5,41	5,3
		Máximo	7,97	6,78	6,54	6,27
		Mínimo	4,51	6,7	4,77	4,68
<b>Paraná</b>	16	Média	6,01	6,62	6,11	5,51
		Máximo	7,02	7,7	6,92	6,66
		Mínimo	4,97	6,19	5,18	3,41



**Figura 3.4** - Variação de pH na Vila do Retiro e intervalo recomendado pela Portaria MS 518.



**Figura 3.5** - Variação de pH em São Salvador e intervalo recomendado pela Portaria MS 518.



**Figura 3.6** - Variação de pH em Paranã e intervalo recomendado pela Portaria MS 518.

A partir dos valores apresentados e pela observação dos gráficos é possível avaliar que, comparativamente, as águas da Vila do Retiro apresentam pH mais elevado. De maneira geral o resultado mostra um comportamento homogêneo para águas subterrâneas nas três áreas estudadas, com média de pH em torno de 6, levemente ácido na maioria dos pontos. Do universo de 144 dados químicos 86% apresentaram valores compreendidos entre 5-7, ou seja, ligeiramente ácidas tendendo a alcalinidade; 7,6% deram valores superiores a 7, caracterizadas como alcalinas e 5% estão com pH abaixo de 5, condição ácidas. Em relação às condições fortemente ácidas registram-se apenas amostra SP-302, na quarta campanha.

Esses resultados mostram que as águas freáticas das áreas pesquisadas são oriundas de infiltração direta de chuva. As águas de precipitação são ácidas, em função da elevada concentração de CO<sub>2</sub> que é capturado da atmosfera e dissolvido na água. Outro fator que influencia este comportamento está associado ao material do ambiente por onde percola, que é representado por areias e cascalhos silicosos, cujo pH de contato é ácido.

Os resultados obtidos no valor de pH da água do rio Tocantins para a estação de Peixe variaram de 8,50 a 5,95, com média de 8,03. O aquífero freático, pela sua proximidade com a superfície sofre os efeitos diretos do uso e ocupação do solo. Os volumes adicionais de recarga são os prováveis responsáveis pelos valores alcalinos.

Constata-se que cerca de 50% dos valores de pH encontram-se na faixa de 6,0 a 9,5, consideradas adequadas para o consumo humano. Aquelas consideradas ácidas, com pH abaixo de 5, totalizaram 10,5% da população amostrada. Fatores tais como presença de CO<sub>2</sub> e ácidos húmicos livres em solução, situação típica de zonas tropicais, bem como esgotos domésticos e fossas podem contribuir para a acidez das águas.

Segundo Carmo (2007), valores de pH na maioria das águas subterrâneas são devidos ao teor de dióxido de carbono dissolvido e carbonatos, as oscilações nos valores normalmente estão associadas ao uso do solo e a efeitos sazonais.

Quando se compara a segunda e quarta campanha, identifica-se que no período seco há maior influência do reservatório, pelo menos no período de amostragem deste estudo. A tendência é de ocorrer variação nas concentrações nestas duas fases, diferente do que acontece na primeira e terceira campanha, que tendem a apresentar dados mais homogêneos.

### **Compostos de Nitrogênio**

A detecção de nitrogênio nos seus diferentes estados de oxidação (Nitrito - NO<sub>2</sub>, Amônia - NH<sub>3</sub><sup>-</sup>, Nitrato - NO<sub>3</sub>) em águas subterrâneas é um forte indicativo de contaminação, tendo como causa, normalmente, as condições higiênico-sanitárias precárias.



A Portaria 518 do Ministério da Saúde e a Resolução CONAMA 396/2008 determinam o valor máximo permissível de 1mg/L de  $\text{NO}_2$ , 1,5mg/L de  $\text{NH}_3^-$ , 10mg/l  $\text{NO}_3^-$ , este segundo somente considerado pela Portaria 518.

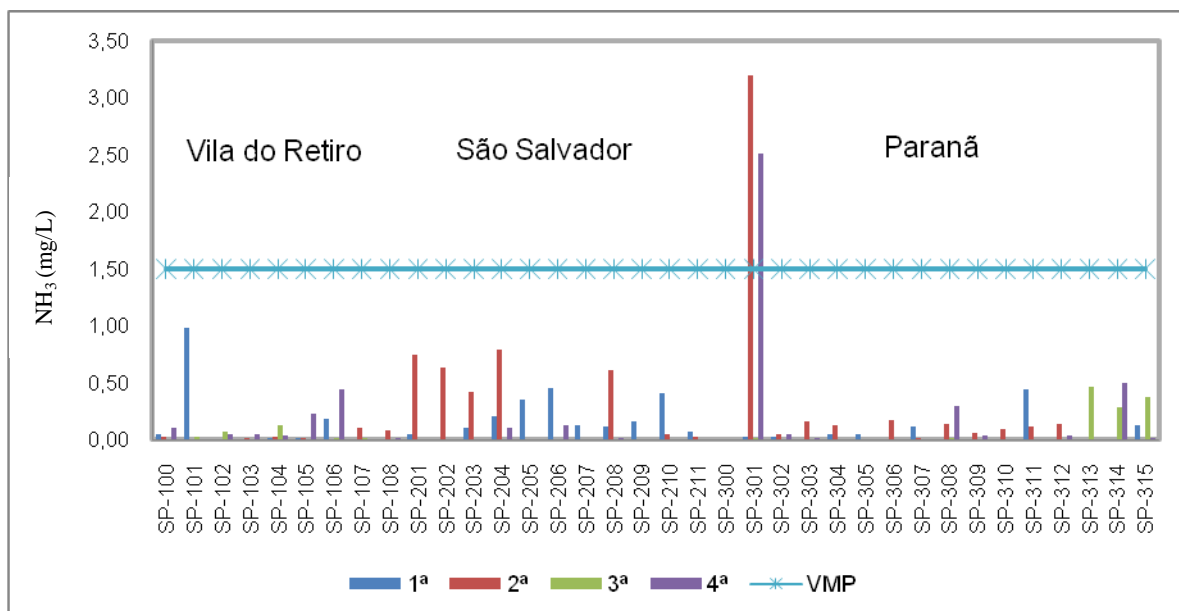
Os compostos nitrogenados apresentam comportamento em função das condições de oxidação e redução do meio. Assim, amônia e nitritos são praticamente ausentes em águas de ambientes oxidantes. Quando existentes, são rapidamente convertidos para nitrato pelo oxigênio presente na zona não saturada do aquífero.

As principais fontes de nitrogênio nas águas naturais são os esgotos sanitários e fertilizantes. Assim, os compostos nitrogenados são importantes na avaliação da qualidade geral da água subterrânea e sua presença em valores elevados indica contaminação por fonte externa, uma vez que, são raros os minerais que possuem nitrogênio em sua estrutura cristalina.

As análises indicaram que as formas de nitrogênio presentes na água (nitrito, amônia e nitrato) são as mais efetivas para a determinação da contaminação das águas subterrâneas, uma vez que na região não existe qualquer mineral que contenha nitrogênio em sua composição. O nitrogênio atmosférico por ocorrer na forma de  $\text{N}_2$  é um gás estável e não pode ser considerado para a formação dos compostos nitrogenados nas águas subterrâneas. O nitrogênio orgânico presente na fase vegetacional apresenta baixos teores e sua decomposição deve ser retida na zona não saturada do aquífero.

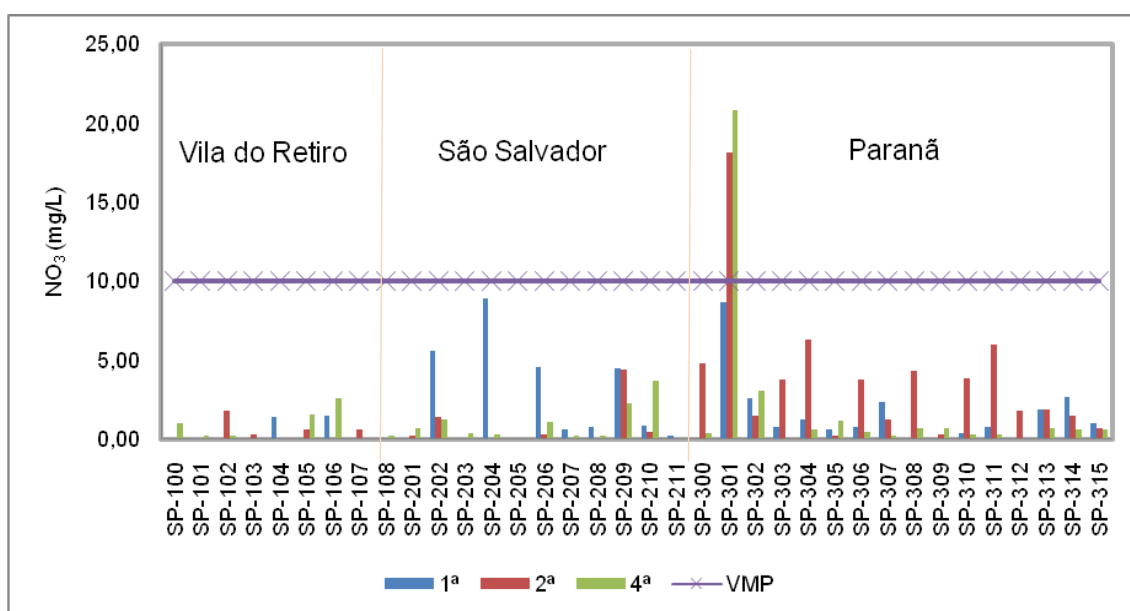
Os resultados de compostos nitrogenados na forma de amônia e nitrato são apresentados nas Figuras 3.7 e 3.8. Os valores de nitrito foram nulos para todas as amostras. Salienta-se que na terceira campanha os valores de nitrato foram desconsiderados em função da detecção de problemas analíticos.

As formas de ocorrência de nitrogênio como amônia e nitrito ocorrem em teores muito baixos, no máximo próximo ao limite de potabilidade, o que indica que as fontes de contaminação são antigas e grande parte destas substâncias já se converteram em nitrato por processos de oxidação na zona não saturada dos aquíferos.



**Figura 3.7** - Concentração de Amônia (NH<sub>3</sub> mg/L) nas três áreas de estudo.

No caso do nitrato, observam-se valores acima do máximo permitido para uma amostra da cidade de Paranã, referente ao poço SP-301, onde na 2<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> campanhas os resultados foram acima do estipulado pela legislação. Esta cidade apresentou na média as maiores concentrações, sendo que na 2<sup>a</sup> campanha estes valores também são, em geral, elevados. Para as três áreas estudadas, a Vila do Retiro é que apresenta menor concentração de nitrato, com valores de certa forma uniformes, seguida de São Salvador do Tocantins. Essa constatação é atribuída ao fator acumulação, uma vez que Paranã é a cidade com ocupação mais antiga, seguida de São Salvador do Tocantins (com população e tempo de ocupação intermediária). A Vila do Retiro possui centro urbano pequeno e tem sua história de ocupação mais recente.



**Figura 3.8** - Concentração de Nitrato (NO<sub>3</sub> mg/L) nas três áreas de estudo.

Observa-se da Figura 3.8 que houve um aumento relativo na concentração de nitrato na 4ª campanha, demonstrando que a pluma de contaminação está se espalhando na região dos três núcleos urbanos estudados. Esse fato não poderia ser atribuído à elevação e inversão de fluxo do rio para o aquífero, uma vez que as águas dos rios da região apresentam baixos teores de nitrato e amônia. O ponto de monitoramento representado pelo poço SP-301 mostra que a fonte de contaminação é contínua, pois os valores são elevados para as duas substâncias.

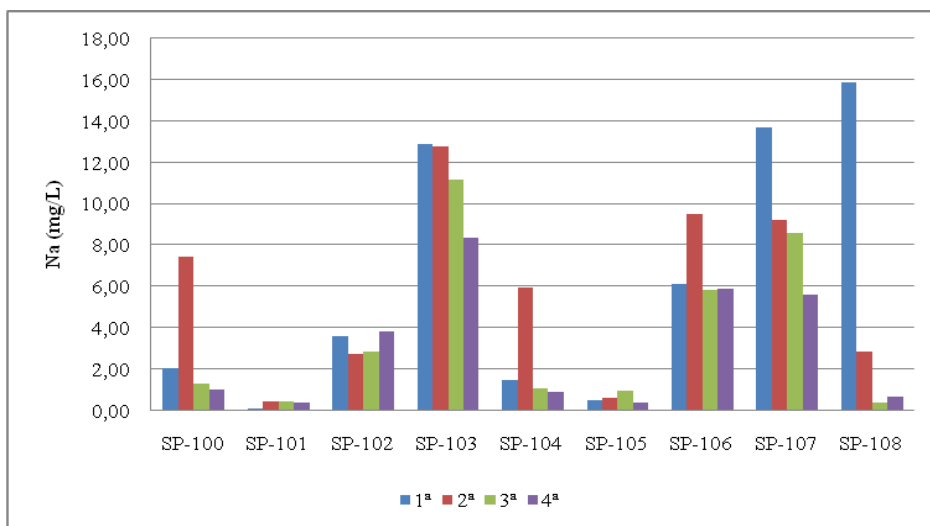
Em relação ao comportamento do nitrato, pode-se informar que esse representa uma substância tipicamente antropogênica (relacionada a atividades humanas). Assim, observa-se que não há qualquer relação de sazonalidade ou relativa à elevação artificial do nível freático com a distribuição das concentrações desta substância. Teoricamente os valores de nitrato, nos períodos de menor precipitação, tendem a aumentar, é o que se observa Figura 3.8, em especial na 2ª campanha. No entanto, é verdade também que a subida do lençol freático nos período chuvoso possibilita a aproximação e até mesmo o contato direto com a fossa, como consequência há aumento na concentração do nitrato. Na solução do solo o nitrato fica muito propenso ao processo de lixiviação e ao longo do tempo pode haver considerável incremento nos teores desta substância nas águas profundas.

A utilização de sistemas de fossa e despejo de esgoto *in situ* são situações que afetam os municípios, refletindo na qualidade da águas monitoradas. Aliado a isso, as características geológicas onde se predomina material arenoso, favorecem a infiltração das cargas poluentes oriundas dos sistemas sépticos das localidades em estudo. A construção de poços de forma inadequada, sem condições de proteção também podem facilitar a entrada de contaminantes ao aquífero.

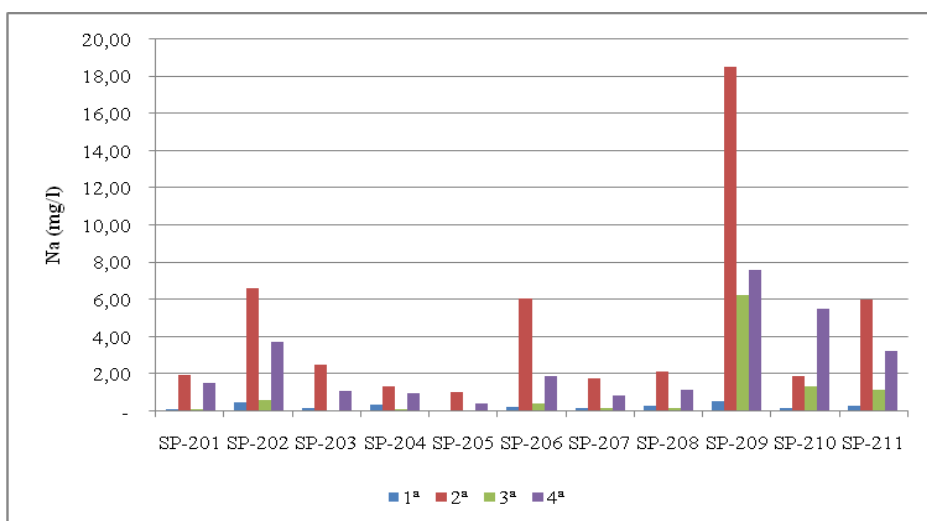
### **Sódio**

A análise das Figuras 3.9 a 3.11 mostra que o sódio apresenta um nítido controle sazonal, em que no período de seca (meses de agosto) há aumento da concentração que pode superar 40 mg/l na região de Paranã e quase 20 mg/l na região de São Salvador do Tocantins.

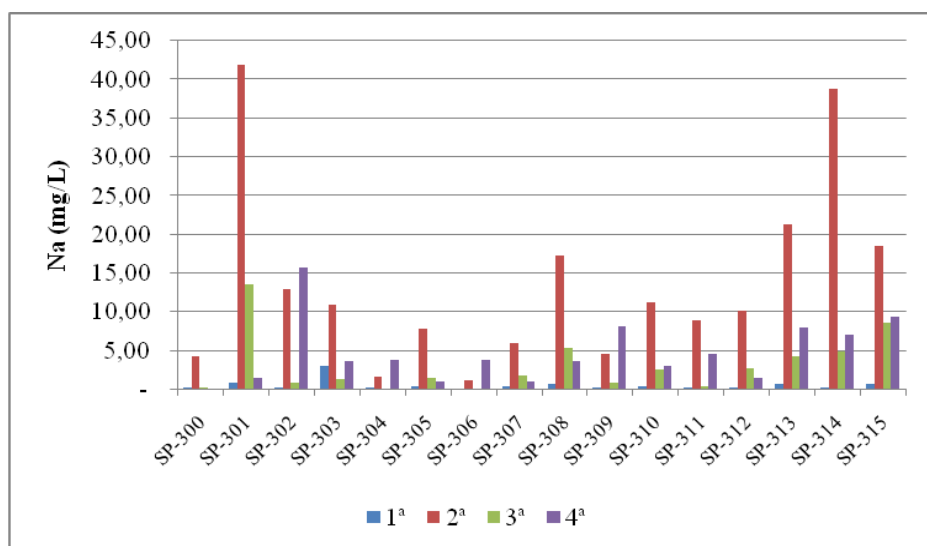
Uma avaliação direta dos gráficos de barras na Vila do Retiro mostra que as menores concentrações de Na quase sempre estão relacionados a terceira e quarta campanha, ou seja, após a formação do lago. Para as três regiões de amostragem percebe-se que a alteração significativa se verifica pela maior homogeneidade das amostras, em virtude da diluição das concentrações médias do sódio. Apenas no ponto SP-302 não ocorreu concentração em termos sazonais do sódio (aumento nos períodos secos do ano).



**Figura 3.9** - Comparação das concentrações do sódio nas quatro campanhas de amostragem na Vila do Retiro.



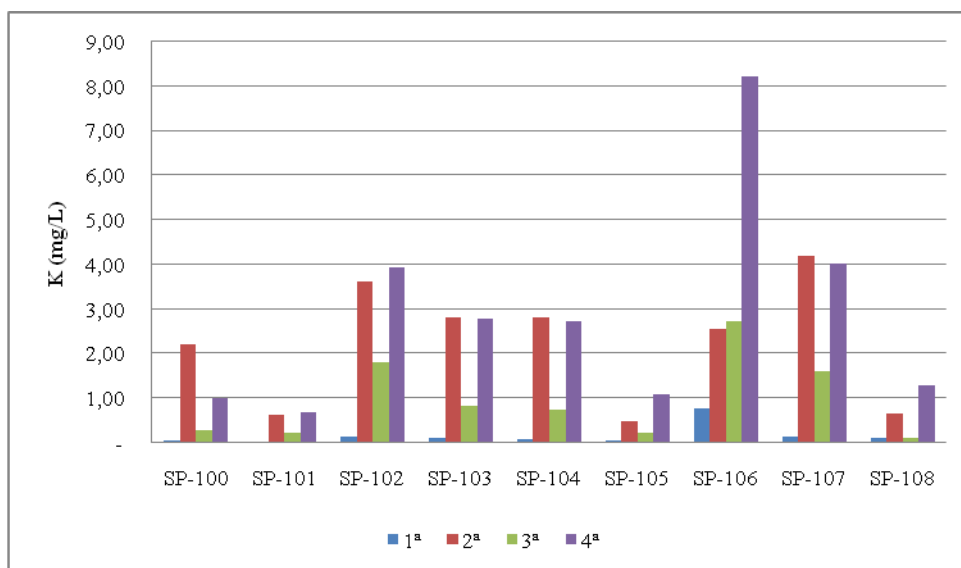
**Figura 3.10** - Comparação das concentrações do sódio nas quatro campanhas de amostragem na cidade de São Salvador do Tocantins.



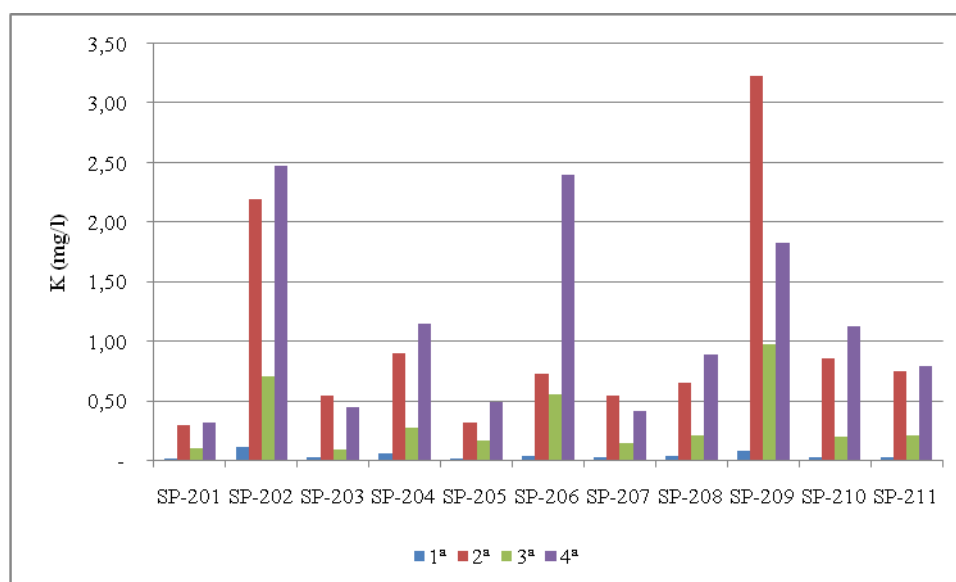
**Figura 3.11** - Comparação das concentrações do sódio nas quatro campanhas de amostragem na cidade de Paranã.

## Potássio

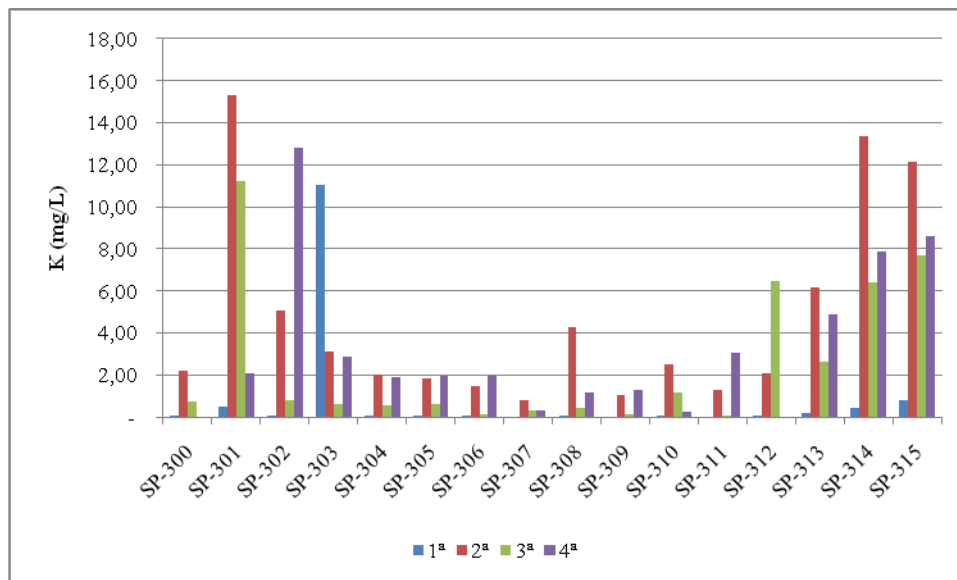
A concentração de potássio (Figuras 3.12 a 3.14) apresentou o mesmo comportamento que o sódio, onde o padrão de concentração no período seco ficou bem nítido, entretanto a diluição após a elevação do nível freático não parece evidente, uma vez que muitos pontos se comportaram de maneira inversa.



**Figura 3.12** - Comparação das concentrações do potássio nas quatro campanhas de amostragem na Vila do Retiro.



**Figura 3.13** - Comparação das concentrações do potássio nas quatro campanhas de amostragem na Cidade de São Salvador do Tocantins.



**Figura 3.14** - Comparação das concentrações do potássio nas quatro campanhas de amostragem na Cidade de Paranã.

### Cálcio

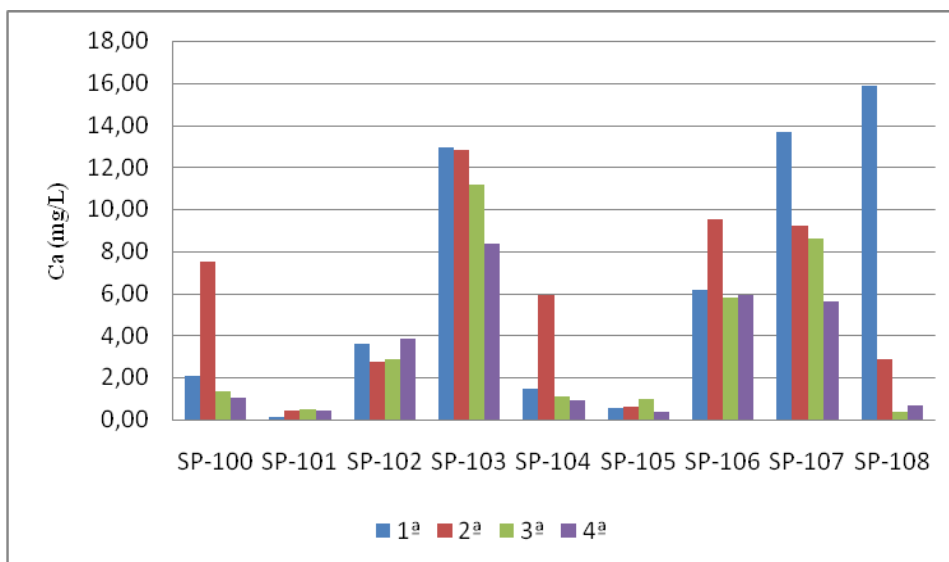
O cálcio (Figuras 3.15 a 3.18) mostra uma distribuição em termos de concentração fortemente ligada ao contexto geológico a que cada poço de monitoramento está inserido. Por este motivo verifica-se a diferença de concentrações nas três áreas de amostragem.

Por exemplo, na região de Paranã os poços SP 313, 314 e 315 apresentam as maiores concentrações, pois são integralmente perfurados em rocha (alterada e sã). Neste caso o cálcio é proveniente da dissolução de plagioclásio presente em grande concentração nos gnaisses locais.

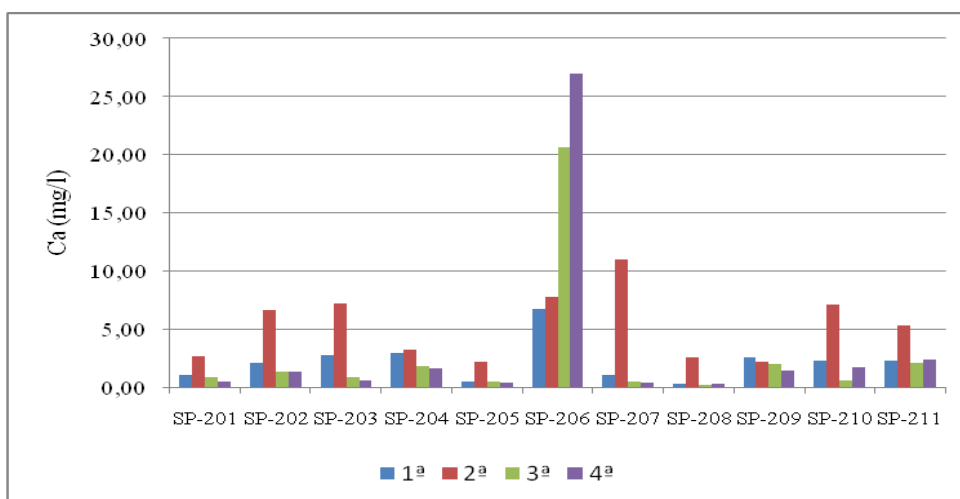
O ponto SP-308 apresenta o mesmo tipo de controle, com a interceptação de espessa seqüência de saprolitos, responsáveis pela disponibilização deste elemento para as águas freáticas.

O ponto SP-301, por outro lado, deve ter os elevados teores de cálcio vinculados ao controle antropogênico, pois a instalação do poço de monitoramento apenas interceptou materiais aluvionares inertes (areias e cascalhos).

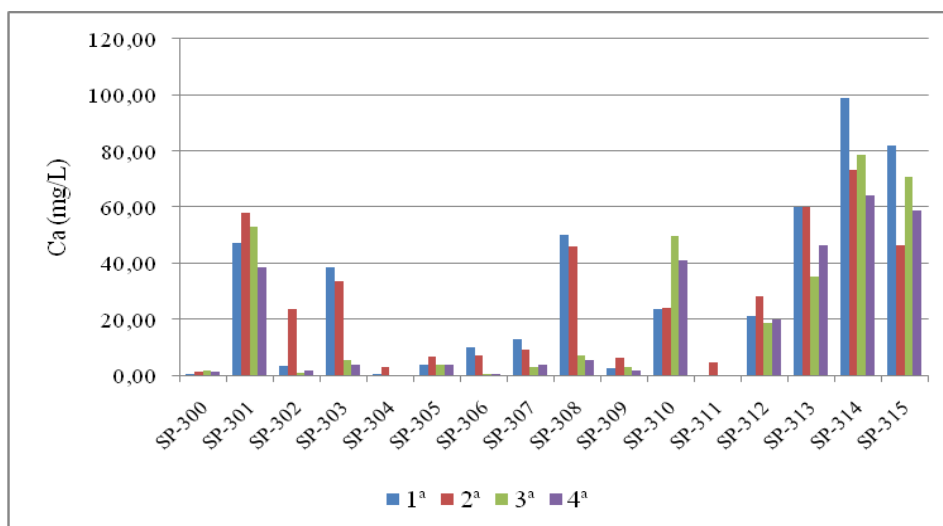
Outro aspecto a se considerar na distribuição do cálcio foi a forte tendência de dissolução quando se compara diretamente, em cada ponto, os dados da 1ª e 2ª campanhas com os da 3ª e 4ª (antes e após a formação do lago). Essa tendência apenas não está evidente em três pontos de amostragem (SP 310, SP 206 e SP 102).



**Figura 3.15** - Comparação das concentrações do cálcio nas quatro campanhas de amostragem na Vila do Retiro.



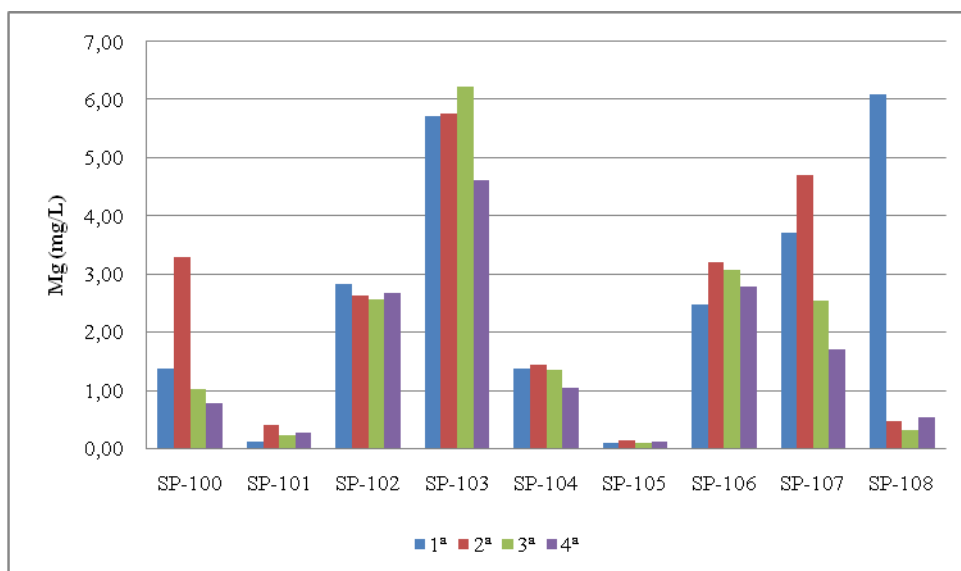
**Figura 3.16** - Comparação das concentrações do cálcio nas quatro campanhas de amostragem na Cidade de São Salvador do Tocantins.



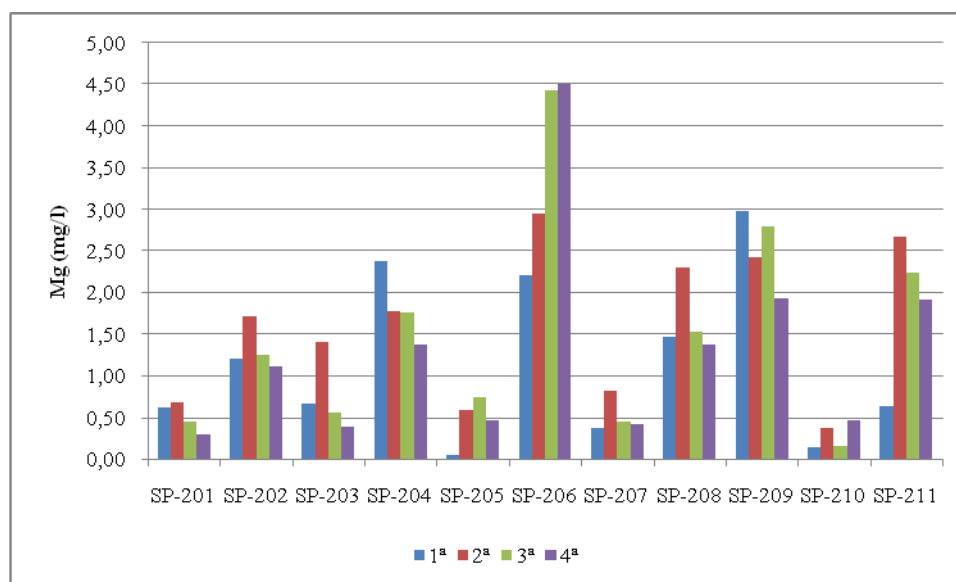
**Figura 3.17** - Comparação das concentrações do cálcio nas quatro campanhas de amostragem na Cidade de Paranã.

## Magnésio

A tendência de diluição do magnésio também é visualmente observada no conjunto de amostras, com exceção dos pontos SP 301, SP 310, SP 206 e SP 103. Contudo, as variações sazonais (períodos secos e chuvosos do ano) não ficam claras com a observação das concentrações do magnésio (Figuras 3.18 a 3.20).



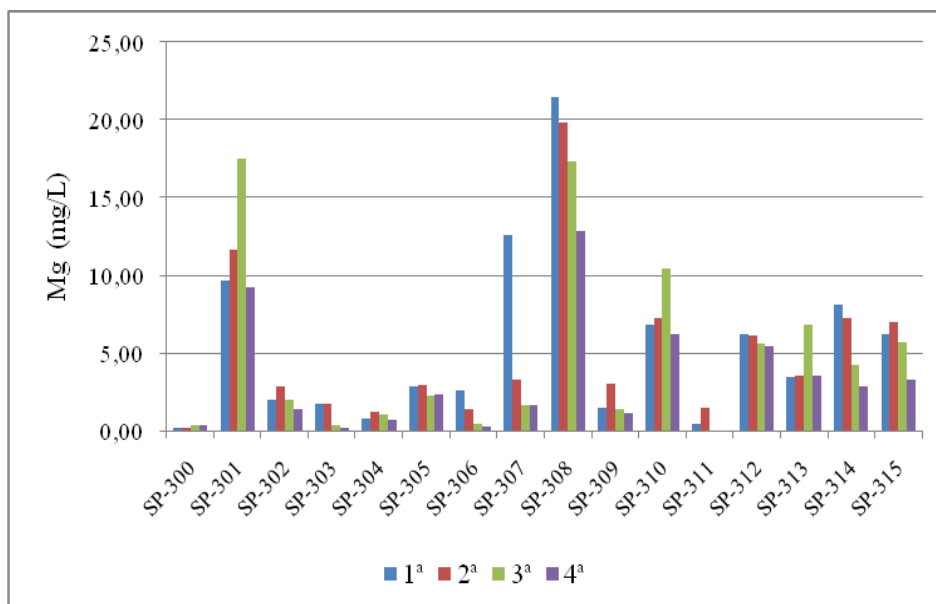
**Figura 3.18** - Comparação das concentrações do magnésio nas quatro campanhas de amostragem na Vila do Retiro.



**Figura 3.19** - Comparação das concentrações do magnésio nas quatro campanhas de amostragem na Cidade de São Salvador do Tocantins.

A forte correlação da concentração média do magnésio com o cálcio na maioria dos pontos de amostragem também é indicativa de que o principal controle de sua disponibilização incide no fator geogênico. Ou seja, presença na água relacionada aos aspectos geológicos (rochas, saprolitos e solos) com os quais as águas mantêm contato.

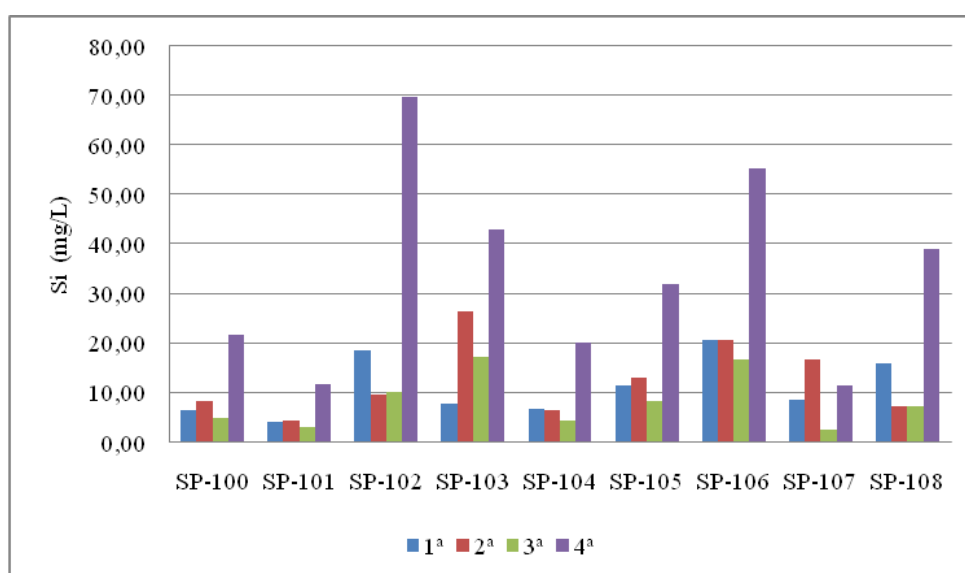




**Figura 3.20** - Comparação das concentrações do Magnésio nas quatro campanhas de amostragem na Cidade de Paranã.

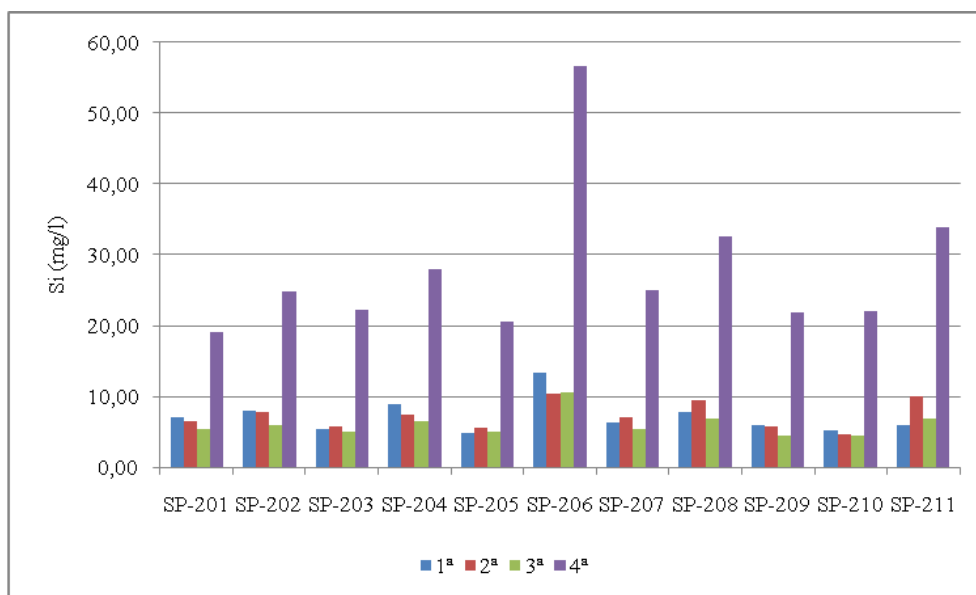
### Silício

O silício apresentado nas Figuras 3.21 a 3.23 mostra presença significativa em todos os pontos de amostragem. Este aspecto é relacionado à geologia dos aquíferos locais que sempre apresenta muito silicato em sua composição. O silício presente na águas subterrâneas é considerado como produto da dissolução de silicatos (argilominerais, feldspatos e micas) e não do quartzo, pois essa forma de sílica livre não é solúvel nas condições físico-química dos aquíferos locais (com pHs variando entre 3,41 e 8,58). A dissolução do quartzo requer pHs extremos menores que 3 ou maiores que 12.

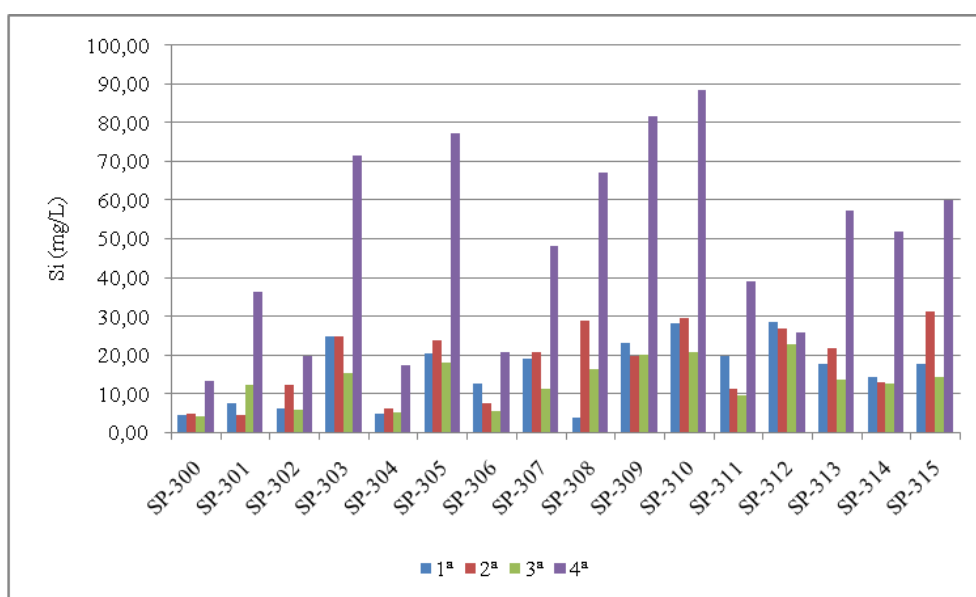


**Figura 3.21** - Comparação das concentrações do silício nas quatro campanhas de amostragem na Vila do Retiro.

Na quarta etapa de amostragem ocorreu uma significativa elevação da concentração da sílica em praticamente todos os pontos de amostragem. Esse fato é relacionado ao prolongado período seco observado no ano de 2007, quando as chuvas cessaram no início de abril e apenas iniciaram em outubro. Como a amostragem foi realizada no fim de agosto, pode ter havido nesses casos aumento da dissolução e concentração da sílica. A hipótese de que aumento esteja vinculado à formação do lago é descartada, uma vez que a variação ocorreu de forma sistemática mesmo nos casos em que não houve elevação artificial do nível freático.

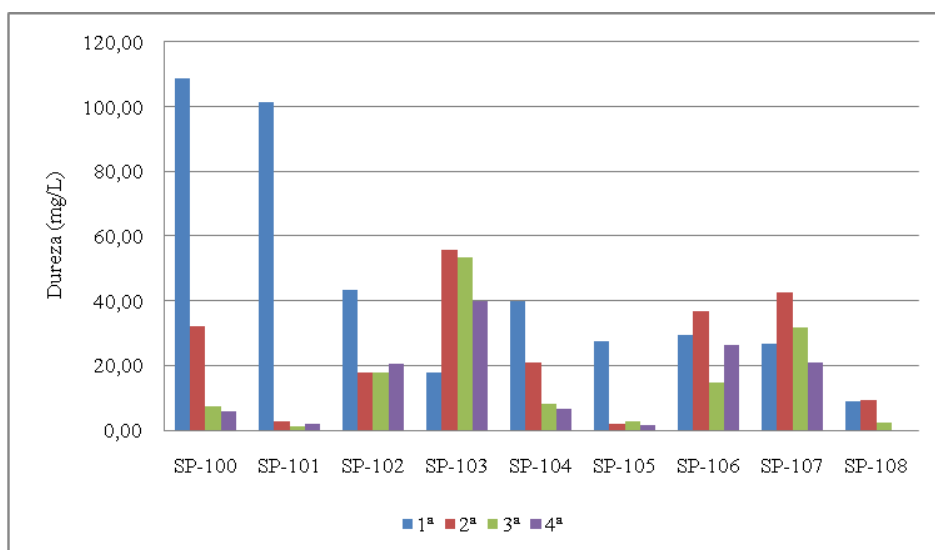


**Figura 3.22** - Comparação das concentrações do silício nas quatro campanhas de amostragem na Cidade de São Salvador do Tocantins.

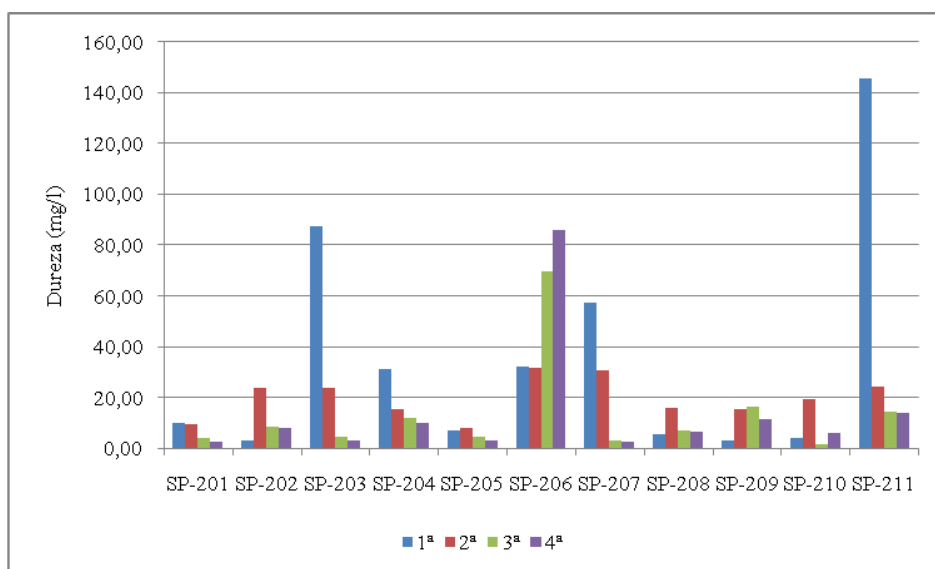


**Figura 3.23** - Comparação das concentrações do silício nas quatro campanhas de amostragem na Cidade de Paranã.

O parâmetro dureza nas três áreas de amostragem apresenta diferenças em função da origem, época e local de coleta, variando de água branda a dura. A concentração aumenta quanto maior a participação de rochas e saprolitos no aquífero. Desta forma, pode-se afirmar que se trata de um típico controle geogênico. Na Vila do Retiro onde os aquíferos são preferencialmente perfurados em aluviões (areias e cascalhos puros) os valores de dureza são os mais baixos. Em São Salvador do Tocantins valores próximos de 150 mg/l são comuns, justamente nos pontos que interceptaram saprolitos de pelitos do Grupo Araí.

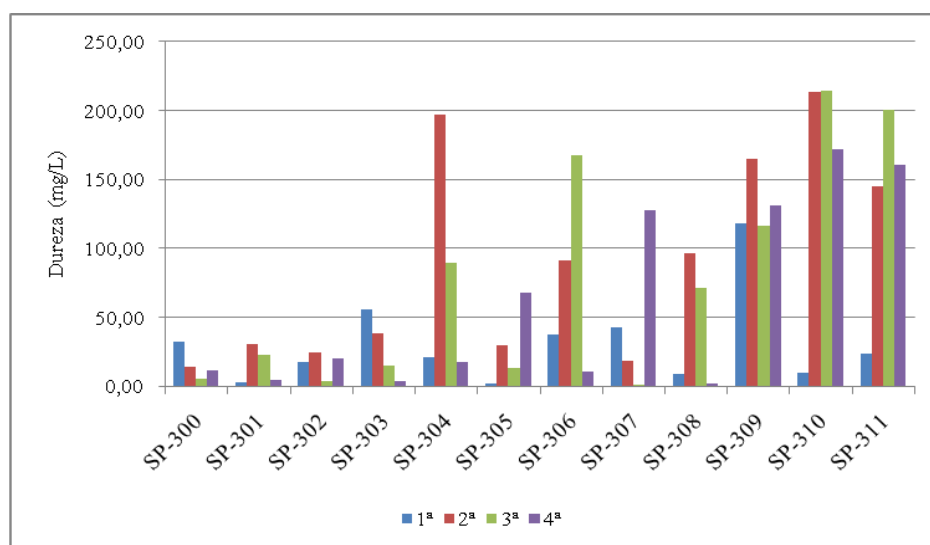


**Figura 3.24** - Comparação das concentrações de dureza total nas quatro campanhas de amostragem na Vila do Retiro.



**Figura 3.25** - Comparação das concentrações de dureza total nas quatro campanhas de amostragem na Cidade de São Salvador do Tocantins.

Na cidade de Paranã, onde ocorrem poços de monitoramento integralmente perfurados em rocha ou em saprolitos de granitóides e metassiltitos, são observados os maiores valores de dureza, próximos a 250 mg/l, (Figuras 3.24 a 3.26).<sup>1</sup>



**Figura 3.26** - Comparação das concentrações de dureza total nas quatro campanhas de amostragem na Cidade de Paranã.

### 3.3.2 Considerações Gerais

As avaliações integradas dos dados mostram que as variações composicionais em virtude da sazonalidade não são persistentes em todas as substâncias e elementos estudados, mas são particularmente evidentes na análise de sódio, potássio e cálcio.

Essas variações, como são significativas e observadas em cátions majoritários podem inclusive mudar a classificação química das águas, o que foi observado na análise direta dos digramas de Piper para cada conjunto de análises.

Como se tratam de águas subterrâneas rasas, menor que 2m de zona não saturada, reservadas em aquíferos de elevada condutividade hidráulica (areias e cascalhos) os sistemas são submetidos aos efeitos sazonais e apresentam alta vulnerabilidade à contaminação.

A análise qualitativa de todos os dados não mostra uma tendência de mudança sistemática na qualidade das águas estudadas. Alguns elementos, por exemplo, o sódio apresentou certa tendência de diluição. Entretanto, esse *trend* não se confirma em todos os pontos. Podem ocorrer poços de monitoramento fora das áreas de elevação que também sofrem diluição depois da formação do lago.

<sup>1</sup> Notar a diferença de escala nos três gráficos

A avaliação com relação à proporção da elevação, da mesma forma, não destaca uma tendência. Na Vila do Retiro as áreas que sofreram as maiores elevações não mostraram variações significativas ou sistemáticas. Não se pode afirmar que a formação do lago causou variações nas composições químicas das águas freáticas, uma vez que tanto o aumento da concentração de certos elementos/substâncias, quanto à diluição de outras foram observados.

Com base no levantamento realizado, verifica-se que a contaminação das águas dos poços de monitoramento por compostos de nitrogênio é relevante, sugerindo-se monitoramento constante desta águas, uma vez que constituem a principal fonte de abastecimento para a população local.

### 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Com o intuito de auxiliar as interpretações dos resultados das análises físico-químicas obtidas durante as quatro fases de amostragem, foram empregados parâmetros de estatística descritiva.

Para efeito da aplicação dos parâmetros estatísticos, optou-se, para fins de verificação inicial, considerar como variáveis de análise os elementos químicos Na, K, Ca, Mg e Fe; as substâncias nitrogenadas nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônia ( $\text{NH}_3^-$ ), além do sulfato e  $\text{SO}_4^{2-}$  e das propriedades físicas pH e dureza.

O critério de escolha dessas variáveis considerou:

- ⇒ O menor número de falhas nos registros de dados;
- ⇒ O menor número de leituras não detectadas (abaixo do limite de detecção);
- ⇒ O fato de integrarem os parâmetros de potabilidade da água e
- ⇒ A possibilidade fornecerem subsídios à avaliação da especiação química derivada dos tipos rochosos, do comportamento das águas em relação ao aporte de nutrientes provenientes da antropização e das propriedades físicas das águas estudadas.

Todavia, salienta-se que essas análises estatísticas destinam-se apenas a proporcionar uma comparação relativa do comportamento das variáveis estudadas, considerando-se como unidade amostral as localidades de Vila do Retiro, São Salvador do Tocantins e Paranã, tendo-se como “sítios amostrais” os seus respectivos poços de monitoramento.

Esse procedimento foi adotado, uma vez que se dispõe de apenas uma campanha para cada condição ambiental, ou seja, cada “sítio amostral” (poço) só contou com uma amostragem por cada condição (sem o reservatório na estação chuvosa; sem o reservatório na estação seca; com o reservatório na estação chuvosa; e com o reservatório na estação seca).

Sendo assim, a consideração dos poços de monitoramento como “espaços amostrais” não seria conveniente do ponto de vista estatístico, pois, para que isso pudesse ser feito haveria necessidade de se dispor de um número maior de dados por poço e para cada situação ambiental considerada.

Em razão dessa circunstância de carência de dados para uma análise estatística mais refinada, optou-se em adotar cada localidade como um “espaço amostral”, sem, contudo, deixar de considerar as diferenças hidrogeológicas existentes dentro de cada localidade, as quais têm interferência direta nos resultados obtidos.

Portanto, os resultados e as interpretações estatísticas apresentadas destinaram-se, fundamentalmente, à indicação de possíveis comportamentos das águas freáticas da Área de Influência do reservatório da UHE Peixe Angical, bem como para o direcionamento da continuidade dos estudos que se fazem necessários para a efetiva avaliação desse comportamento.

Dessa forma a Tabela 3.3 traz os resultados de estatística descritiva, por variável adotada.

**Tabela 3.3** - Distribuição de parâmetros estatísticos de resultados selecionados de análises químicas.

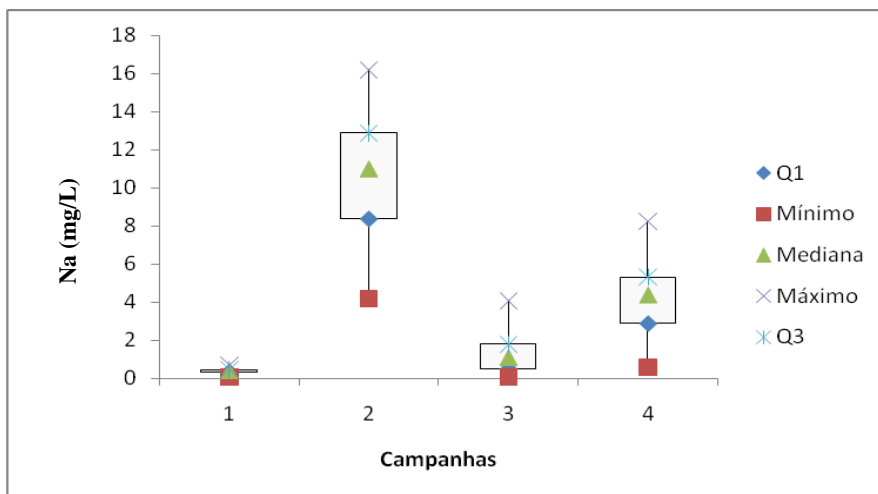
<b>Sódio</b>												
PARÂMETROS	VILA DO RETIRO				SÃO SALVADOR				PARANÃ			
	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
Média	0,38	10,03	1,38	4,40	0,27	4,53	0,95	2,56	0,58	13,65	3,12	5,12
Desvio Padrão	0,16	3,75	1,23	2,23	0,15	4,83	1,72	2,16	0,69	11,52	3,54	3,84
Máximo	0,68	16,18	4,07	8,23	0,56	18,50	6,22	7,59	3,10	41,86	13,67	15,70
Mínimo	0,10	4,17	0,08	0,61	0,05	1,02	0,05	0,43	0,10	1,24	0,14	1,15
<b>Potássio</b>												
PARÂMETROS	VILA DO RETIRO				SÃO SALVADOR				PARANÃ			
	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
Média	0,17	2,22	0,96	2,86	0,04	1,00	0,32	1,12	0,84	4,66	2,48	3,40
Desvio Padrão	0,22	1,28	0,86	2,23	0,03	0,86	0,27	0,75	2,64	4,56	3,35	3,53
Máximo	0,78	4,21	2,74	8,21	0,11	3,23	0,97	2,47	11,03	15,32	11,21	12,80
Mínimo	0,03	0,49	0,12	0,69	0,01	0,29	0,09	0,31	0,00	0,78	0,05	0,00
<b>Cálcio</b>												
PARÂMETROS	VILA DO RETIRO				SÃO SALVADOR				PARANÃ			
	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
Média	6,27	5,74	3,63	3,02	2,23	5,25	2,83	3,40	28,7	27,23	20,89	18,32
Desvio Padrão	5,87	4,09	3,74	2,82	1,68	2,79	5,65	7,49	30,1	22,68	26,51	23,16
Máximo	15,88	12,80	11,15	8,36	6,73	11,00	20,60	26,99	98,8	73,50	78,60	64,27
Mínimo	0,10	0,45	0,39	0,39	0,26	2,15	0,20	0,24	0,46	1,54	0,27	0,37
<b>Magnésio</b>												
PARÂMETROS	VILA DO RETIRO				SÃO SALVADOR				PARANÃ			
	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
Média	2,64	2,45	1,93	1,61	1,15	1,61	1,48	1,29	5,47	5,12	4,89	3,14
Desvio Padrão	2,07	1,88	1,84	1,41	0,94	0,86	1,22	1,17	5,40	4,79	5,51	3,57
Máximo	6,09	5,76	6,22	4,62	2,98	2,94	4,43	4,50	21,47	19,82	17,53	12,91
Mínimo	0,09	0,13	0,09	0,10	0,04	0,37	0,16	0,29	0,28	0,30	0,11	0,09
<b>Ferro</b>												
PARÂMETROS	VILA DO RETIRO				SÃO SALVADOR				PARANÃ			
	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
Média	0,27	0,05	0,18	0,67	0,66	0,10	0,02	0,03	0,63	0,05	0,93	0,05
Desvio Padrão	0,29	0,02	0,39	1,53	0,94	0,14	0,01	0,03	1,53	0,05	2,67	0,11
Máximo	1,04	0,07	1,29	4,96	2,72	0,34	0,04	0,11	6,31	0,19	11,21	0,43
Mínimo	0,02	0,03	0,01	0,02	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00

<b>Nitrato</b>												
PARÂMETROS	VILA DO RETIRO				SÃO SALVADOR				PARANÁ			
	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
Média	0,32	0,39	14,45	0,67	9,65	0,65	13,37	0,94	1,51	3,76	14,97	2,05
Desvio Padrão	0,60	0,55	12,05	0,85	25,17	1,25	10,81	1,09	2,06	4,15	13,24	5,06
Máximo	1,50	1,80	34,94	2,60	89,00	4,40	39,61	3,70	8,70	18,10	52,60	20,80
Mínimo	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	1,55	0,00	0,00	0,20	0,29	0,00
<b>Sulfato</b>												
PARÂMETROS	VILA DO RETIRO				SÃO SALVADOR				PARANÁ			
	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
Média	0,89	0,08	8,58	1,11	0,64	0,06	4,72	0,09	7,06	0,47	13,60	5,07
Desvio Padrão	1,52	0,04	7,58	1,66	0,48	0,06	6,87	0,29	10,41	0,65	18,23	9,48
Máximo	5,00	0,10	24,14	5,00	1,00	0,20	24,14	1,00	40,00	2,30	71,15	39,00
Mínimo	0,00	0,00	2,22	0,00	0,00	0,00	2,18	0,00	0,00	0,03	2,23	0,00
<b>Amônia</b>												
PARÂMETROS	VILA DO RETIRO				SÃO SALVADOR				PARANÁ			
	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
Média	0,14	0,03	0,03	0,11	0,19	0,30	0,00	0,02	0,06	0,27	0,07	0,23
Desvio Padrão	0,30	0,04	0,04	0,14	0,14	0,33	0,00	0,05	0,11	0,76	0,15	0,62
Máximo	0,98	0,11	0,13	0,45	0,46	0,80	0,01	0,13	0,45	3,20	0,46	2,51
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>pH</b>												
PARÂMETROS	VILA DO RETIRO				SÃO SALVADOR				PARANÁ			
	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
Média	6,25	6,89	6,43	5,79	5,18	6,75	5,41	5,30	6,01	6,62	6,11	5,57
Desvio Padrão	0,60	0,66	1,04	0,72	0,94	0,03	0,44	0,48	0,61	0,37	0,61	0,90
Máximo	7,32	8,29	8,58	7,28	7,97	6,78	6,54	6,27	7,02	7,70	6,92	6,66
Mínimo	5,48	5,77	5,46	5,00	4,51	6,70	4,77	4,68	4,97	6,19	5,18	3,41
<b>Dureza</b>												
PARÂMETROS	VILA DO RETIRO				SÃO SALVADOR				PARANÁ			
	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
Média	44,86	24,39	15,53	15,42	35,08	19,70	13,15	13,81	41,44	89,05	72,46	61,89
Desvio Padrão	33,62	17,56	16,22	12,84	43,54	7,45	18,45	23,09	42,99	70,22	79,07	64,86
Máximo	108,70	55,60	53,44	39,90	145,90	31,50	69,67	85,91	157,10	213,70	214,01	172,0
Mínimo	9,00	2,00	1,21	1,40	2,80	7,80	1,69	2,39	2,00	5,10	1,13	1,31
<b>Bicarbonato</b>												
PARÂMETRO S	VILA DO RETIRO				SÃO SALVADOR				PARANÁ			
	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
Média	117,69	118,04	43,45	38,75	101,38	65,75	24,98	20,36	128,40	190,80	58,46	96,61
Desvio Padrão	89,38	58,31	41,23	29,48	82,79	24,99	21,32	26,42	72,86	111,46	46,64	91,25
Máximo	328,00	240,00	124,20	92,40	251,20	124,80	88,00	102,00	265,60	473,60	144,00	284,0
Mínimo	35,20	54,40	7,00	10,80	19,20	25,60	10,40	5,60	36,80	24,00	6,00	4,00

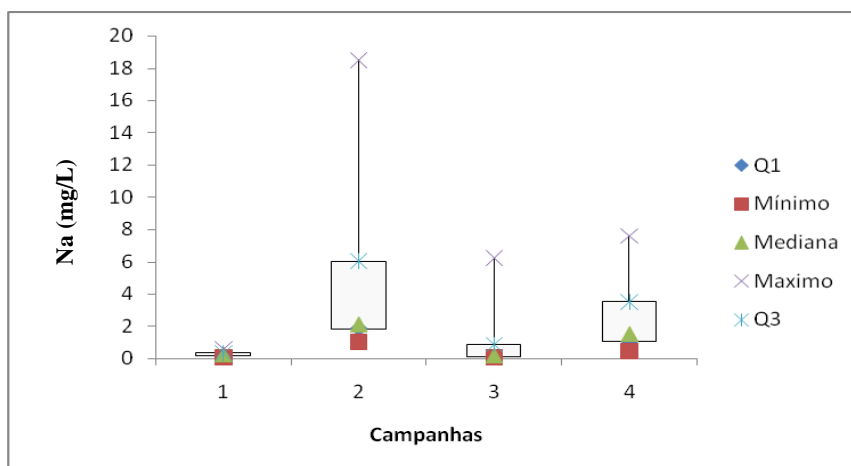
Tomando-se como base esses resultados de estatística descritiva, evidencia-se que, de modo geral, as médias obtidas não apresentam boa representatividade para o espaço amostral, em resposta à quantidade de dados coletados e aos períodos compreendidos e, ainda, aos valores de desvio padrão obtidos. Por outro lado, é importante registrar que a avaliação estatística foi realizada para um número reduzido de amostras, o que contribui para o aumento da distorção dos valores. A única exceção são os valores de pH, que por apresentarem-se em escala logarítmica, tiveram médias com melhor representatividade.

Em decorrência da pouca representatividade das médias, optou-se por considerar o intervalo entre o 1º quartil (Q1-25%) e o 3º quartil (Q3-75%), o que possibilita, para efeitos de comparações, trabalhar com 50% da distribuição em torno da mediana (2º quartil). Sendo assim, as interpretações que se seguem tiveram como base a avaliação do comportamento de cada uma das variáveis em relação à distribuição em torno da mediana de cada uma delas.

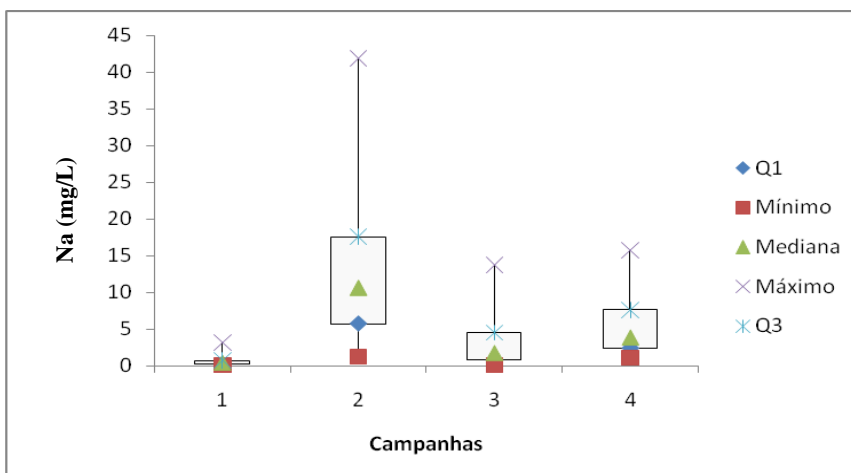
Em relação ao sódio há indicativo de que o reservatório contribuiu para melhor homogeneidade dos teores desse elemento, considerando as variações que ocorriam durante as estações seca e chuvosa antes da formação do lago. Comparativamente com a concentração no período de seca anterior ao reservatório, há redução na amplitude de variação dos teores desse elemento, figuras 3.27 a 3.29



**Figura 3.27** - Distribuição dos resultados de sódio na Vila do Retiro.



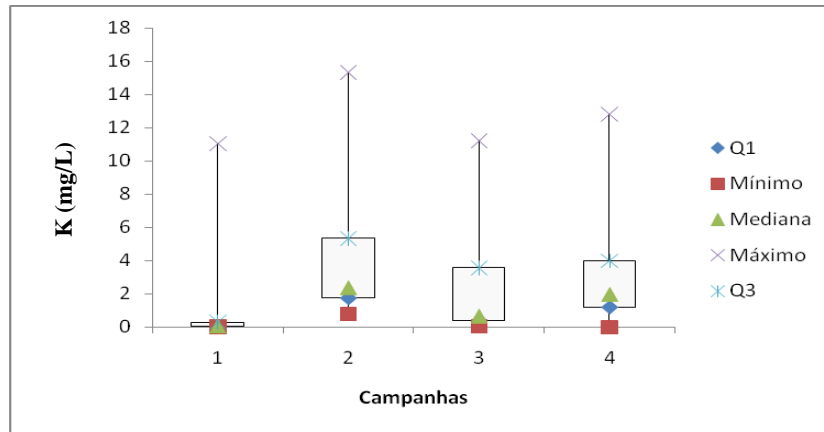
**Figura 3.28** - Distribuição dos resultados de sódio em São Salvador do Tocantins.



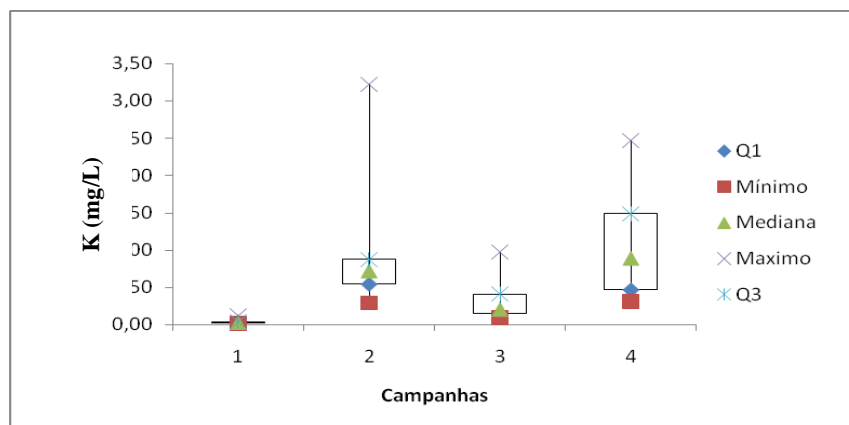
**Figura 3.29** - Distribuição dos resultados de sódio em Paranã.



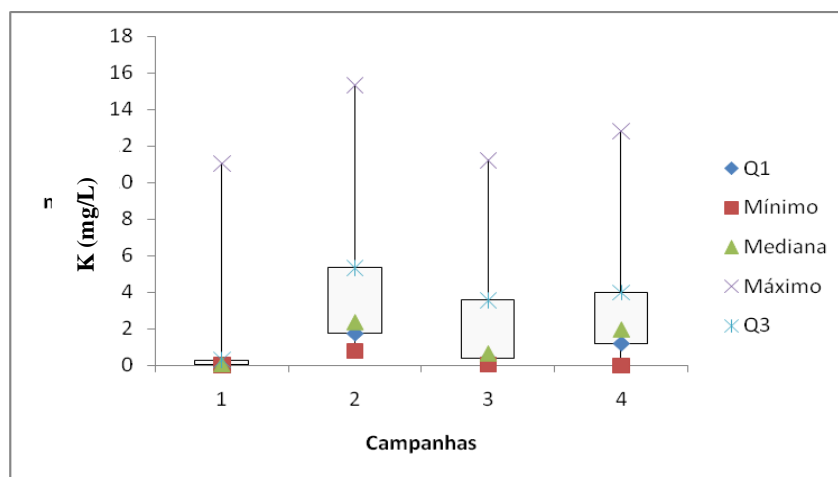
Os teores de potássio, independente das diferenças naturalmente existentes entre as localidades, também tenderam a uma homogeneização após o reservatório, conforme se observa nas Figuras 3.30 a 3.32.



**Figura 3.30** - Distribuição dos teores de potássio na Vila do Retiro.



**Figura 3.31** - Distribuição dos teores de potássio em São Salvador do Tocantins.



**Figura 3.32** - Distribuição dos teores de potássio em Paranã.

Existem indícios de alteração de outras variáveis como cálcio e dureza, quando consideradas as quatro condições ambientais. Para essas variáveis há uma pequena tendência da melhoria da qualidade da água, com destaque para as localidades de Vila do Retiro e São Salvador do Tocantins, quando considerado a construção do reservatório (Figuras 3.33 a 3.38).

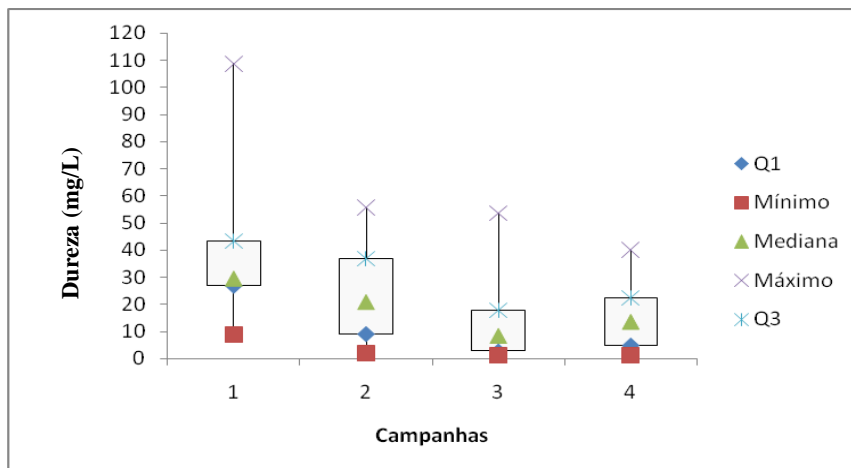


Figura 3.33 - Distribuição dos teores de dureza na Vila do Retiro.

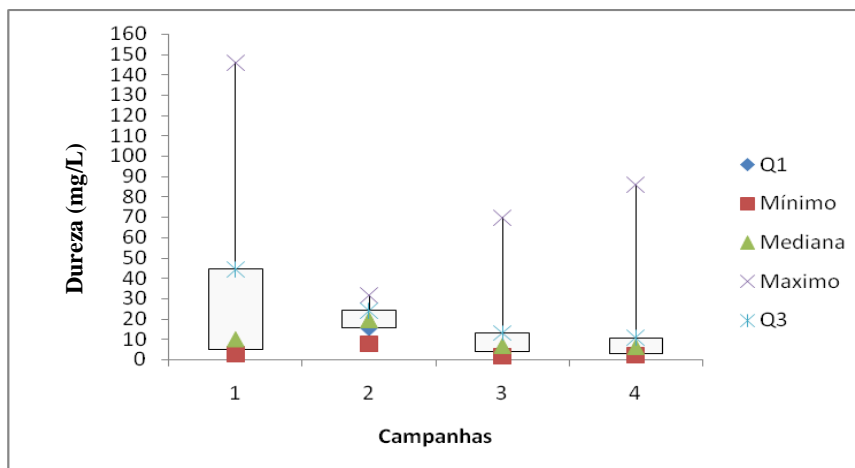


Figura 3.34 - Distribuição dos teores de dureza em São Salvador do Tocantins.

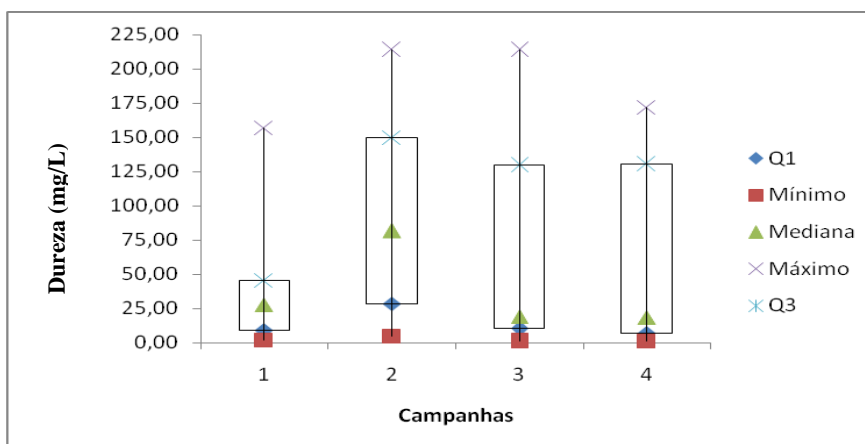
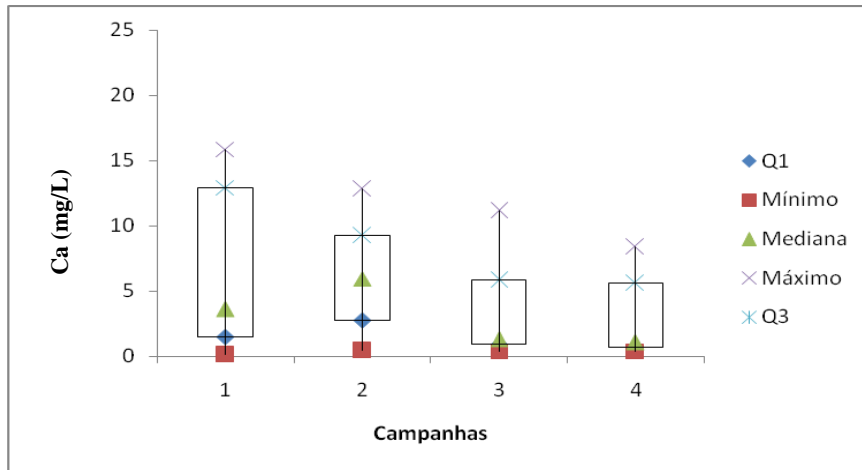
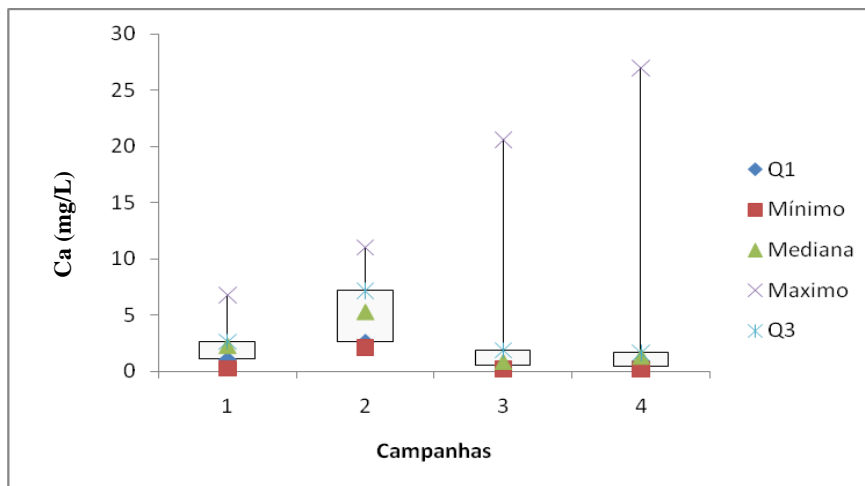


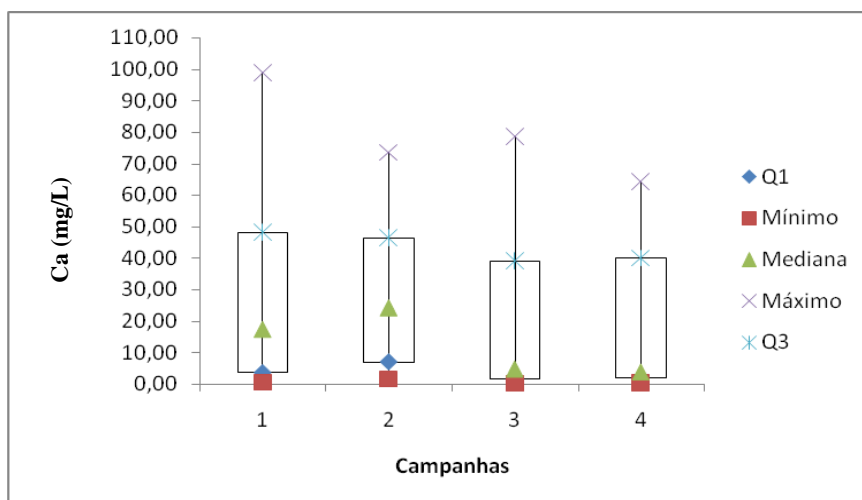
Figura 3.35 - Distribuição dos teores de dureza em Paranã.



**Figura 3.36** - Distribuição dos teores de cálcio na Vila do Retiro.

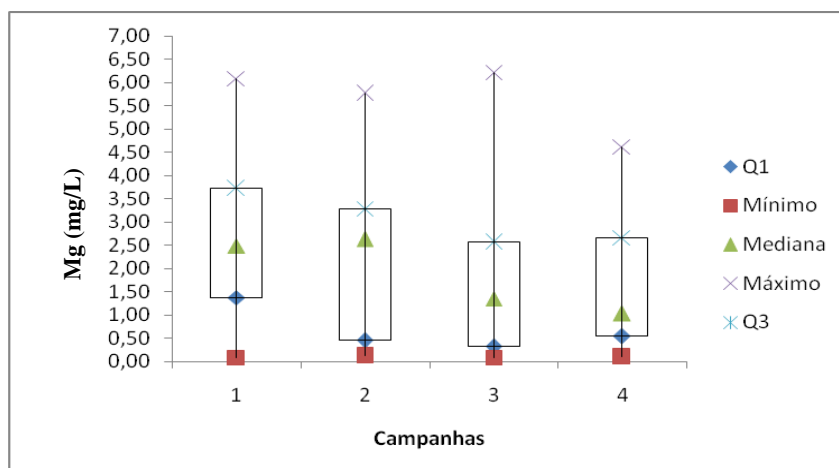


**Figura 3.37** - Distribuição dos teores de cálcio em São Salvador do Tocantins.

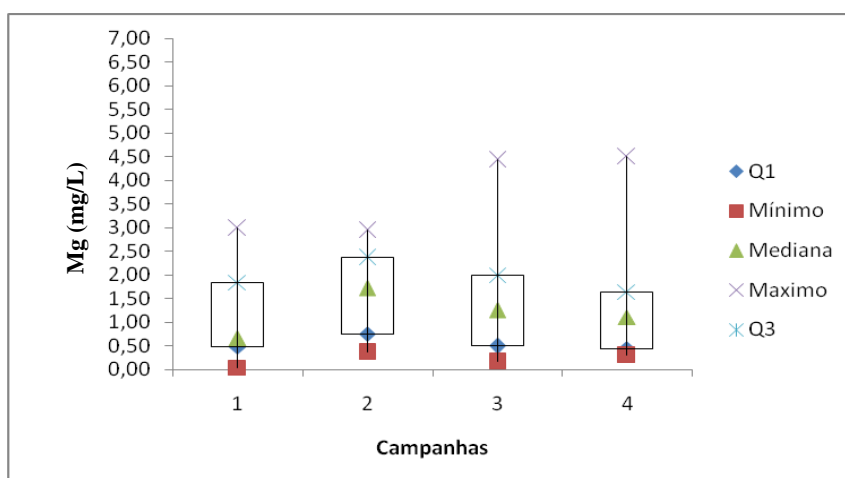


**Figura 3.38** - Distribuição dos Teores de cálcio em Paranã.

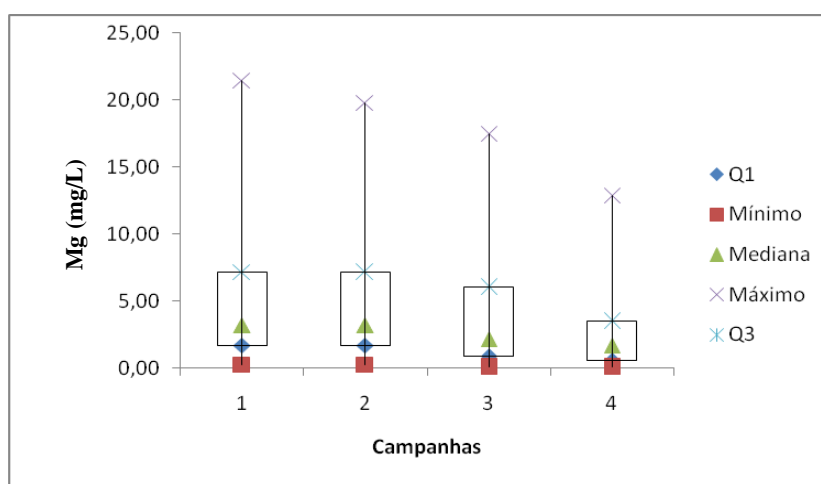
Os teores de magnésio, conforme esperado, comportam-se de forma semelhante ao cálcio, ou seja, apresentando tendência de diminuição com a implantação do reservatório. Essa influência é mais nítida nas localidades de Vila do Retiro e Paranã (Figuras 3.39 a 3.41).



**Figura 3.39** - Distribuição dos teores de magnésio na Vila do Retiro

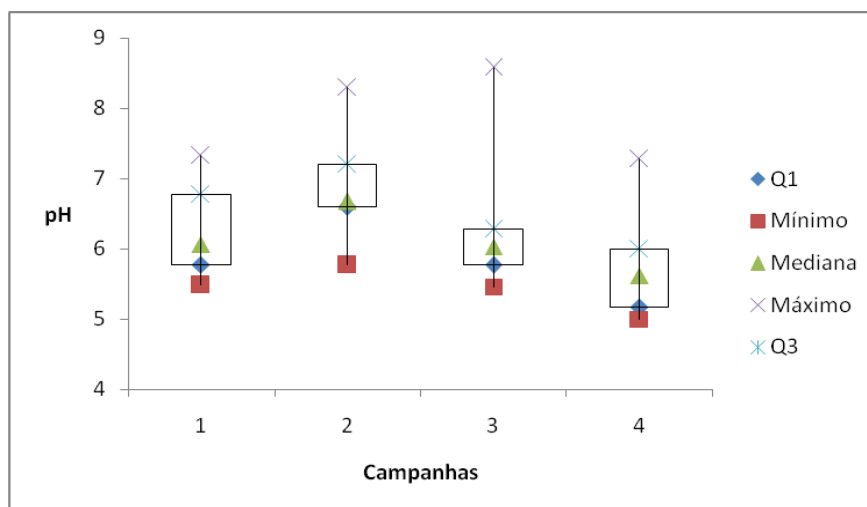


**Figura 3.40** - Distribuição dos teores de magnésio em São Salvador do Tocantins



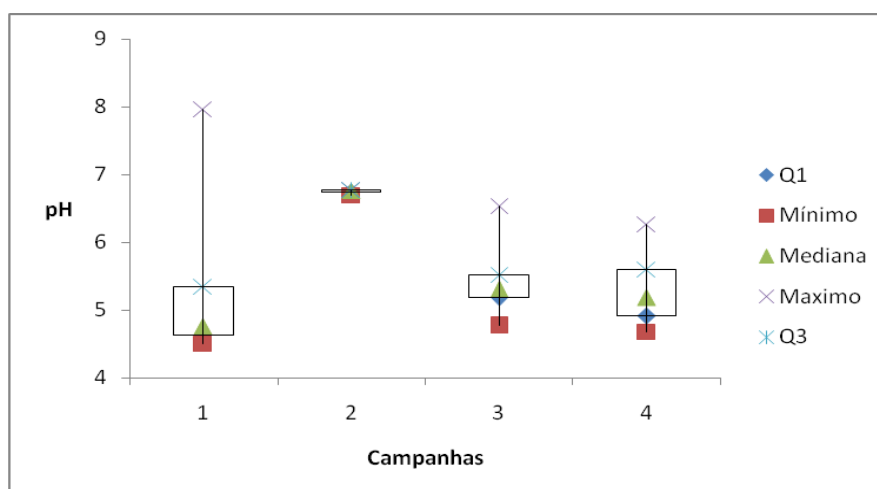
**Figura 3.41** - Distribuição dos teores de magnésio em Paranã.

Observando as distribuições entre quartis para o parâmetro pH (figuras 3.42 a 3.44), nota-se ligeira variação deste nas condições ambientais consideradas, contudo, tendendo a uma homogeneização por conta do reservatório, ou seja, diminuindo-se as variações de alcalinidade dadas pela sazonalidade.

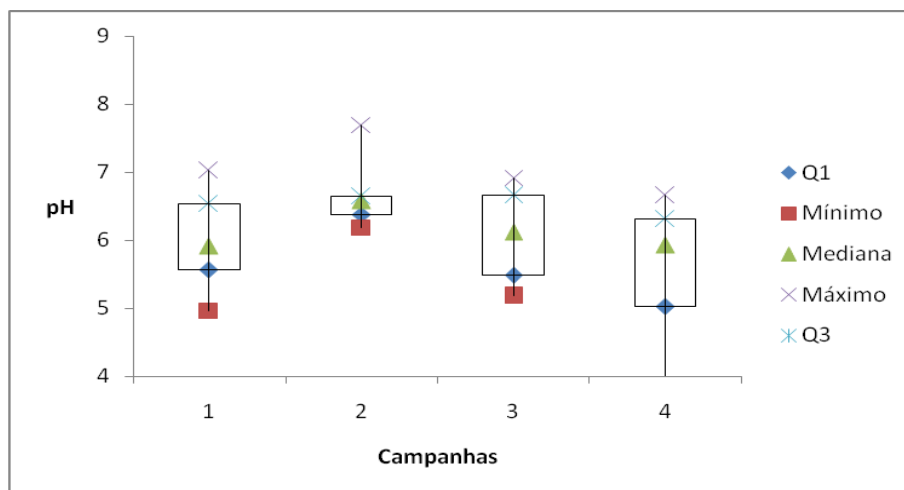


**Figura 3.42** - Distribuição do pH Vila do Retiro.

Mesmo considerando as limitações da representatividade de média, na condição da presença do reservatório é possível constatar, por meio da avaliação de máximos e mínimos, que há uma ligeira tendência de redução nos teores de carbonato, quando a condição ambiental é dada pela implantação do reservatório e estação seca. No período chuvoso essa diferença é bem menor, provavelmente, pela contribuição dada pela infiltração da água de chuva no perfil do solo.



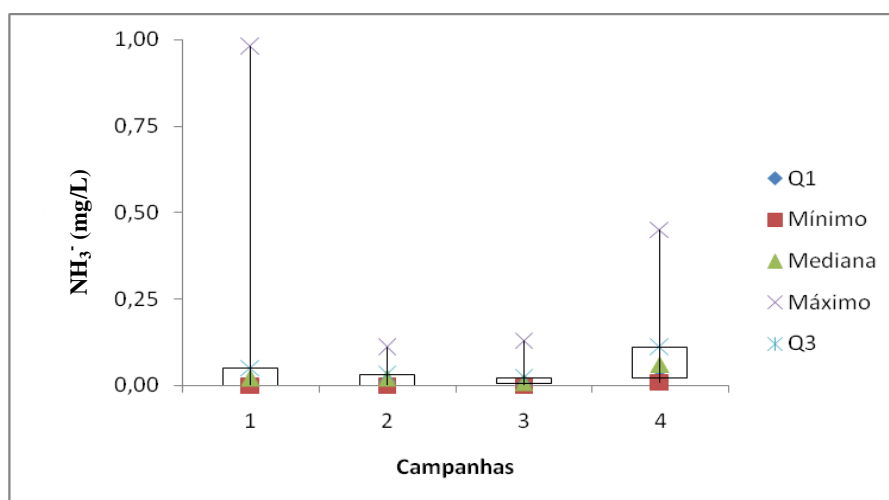
**Figura 3.43** - Distribuição do pH em São Salvador do Tocantins.



**Figura 3.44** - Distribuição do pH em Paranã.

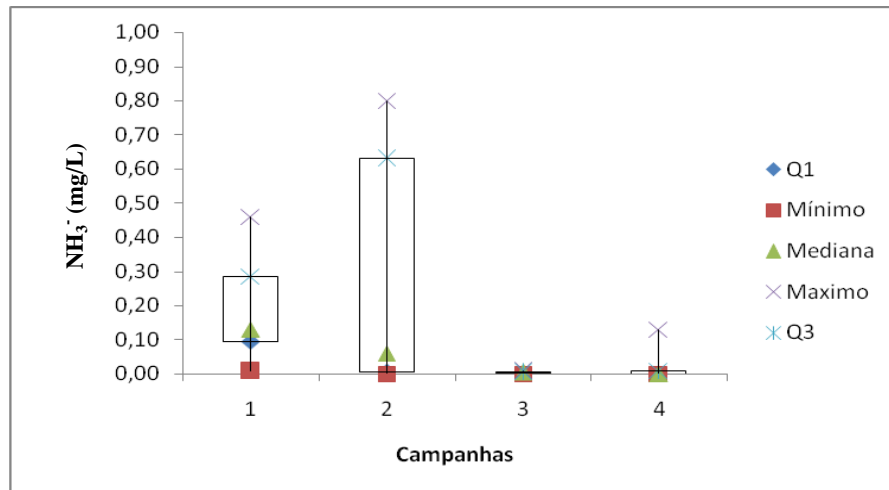
Como consequência, há tendência de elevação da acidez das águas quando considerada a situação ambiental de presença do reservatório e estação seca.

Outras variáveis, no entanto, podem ser influenciadas pela ocupação humana, independentemente da presença do reservatório, a exemplo de nitrato e amônia. Essa possibilidade é sentida quando se verifica indícios de variação por ocasião das estações do ano, independente da presença do reservatório, Figuras 3.45 a 3.47. Registra-se que os dados de nitrato não fizeram parte das análises estatísticas, mas apenas das comparações feitas no item anterior. Essa opção de não analisá-los se deu pelo fato de que os dados da 3ª campanha foram obtidos com metodologia diferente das demais.

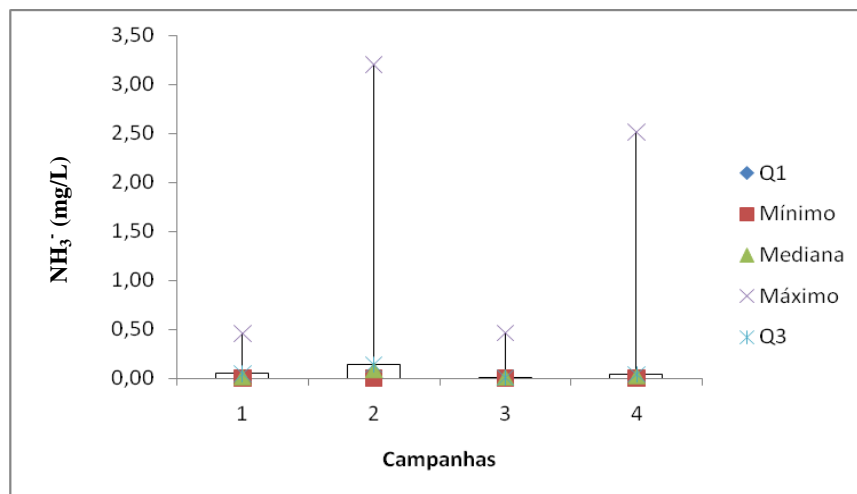


**Figura 3.45** - Distribuição dos teores de Amônia em Vila do Retiro<sup>2</sup>

<sup>2</sup> **OBS:** O valor máximo de amônia para a 1ª campanha de Vila do Retiro apresenta-se como “dato suspeito” ( $X < Q_1 - 3 \times \text{IEQ}$  ou  $X > Q_3 + 3 \times \text{IEQ}$ , onde  $\text{IEQ} = Q_3 - Q_1$ ), devendo ser desprezado.



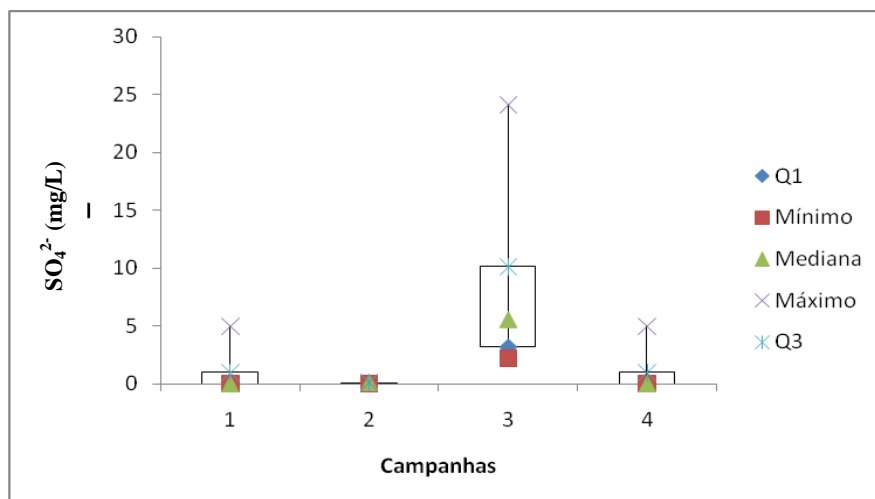
**Figura 3.46** - Distribuição dos teores de Amônia em São Salvador do Tocantins



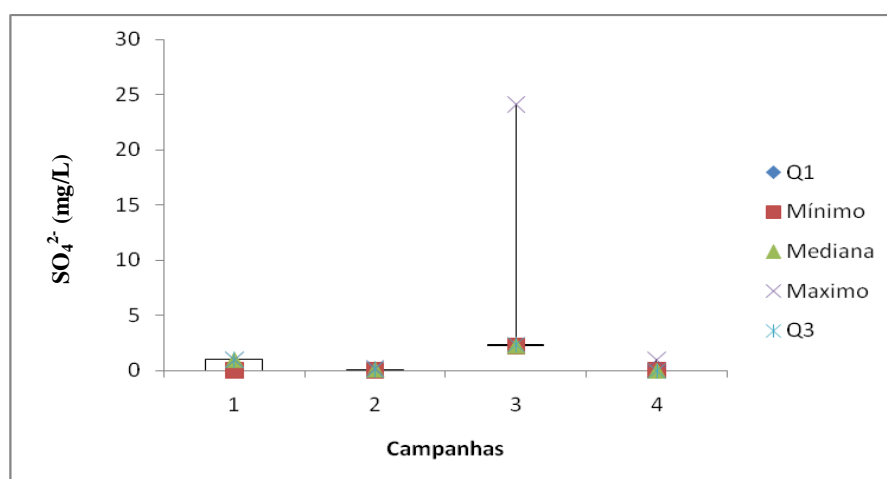
**Figura 3.47** - Distribuição dos teores de Amônia em Paranã<sup>3</sup>

Há indicativos, contudo, de que o reservatório tenha contribuído para elevação dos teores de sulfatos nas águas do lençol freático (Figuras 3.48 a 3.50). Considerando que a concentração de substâncias sulfatadas apresentaram tendência de elevação no período chuvoso, mesmo antes da formação do reservatório, pressupõe-se a ocorrência, na região, de rochas que tenham essas substâncias em suas composições e são suscetíveis ao carreamento, tanto pelo movimento da água de chuva como pelo movimento da água do lençol freático, elevado pela presença do reservatório. Pode-se afirmar, também, que a diminuição gradativa nas concentrações médias de sulfeto, decorrente de processos de oxidação, ocasiona este aumento nos teores de sulfato.

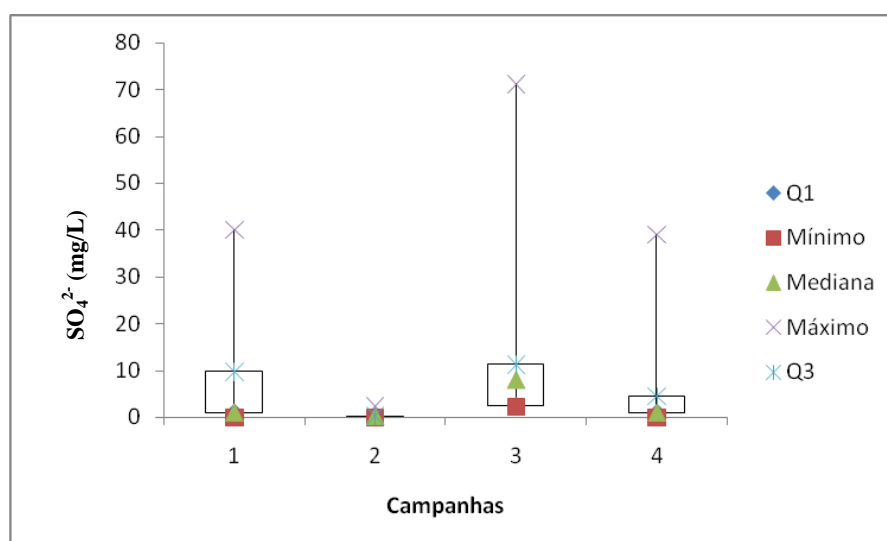
<sup>3</sup> **OBS:** O valor máximo de amônia para a 2ª e 4ª campanhas de Paranã apresenta-se como “dados suspeitos” ( $X < Q_1 - 3 \times IEQ$  ou  $X > Q_3 + 3 \times IEQ$ , onde  $IEQ = Q_3 - Q_1$ ), devendo ser desprezados.



**Figura 3.48** – Distribuição dos teores de sulfato na Vila do Retiro



**Figura 3.49** – Distribuição dos teores de sulfato em São Salvador do Tocantins<sup>4</sup>



**Figura 3.50** - Distribuição dos teores de sulfato em Paranã.

<sup>4</sup> **OBS:** O valor máximo de sulfato para a 3ª campanha de São Salvador apresenta-se como “dato suspeito”. Porém, essa discrepância de resultados foi verificada no procedimento de análise, sendo essa repetida por três vezes. Sendo assim, esse dato é entendido como um acontecimento não esperado, ou uma variabilidade inesperada da variável. Portanto, para efeito de análise esse dato foi desconsiderado.



Considerando os dados disponíveis e, ainda, as variações hidrogeológicas existentes no espaço amostral, apontam para a influência do reservatório. Salientando que este fato é mais nítido quando se observa o diagrama de piper nas quatro campanhas para as três localidades.

A presente análise remete a uma interpretação geral de que o reservatório, até então, não provocou impactos significativos na qualidade da água freática da área de influência, como um todo. Porém, a avaliação de alterações específicas em cada parâmetro depende da continuidade das investigações, levando em consideração as características hidrogeológicas que cada sítio amostral (poço) representa, bem como a precariedade dos sistemas de abastecimento e de tratamento de efluentes predominantes na região.

A continuidade do monitoramento deverá adotar diversas campanhas por estação de coleta, de maneira que cada poço possa ser considerado um espaço amostral (das características hidrogeológicas e antrópicas). Assim, será possível gerar uma série de dados que viabilizará uma análise estatística mais refinada. Os dados até então obtidos, em especial aqueles relacionados com o período que antecedeu a implantação do reservatório, devem ser tratados como padrões de referência para as novas avaliações.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados da pesquisa e, ainda nos parâmetros estabelecidos em normas legais, foi possível avaliar o comportamento geral das águas freáticas das áreas de estudo.

A avaliação dos resultados provenientes das 4 (quatro) campanhas realizadas aponta para algumas conclusões relacionadas à hidroquímica da área de influência da UHE Peixe Angical; à qualidade da água; às influências sazonais e às influências do reservatório.

#### **Quanto à hidroquímica**

Com relação à composição química das águas freáticas verifica-se que as águas amostradas, em sua maioria, são cálcicas e magnesianas, ocorrendo ainda caráter misto e sódico. Quanto aos ânions dissolvidos, nota-se que as águas bicarbonatadas são predominantes. A presença de cloreto, em especial na quarta campanha na cidade de Paranã, indica uma forte contribuição antrópica, modificando a composição química naquele período de amostragem.

É importante salientar que esta classificação não representa, necessariamente, a química natural das águas das áreas estudadas, pois não existem resultados de análises antes da ocupação humana na região. Os resultados das duas primeiras campanhas de amostragem são considerados valores de referência para o presente estudo, representando, respectivamente, o período chuvoso e a época seca do ano.

#### **Quanto à qualidade da água**

Quando se analisa a degradação ambiental e os focos de poluição potencial das águas em determinada bacia hidrográfica ou hidrogeológica, é importante se levar em consideração os chamados fatores naturais, que dizem respeito à predisposição do meio físico, como geologia, solos, relevo, clima, hidrologia, hidrogeologia e, também, fatores antrópicos, que representam os produtos da organização e ocupação do espaço pelo homem e são responsáveis pela geração das cargas de efluentes que são as substâncias potencialmente contaminantes.

Os resultados obtidos para o pH mostram um comportamento pouco variável para águas subterrâneas, com média em torno de 6, levemente ácido na maioria dos pontos. Levando-se em consideração que o pH das chuvas em zonas não industrializadas fica em torno de 5 e 6, pode-se afirmar que a maior parte das águas dos poços de monitoramento é proveniente da infiltração das águas da chuva.

Concentrações anômalas de cloreto e nitrato indicam a ocorrência de contaminação possivelmente originada por atividades antrópicas, a exemplo da infiltração de esgoto *in natura*. O contexto geológico, a sazonalidade climática e a presença do reservatório não exercem controle sobre a ocorrência de nitrato. A relação pH ácido e nitrato, fora do padrão de potabilidade, indica que estes aquíferos são de circulação rasa e que, portanto, são vulneráveis à contaminação. Este fator fica ressaltado quando se avalia os valores elevados da condutividade hidráulica da zona não saturada dos aquíferos locais.

As outras formas de ocorrência de nitrogênio como amônia e nitrito, apresentam teores baixos, no máximo, próximo ao limite de potabilidade, o que indica que as fontes de contaminação por essas formas nitrogenadas são convertidas em nitrato por processos de oxidação na zona não saturada dos aquíferos. Este fato é corroborado pelas elevadas condições oxidantes das águas freáticas da região.

Há fontes difusas e pontuais de poluição das águas subterrâneas na região em estudo, porém não existe um levantamento sistemático dessas fontes, tampouco de áreas suspeitas de contaminação e/ou contaminadas. As fontes pontuais são os lançamentos de esgotos não tratados, principalmente em fossas negras, e os locais de disposição de resíduos domésticos, todos eles na forma de lixões. Destacam-se ainda, que poços tubulares construídos fora das normas técnicas podem ser potenciais fontes de contaminação dos aquíferos.

O esgoto não tratado, quando não lançado diretamente em cursos d'água, infiltra-se no solo e atinge o lençol freático, tornando o aquífero livre mais vulnerável à contaminação. Cabe ressaltar que, embora sem números oficiais, é grande a utilização, em toda área de estudo, de poços rasos, que exploram água do aquífero freático.

O setor de saneamento é um dos principais usuários de recursos hídricos, cujo principal insumo é a água bruta. Esta utilização reveste-se de uma particularidade importante, na medida em que implica em mudanças substantivas na qualidade das águas utilizadas. O quadro de saneamento nos municípios estudados se assemelha ao resto do país, com um grande déficit na coleta e no tratamento dos esgotos. O abastecimento em Paranã foi recentemente ampliado e é realizado por captação e tratamento de águas a partir do rio da Palma. Em São Salvador do Tocantins e na Vila do Retiro o abastecimento é feito exclusivamente por água subterrânea, a partir de poços tubulares e poços escavados.

### **Quanto às influências sazonais**

As variações composicionais em virtude da sazonalidade climática não são persistentes para todas as substâncias e elementos estudados, mas são particularmente evidentes na análise de sódio, potássio e cálcio. Essas variações, como são significativas e

observadas em cátions majoritários podem inclusive mudar a classificação química das águas, o que foi observado na análise direta dos diagramas de Piper para cada conjunto de análises.

Aumento sazonal da concentração de certos elementos/substâncias na época seca do ano na área estudada é considerado como função do maior contato água-aquífero. Por outro lado a diluição de outras substâncias é devida à presença das águas de precipitação. Também existe a possibilidade de que águas infiltradas no início do período chuvoso acarretem o aumento da concentração de teores de certos elementos/substâncias que, posteriormente, tendem a diminuir com a regularização das chuvas.

Assim estima-se que o regime temporal das chuvas (momento em que as chuvas se iniciam e se regularizam) poderá explicar certas variações.

É importante salientar que as variações composicionais observadas são apenas observadas para águas freáticas. Para águas de aquíferos profundos, ou com elevado grau de confinamento, não se esperam em virtude do maior tempo de contato água-aquífero, significativas variações, sendo que nestes casos as águas devem apresentar ampla constância de sua composição físico-química.

### **Quanto às influências do reservatório**

Os resultados do presente trabalho demonstram que o reservatório da UHE Peixe Angical provocou alterações imperceptíveis nas características físico-química da água como um todo. No entanto, para determinados parâmetros, a exemplo do sódio, potássio e o grau de dureza estas influências foram mais impactantes.

A análise qualitativa de todos os dados não mostra qualquer tendência de mudança sistemática na qualidade das águas estudadas. Alguns elementos, a exemplo do sódio, apresentaram certa tendência de diluição. No entanto, podem ocorrer poços de monitoramento fora das áreas de elevação que também sofrem diluição depois da formação do lago. O oposto também pode ser observado.

É importante registrar que a contribuição da água do reservatório para o lençol freático não está somente na dependência da qualidade da água do rio, mas também nas propriedades físicas e químicas do solo, as quais têm capacidade de disponibilização de elementos, substâncias e nutrientes quando da movimentação da água por meio da elevação do lençol freático.

Porém para se avaliar alterações específicas em cada parâmetro, se faz necessária a continuidade das investigações, bem como o redirecionamento da pesquisa levando em consideração as características hidrogeológicas que cada sítio amostral (poço ou conjunto de poços) representa, bem como a precariedade dos sistemas de abastecimento e de tratamento

de efluentes da região, os quais podem contribuir no aumento das concentrações da amônia e nitrato.

Uma das grandes limitações deste estudo relaciona-se com a reduzida frequência de amostragem, a qual foi apenas possível em 4 (quatro) campanhas. Desta forma, os resultados e deste trabalho aplicam-se apenas a situação hidrogeológica considerada, isto é para aquíferos aluvionares com restrita influência de saprolitos, em clima com forte sazonalidade e sobreposto por pequenas ocupações urbanas.

A continuidade da investigação é ainda mais justificada quando se considera o restrito tempo de existência do reservatório, cuja estabilização hidroquímica pode ainda não ter sido alcançada.

A avaliação da qualidade da água é um processo que deve considerar análise de natureza física, química e biológica em relação à qualidade natural, aos efeitos humanos e aos tipos de ocupação da superfície. A eficácia da tentativa de se medir a qualidade da água muitas vezes não corresponde à realidade, pois a natureza apresenta uma capacidade de resposta (temporal e espacial) que nem sempre pode ser numericamente controlada.

Dessa forma, a manutenção de um banco de dados atualizado permitirá, inicialmente, a geração de informações sólidas e consistentes sobre o comportamento das águas freáticas na região de influência da UHE Peixe Angical e, posteriormente, a agregação de informações de novos usos urbanos e rurais, que permitam avaliar tanto a carga pontual como a difusa. O conhecimento da composição das águas, bem como as interferências sobre o comportamento dessas pela UHE Peixe Angical e por outros usos na região, é de fundamental importância para a gestão dos aquíferos locais.

Assim, os resultados até então obtidos não só contribuíram para a geração de informações técnico-científicas de relevância, as quais, notadamente, podem ser ainda mais refinadas com a continuidade dos levantamentos, como também foram importantes para identificar demandas relacionadas ao adequado estabelecimento de uma política de recursos hídricos para regiões que recebem influência de usinas hidrelétricas.

## CAPÍTULO V

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. 1970. Províncias geológicas e domínios morfo-climáticos no Brasil. São Paulo: IGEOG/USP. 26p. Geomorfologia, 20.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) 2007a. Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no BRASIL. Cadernos de Recursos Hídricos 2.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) 2007b. A Navegação Interior e sua Interface com o Setor de Recursos Hídricos e Aproveitamento do Potencial Hidráulico para Geração de Energia no Brasil. Cadernos de Recursos Hídricos 3.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) 2007c. Panorama do Enquadramento dos Corpos D'água do Brasil", (parte 1) e "Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil. Caderno de Recursos Hídricos 5.
- BOAVENTURA, G.R, FREITAS, A.L.S. 2006. Inorganic Parameters as water quality indicators in acidic groundwater in a tropical region – Brasília-DF (Brasil). Water, Air, and Soil Pollution. 171:135-151.
- CAMPOS, J.E.G., SEIDEL, A.M. 2004. Relatório Técnico Bimestral 1. Programas Ambientais 5/6 Encostas Marginais e Monitoramento Hidrogeológico do AHE Peixe Angical. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico. Universidade de Brasília. 39p.
- CAMPOS, J.E.G., SEIDEL, A.M. 2005. Relatório Técnico Bimestral 2. Programas Ambientais 5/6 Encostas Marginais e Monitoramento Hidrogeológico do AHE Peixe Angical. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico. Universidade de Brasília. 74p.
- ALBUQUERQUE FILHO, J.L. 2002. Precisão e análise da elevação do nível do lençol freático na avaliação de impacto ambiental (AIA) de reservatórios hidrelétricos. Rio Claro, 2002. Tese Doutorado Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 231p.
- ALMEIDA, L; RESENDE, L., RODRIGUES, A.P., CAMPOS, J.E.G. Hidrogeologia do Estado de Goiás. Série Geologia e Mineração, nº 1, Goiânia, Goiás, 2006. 230p.
- BERTOLO, R., HIRATA, R., FERNANDES, A. 2007. Hidrogeoquímica das águas minerais envasadas do Brasil. Revista Brasileira de Geociências. 37(3):515-529.
- BOLEA, M.T.E. 1984. Evaluación del impacto ambiental. Madrid: Fundación MAPFRE.
- COATES, D.R. 1982 – Environmental Geology. John Wiley & Sons. Canadá, 701p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL/CIA PESQ. RECURSOS MINERAIS - DNPM/CPRM. Províncias Hidrogeológicas do Brasil, 1983.
- DREVER, J.I. (Ed.) 1997. The Geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments. Prentice-Hall, New Jersey, 436pp.
- EMBRAPA (ED.) 1999. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 412pp.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). 2007. Resultados finais da Avaliação Ambiental Integrada dos Aproveitamentos Hidrelétricos na Bacia do Rio Tocantins. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Lists/MeioAmbiente/MeioAmbiente.aspx>.

- FAUST, S.D.; ALY, O.M. (Eds.) 1981. Chemistry of Natural Waters. Butterworths Publishers, Sydney, 400pp.
- FERNANDES, J.C.; GARRIDO, R.J. 2002. Economia dos Recursos Hídricos. Salvador: Edufba, 457p.
- FUCK, R.A. 1994. A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins. In: Simpósio Geologia Centro-Oeste, 4 Brasília, 1994. Anais Brasília, SBG, p. 174-187.
- FUCK, R.A.; MARINI, O.J. 1981. O Grupo Araxá e Unidades Homotaxiais. In: Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais, 1, Salvador, 1981. Anais Salvador, SBG/CPM, p.118-130.
- GOUDIE, A. 1996. The Human Impact on the natural environment. 4<sup>a</sup> ed. Massachusetts. 454pp.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2005. Disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/default\\_censo\\_2000.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/default_censo_2000.shtm)
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (IBGE). 2005. Mapa de unidades de relevo. Escala 1: 5 000.000. Disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default\\_prod.shtm#HIDROGEO](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#HIDROGEO)
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). 2002. GEO Brasil 200 – Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Brasília. Edições IBAMA. 440p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). 2008. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/clima.php#>, acessado em 03/2008
- KIRCHHEIM, R. 2008. Prognóstico hidrogeológico do Estado de Mato Grosso. Programa de estruturação institucional da consolidação da Política Nacional de Recursos Hídricos – BRA/OEA/01/002. Documento interno. Relatório Parcial Nº 1. abril/2008. Porto Alegre: 2008. 97 p.
- LEAL, A.S. 1999. As Águas Subterrâneas no Brasil. In: O Estado das Águas no Brasil. Perspectivas de Gestão e Informação de Recursos Hídricos. ANEEL/SIH; MMA/SRH; MM. p. 139-164
- LEONARDOS, O.H, JOST, H; FUCK, R.A; BARROS, J.G.C. Geologia da Região Aurífera de Santa Cruz de Goiás. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34. Natal, 1990. Boletim de Resumos. Natal, SBG, p.338.
- LICHT, O.A.B. 1998. Prospecção Geoquímica: princípios, técnicas e métodos. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Rio de Janeiro. 236p.
- MANOEL FILHO, J. 1997. Água subterrânea: Histórico e Importância. In: Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. Coordenado por Fernando A.C. Feitosa e João Manoel Filho. Fortaleza, CPRM/REFO, LABIH-UFPE, p. 389.
- MARINI, O.J.; FUCK, R.A.; DANNI, J.C.M.; DARDENNE, M.A.; LOGUERCIO, S.O.C.; RAMALHO R. 1984. As faixas de dobramentos Brasília, Uruaçú e Paraguai-Araguaia e o Maciço Mediano de Goiás. In: SCHOBENHAUS C. (Coord.) Geologia do Brasil. MME-DNPM, cap. 6: 251-303.
- MEIRELLES, E.M.; FERREIRA, E.A.; TOKARSKI, D.J. 2007. In: Bacia Hidrográfica do Alto Tocantins. Retrato e Reflexões. Eloisa A. Belleza Ferreira & Donizete J. Tokarski (Org.). 102p.
- MENEZES, P.T.L; ROIG, H.L; SILVA, G.B; MANE, M.A. 2006. Prospecção Mineral no Grupo Paranoá. Reprocessamento de dados aerogamaespectrométricos e interpretação

- integrada de imagens TM – Landsat 5. Revista Brasileira de Geofísica 24(3):343-355. São Paulo Jul./set.
- MENT, A. 200. As condições hidrogeológicas do Brasil. In: Hidrogeologia, Conceitos e aplicações. CPRM/REFO, LABHID, UFPE, Fortaleza. 1ª Edição p. 323-340.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Mapeamento de cobertura Vegetal do Bioma Cerrado. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/portabio> Acesso em: 10/03/008.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2006. Caderno da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente. 132p.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO. Plano decenal de expansão de energia: 2007/2016 / Ministério de Minas e Energia ; Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. \_ Brasília : MME, 2007. 2 v. : il.
- OLIVEIRA, M.A.T.; HERRMANN, M.L.P. 2001. Ocupação do solo e riscos ambientais na área conurbada de Florianópolis. In: Impactos Ambientais Urbanos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertnd Brasil. Cap. 4 p. 147-188.
- PORTARIA 518/2004. Padrão de Potabilidade da água para consumo humano. Ministério da Saúde, Brasília.
- REBOUÇAS, A.C. 2002. Água doce no mundo e no Brasil. In; Rebouças, A.C; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 2 ed. rev. e amp. São Paulo: Escrituras.
- REBOUÇAS, A.C., BRAGA, B., TUNDISI, J.G. 2002. Águas Doces no Brasil: capital Ecológico, uso e conservação. 2 ed. São Paulo, ed. Escrituras, 703p.
- SÁNCHEZ, L.E. 1998. As etapas iniciais do processo de avaliação de impacto ambiental. In: Goldenstein, S. & Faria, A.A.C. Organizadores. Avaliação de Impacto Ambiental. 1 ed. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente,, v. 1, p. 35-55.
- SANTOS, A.C. 1997. Noções de Hidroquímica. In: F.A.C. FEITOSA & J.M. FILHO (eds.) Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. CPRM, LABHID-UFPE, Fortaleza, pp.: 81-108.
- SCHOBENHAUS, C., CAMPOS, D.A., DERZE, G.R., ASMUS, H.E. 1984. Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Escala 1:250.000. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, p. 307-314.
- SILVA, F.C. 2007. Análise integrada de usos de água superficial e subterrânea em macro-escala numa bacia hidrográfica: O caso do alto rio Paranaíba. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e saneamento Ambiental. 132p.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). 2006. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Planilhas com dados municipais em EXCEL. Disponível em <http://www.snis.gov.br/>. Acesso em: 10/02/008
- SOPHOCLEOUS, M. 2002. Interactions between groundwater on surface water the state of the science. Hydrogeol J., 10:52-67.
- THEMAG ENGENHARIA. 2000. Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Imapato Ambiental. Usina Hidrelétrica de Peixe Angical.
- THEMAG ENGENHARIA 2004. Usina Hidroelétrica. Divisão de queda do rio Tocantins. Disponível em: <http://www.themag.com.br/Docs/Usina%20CD.pdf>, acesso em 09/2007.



- TUCCI, C.E.M.; MENDES, C.A. 2006. Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica. MMA/SQA. Brasília. 302 p.
- TUNDISI, J.G. 1987. Works on the Lobo (Broa) ecosystem and reservoirs in Brasil. In: Expert Group Workshp on river/lake basin approach to environmetally sound management of water resources. UNCRD/ILEC/UNEP. Nagoya and Otsu, Japan.
- VON SPERLING, M. 2005. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais.452 p.
- WATHERN, P. 1988. In: Introductory guide to EIA. Environmental Impact Assessment: theory and Praticce. London. p. 3-30.
- WINTER, T.C., HARVEY, J.W.; FRANKE, O.L.; ALLEY, W.M. 1998. Grounwater and surface water: a single resource. U.S. Geological Survey Circular 1139.

## **ANEXOS**

Parâmetros	Camp.	Vila do Retiro									São Salvador do Tocantins											Paraná															
		Poços de Monitoramento									Poços de Monitoramento											Poços de Monitoramento															
		SP-100	SP-101	SP-102	SP-103	SP-104	SP-105	SP-106	SP-107	SP-108	SP-201	SP-202	SP-203	SP-204	SP-205	SP-206	SP-207	SP-208	SP-209	SP-210	SP-211	SP-300	SP-301	SP-302	SP-303	SP-304	SP-305	SP-306	SP-307	SP-308	SP-309	SP-310	SP-311	SP-313	SP-314	SP-315	
Sódio (mg/L)	1ª	0,33	0,18	0,37	0,46	0,10	0,37	0,40	0,51	0,68	0,11	0,47	0,15	0,38	0,05	0,26	0,18	0,30	0,56	0,18	0,29	0,20	0,91	0,31	3,10	0,19	0,45	0,10	0,42	0,73	0,24	0,41	0,23	0,67	0,20	0,76	
	2ª	8,67	13,39	12,88	10,98	10,98	4,68	8,37	16,18	4,17	1,97	6,60	2,51	1,38	1,02	6,05	1,78	2,13	18,50	1,90	6,01	4,36	41,86	12,98	11,03	1,73	7,96	1,24	6,05	17,27	4,68	11,36	9,01	21,28	38,82	18,50	
	3ª	1,07	0,08	1,70	1,79	0,11	0,56	2,52	4,07	0,48	0,12	0,62	0,06	0,11	0,05	0,41	0,19	0,18	6,22	1,33	1,15	0,28	13,67	0,92	1,42	0,16	1,56	0,14	1,83	5,34	0,99	2,62	4,44	4,32	4,99	8,60	
	4ª	2,26	0,61	4,35	5,31	5,22	2,87	7,02	8,23	3,72	1,53	3,76	1,11	0,96	0,43	1,92	0,88	1,19	7,59	5,50	3,27	1,47	15,70	3,66	3,82	1,15	3,90	1,15	3,71	8,22	3,12	4,67	1,62	8,11	7,09	9,38	
Potássio (mg/L)	1ª	0,06	0,03	0,14	0,11	0,09	0,04	0,78	0,15	0,11	0,02	0,05	0,01	0,03	0,02	0,03	0,07	0,02	0,02	0,07	0,50	0,08	11,03	0,06	0,07	0,03	0,00	0,06	0,02	0,08	0,01	0,22	0,42	0,79	0,99		
	2ª	2,22	0,62	3,61	2,81	2,81	0,49	2,55	4,21	0,65	0,29	2,19	0,54	0,90	0,31	0,72	0,54	0,65	3,23	0,85	0,75	2,19	15,32	5,06	3,10	2,01	1,86	1,43	0,78	4,26	1,01	2,53	1,29	6,17	13,39	12,12	
	3ª	0,29	0,22	1,82	0,84	0,74	0,24	2,74	1,62	0,12	0,10	0,70	0,09	0,27	0,16	0,55	0,14	0,20	0,97	0,19	0,20	0,70	11,21	0,77	0,63	0,52	0,58	0,10	0,28	0,42	0,13	1,17	0,05	2,61	6,40	7,67	
	4ª	1,02	0,69	3,93	2,78	2,73	1,09	8,21	4,03	1,3	0,31	2,47	0,44	1,14	0,49	2,4	0,41	0,89	1,83	1,12	0,79	2,09	12,8	2,89	1,88	1,96	1,96	0,31	1,14	1,27	0,24	3,07	0,00	4,88	7,85	8,62	
Cálcio (mg/L)	1ª	2,05	0,10	3,59	12,92	1,49	0,53	6,15	13,68	15,88	1,05	2,11	2,72	2,96	0,46	6,73	1,08	0,26	2,56	2,31	2,27	1,00	47,46	3,79	38,90	0,70	4,04	10,38	13,26	50,32	2,84	24,10	0,46	60,10	98,80	82,10	
	2ª	7,48	0,45	2,75	12,80	5,94	0,61	9,49	9,24	2,87	2,64	6,39	7,20	3,21	2,15	7,77	11,00	2,56	2,17	7,14	5,29	1,54	58,00	24,10	33,70	3,39	7,05	7,37	9,67	46,39	6,77	24,36	4,75	60,19	73,50	46,40	
	3ª	1,32	0,47	2,89	11,15	1,08	0,95	5,82	8,59	0,39	0,83	1,29	0,83	1,83	0,45	20,60	0,51	0,20	1,95	0,60	2,08	1,83	53,02	1,13	5,67	0,35	4,19	0,82	3,16	7,13	2,97	49,94	0,27	35,33	78,60	70,80	
	4ª	1,06	0,41	3,82	8,36	0,89	0,39	5,92	5,59	0,69	0,47	1,1	0,60	1,60	0,36	26,99	0,36	0,24	1,46	1,68	2,35	1,77	38,6	1,94	4,09	0,37	3,94	0,72	3,98	5,7	2,11	41,3	0,38	46,7	64,3	59	
Magnésio (mg/L)	1ª	1,38	0,10	2,83	5,71	1,37	0,09	2,48	3,72	6,09	0,62	1,20	0,66	2,38	0,04	2,21	0,37	1,47	2,98	0,14	0,63	0,28	9,70	2,10	1,79	0,84	2,93	2,70	12,61	21,47	1,53	6,88	0,51	3,53	8,19	6,26	
	2ª	3,29	0,41	2,63	5,76	1,44	0,13	3,20	4,70	0,46	0,68	1,72	1,40	1,77	0,58	2,94	0,83	2,31	2,43	0,37	2,67	0,30	11,70	2,89	1,79	1,30	3,03	1,48	3,35	19,82	3,12	7,32	1,53	6,64	7,33	7,08	
	3ª	1,02	0,22	2,56	6,22	1,35	0,09	3,06	2,54	0,32	0,44	1,25	0,56	1,76	0,74	4,43	0,44	1,53	2,79	0,16	2,23	0,46	17,53	2,10	0,42	1,08	2,30	0,48	1,74	17,37	1,45	10,50	0,11	3,91	4,31	5,78	
	4ª	0,77	0,26	2,67	4,62	1,03	0,10	2,77	1,70	0,54	0,29	1,11	0,38	1,38	0,46	4,50	0,42	1,37	1,93	0,46	1,91	0,41	9,30	1,45	0,27	0,81	2,44	0,32	1,71	12,91	1,18	6,27	0,09	3,63	2,96	3,37	
Ferro (mg/L)	1ª	0,23	0,11	0,27	0,06	0,24	0,02	1,04	0,32	0,17	0,77	0,28	2,51	0,19	0,24	0,28	2,72	0,06	0,07	0,08	0,05	0,06	0,03	0,02	0,09	0,01	0,01	1,78	0,53	0,72	0,10	0,17	6,31	0,04	0,08	0,05	
	2ª	<LD	0,07	<LD	0,04	0,06	<LD	<LD	<LD	0,03	<LD	0,03	<LD	0,04	<LD	0,02	0,02	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,19	0,02	0,02	0,09	<LD	0,03	<LD	0,07	<LD	<LD	<LD	<LD	0,02	0,02	0,03
	3ª	0,01	0,02	0,03	0,02	0,04	1,29	0,19	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,28	1,21	0,77	0,63	0,52	0,58	0,10	0,28	0,00	0,03	0,01	0,43	0,02	0,01	0,01	
	4ª	0,03	0,02	0,03	0,33	0,06	4,96	0,46	0,02	0,09	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01	0,05	0,04	0,01	0,01	0,05	0,01	0,11	0,03	0,02	0,15	0,02	0,03	0,01	<LD	0,00	0,04	0,01	0,04	0,43	0,00	0,00	0,01
Silício (mg/L)	1ª	6,67	4,23	18,51	7,89	6,82	11,53	20,74	8,54	16,10	7,04	7,89	5,46	8,87	4,76	13,36	6,31	7,75	5,90	5,12	5,94	4,54	7,50	6,11	24,63	4,77	20,29	12,50	19,08	3,69	22,94	28,05	19,61	17,71	14,40	17,55	
	2ª	8,31	4,36	9,78	26,56	6,44	13,03	20,83	16,72	7,39	6,47	7,78	5,65	7,49	5,54	10,35	7,01	9,38	5,77	4,70	10,06	4,87	4,48	12,36	24,63	6,19	23,86	7,56	20,60	28,89	19,54	29,55	11,10	21,83	13,00	31,12	
	3ª	5,03	3,25	10,27	17,44	4,49	8,45	16,91	2,50	7,39	5,36	5,89	5,04	6,44	5,05	10,58	5,36	6,85	4,50	4,53	6,90	4,01	12,13	5,79	15,25	5,03	18,06	5,37	11,23	16,14	19,95	20,67	9,50	13,46	12,42	14,35	
	4ª	21,8	11,8	69,8	42,9	20,1	32,0	55,3	11,4	39,0	19,1	24,8	22,2	27,9	20,5	56,7	24,9	32,7	21,9	22,0	34,0	13,3	36,3	19,8	71,6	17,4	77,4	20,8	48,2	67,3	81,8	88,5	39,1	57,2	51,9	60,1	
Manganês (mg/L)	1ª	0,02	0,01	0,03	0,01	0,05	0,03	0,01	0,05	0,03	0,05	0,06	0,03	0,03	0,01	0,09	0,02	0,50	0,05	0,03	0,03	0,05	0,02	0,03	0,05	0,04	0,00	0,04	0,00	0,00	0,13	0,04	0,02	0,12	0,68		
	2ª	<LD	0,02	0,04	0,01	0,12	0,01	0,02	0,17	0,04	0,03	0,17	0,08	0,02	0,03	0,07	0,09	0,04	0,05	0,06	0,04	0,02	0,55	0,02	0,27	0,14	0,01	0,14	0,05	0,18	0,01	0,01	0,06	0,12	0,24	0,19	
	3ª	<LD	0,01	<LD	<LD	0,06	0,11	0,05	<LD	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,04	0,02	<LD	0,02	<LD	0,02	<LD	0,00	0,02	<LD	0,00	0,01	0,00	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,07	0,28
	4ª	0,03	0,03	0,01	0,01	0,06	0,05	0,46	0,01	0,03	0,02	0,05	0,01	0,00	0,02	0,13	0,04	0,01	0,02	0,09	0,03	0,01	0,03	0,19	0,06	0,03	0,04	0,04	0,03	0,14	0,03	0,07	0,21	0,02	0,06	0,24	0,43
Bário (mg/L)	1ª	0,05	-	0,07	0,07	0,04	-	0,10	0,18	0,02	0,03	0,07	0,04	0,03	0,02	0,04	0,01	0,01	0,02	0,09	0,03	0,01	0,03	0,19	0,06	0,03	0,04	0,04	0,03	0,14	0,03	0,07	0,21	0,02	0,06	0,24	0,43
	2ª	0,02	0,01	0,07	0,03	0,02	0,01	0,09	0,06	0,01	0,02	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,08	0,07	0,02	0,03	0,41	0,08	0,05	0,05	0,05	0,02	0,04	0,00	<LD	0,00	0,01	0,00	0,01	0,29		
	3ª	0,04	0,02	0,08	0,02	0,04	0,01	0,17	0,05	0,03	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,05	0,03	0,02	0,06	0,12	0,03	0,03	0,33	0,07	0,04	0,05	0,04	0,02	0,03	0,18	0,05	0,28	0,00	0,05	0,07	0,17	
	4ª	0,37	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,60	0,07	0,03	0,14	0,06	-	0,01	0,02	0,04	0,02	0,39	0,11	0,99	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,07	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	
Zinco (mg/L)	2ª	-	0,63	0,05	0,03	0,03	0,02	-	0,01	0,02	0,03	0,27	0,03	0,02	0,02	0,05	0,10	0,05	-	-	0,11	0,06	0,08	0,08	0,05	0,18	0,07	0,05	0,04	0,04	0,09	0,03	-	0,04	0,06		
	3ª	0,11	0,03	0,01	<LD	<LD	0,01	0,01	<LD	0,00	0,11	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02	0,10	0,06	0,70	0,01	0,03	0,09	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	<LD		
	4ª	0,57	0,12	0,05	0,04	0,05	0,05	0,06	0,04	0,08	0,05	0,06	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,09	0,05	0,18	0,00	0,11	0,02	<LD	0,02	0,08	0,01	0,01	0,00	<LD	0,01	0,00	<LD	0,01	0,00	<LD	
	1ª	0,07	0,03	0,04	-	-	2,76	0,92	0,22	0,13	0,14	0,51	0,61	3,18	-	0,03	0,16	0,20																			

Tabela 2. Linha analítica e limite de detecção dos elementos determinados no ICP/AES

elementos	linha espec nm	LD
Al	308,21	0,01
Ba	233,53	0,003
Ca	317,93	0,008
Cd	228,8	0,002
Co	228,62	0,018
Cr	267,72	0,002
Cu	327,75	0,0006
Fe	259,95	0,002
La	398,85	0,0025
Mg	279,88	0,0059
Mn	257,61	0,0004
Mo	386,41	0,0028
Ni	231,6	0,0049
P	178,29	0,0067
Pb	220,35	0,15
Si	251,61	0,03
Sr	407,77	0,025
Ti	337,28	0,0007
V	311,07	0,0014
Y	371,03	0,0002
Zn	213,86	0,004
Zr	339,2	0,00077

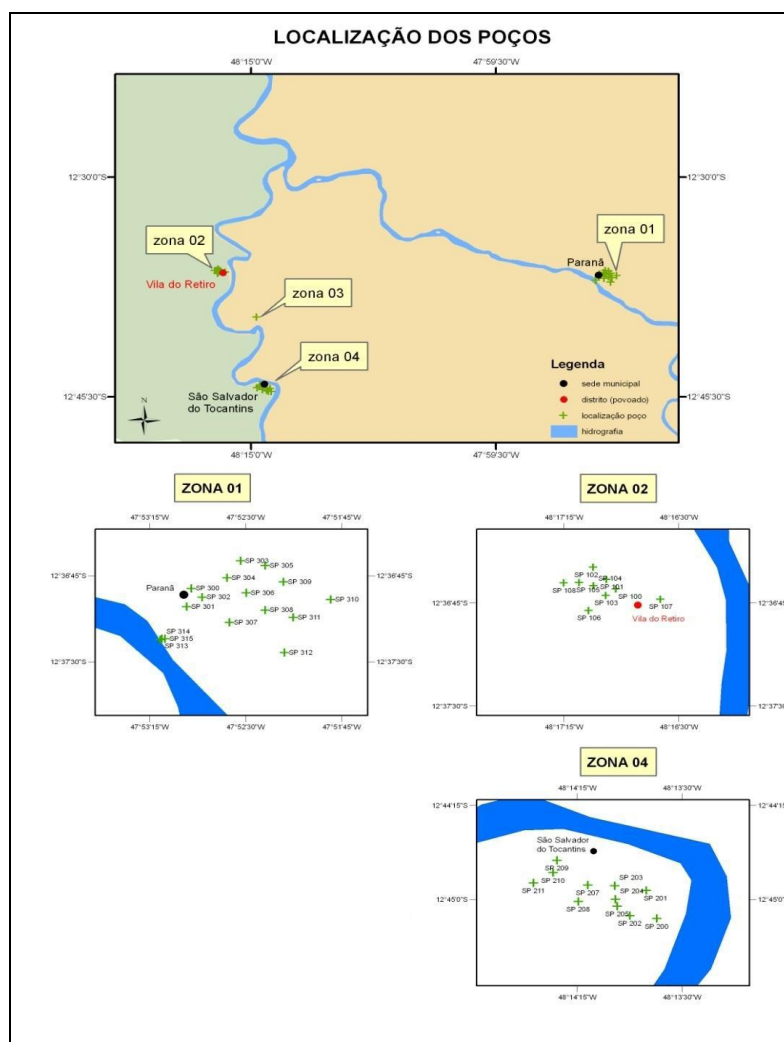


Figura 1 – Mapa de Localização dos poços de amostragem (zonas 1,2 e 4)



Foto 1 – UHE Peixe Angical após formação do Lago.  
Fonte: Página de FURNAS Centrais Elétricas



Foto 2 – Ensaios de infiltração – Etapa pré campanhas de amostragem.



Foto 3 – Etapa de Campo, amostragem nos poços de monitoramento.



Foto 4 – Análise dos parâmetros físico-químicos *in situ* e no laboratório de campo.



Foto 5 – Análise de parâmetros no Laboratório da Geoquímica/UnB.