



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**INSTITUTO DE QUÍMICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**  
**LABORATÓRIO DE QUÍMICA ANALÍTICA E AMBIENTAL**

**JOELMA FERREIRA PORTELA**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA  
DIRETA DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ÁGUAS EMENDADAS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Orientador:** Prof. Dr. Jurandir Rodrigues de Souza

**Brasília, agosto de 2013**

**JOELMA FERREIRA PORTELA**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA  
DIRETA DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ÁGUAS EMENDADAS**

**Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Química do  
Instituto de Química da Universidade de  
Brasília, Área de concentração Química  
Analítica, como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre em Química.**

**Orientador:** Prof. Dr. Jurandir Rodrigues de Souza

**Brasília, agosto de 2013**



Universidade de Brasília – Instituto de Química

## COMUNICADO

Comunicamos a aprovação da Defesa de Dissertação de Mestrado do (a) aluno (a) **Joelma Ferreira Portela**, intitulada "*Avaliação da Qualidade da Água na Área de Influência Direta da Estação Ecológica de Águas Emendadas*", apresentada no Instituto de Química (IQ) da Universidade de Brasília (UnB) em 16 de agosto de 2013.

Prof.º Dr. Jurandir Rodrigues de Souza  
Presidente (IQ / UnB)

Prof.º Dr. Geraldo Resende Boaventura  
Membro Titular (IG / UnB)

Prof.ª Dr.ª Valéria Regina Bellotto  
Membro Titular (IQ - UnB)

Brasília, 16 de agosto de 2013.

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha família  
pelo incentivo e amor incondicional.*

## **AGRADECIMENTO**

Aos meus pais, Homéδιο e Antonia e aos meus irmãos Thiago e Juliana, por todo amor, ao meu amigo irmão Jean Ceolin por estar presente, desde sempre, na minha vida.

Às queridas amigas Fabíula, Ângela e Carla pela verdadeira amizade.

Ao Juruna pela grande contribuição e dedicação.

A todos os amigos, em especial Misael, Frederico, Naamã, Tiago Kisaka, Ray Alves, Arilson Onésio, Leandro Andrade, Alberto Mota, Eduardo Ferreira, Júlia Ervilha, Myller, Fernando, Igor Pontes, Ernane, João Peres, Gustavo, Ariadna, Van Nells, Jhonatan, Rosângela, Gabriella Magarelli e Joina por colaborarem com a realização desse trabalho.

Ao Professor Jurandir por seu apoio, inspiração, paciência e orientação. Aos Professores José Vicente Bernardi, Geraldo Boaventura, Valéria Regina Bellotto e Gerson Mól por toda colaboração.

Agradeço ao IQ-UnB e a CAPES.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo o estudo geoquímico das águas da Área de Influência Direta (AID) da Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESEC-AE). Essas águas são drenadas para duas importantes bacias hidrográficas: Rio Maranhão e São Bartolomeu. A área de estudo está localizada na cidade de Planaltina – DF. Foram realizadas duas coletas compreendendo os períodos de seca e chuva. Foram determinados parâmetros físico-químicos (temperatura, pH, condutividade, turbidez, sólidos totais dissolvidos, cor verdadeira, cor aparente), ânions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{HCO}_3^-$ ) e os elementos (K, Na, Ca, Mg, Si, Al, Fe, Sr, La, Ti, V, Ni, Zr, Cu, Cr, Mn, Ba, Co, Zn, Cd, Mo). A partir dos resultados, que foram submetidos aos métodos de Análise de Variância (ANOVA) e Análise por Componentes Principais (ACP), foi possível identificar diferenças entre os períodos hidrológicos, identificar os impactos relacionados às atividades antrópicas e correlacionar a composição da água à geologia local. A ACP identificou três grupos que apresentaram características similares em relação aos parâmetros estudados. Esse agrupamento possibilitou a identificação das fontes das substâncias causadoras do impacto ambiental na ESEC-AE. Além disso, foi possível identificar a contribuição geológica, devido a correlação com as variáveis  $\text{HCO}_3^-$ , STD, K, C.E., Ca, Mg e Si (rochas calcárias) e antrópica devido correlação com as variáveis turbidez, cor verdadeira, cor aparente,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  indicando o impacto na composição química dessas águas.

**Palavras-chave:** *Qualidade da água, ESEC-AE, Análise de Componentes Principais.*

## ABSTRACT

This work aimed to study the geochemistry of waters of the Direct Influence Area (DIA) of the Water Emendadas (ESEC - AE) Ecological Station. These waters are drained for two major river basins: Rio Maranhão and São Bartolomeu. The study area is located in Planaltina - DF. Two samplings were performed comprising periods of drought and rain. Certain physico - chemical parameters (temperature, pH, conductivity, turbidity, total dissolved solids, true color, apparent color), anions (  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{HCO}_3^-$  ) and the elements (K, Na, Ca, Mg, Si, Al, Fe, Sr, La, Ti, V, Ni, Zr, Cu, Cr, Mn, Ba, Co, Zn, Cd, Mo). From the results, which were subjected to the methods of analysis of variance (ANOVA) and Principal Component Analysis (PCA), it was possible to identify differences between the hydrological periods, identify impacts related to human activities and to correlate the composition of water to geology location. The PCA identified three groups with similar characteristics make regarding the studied parameters. This grouping enabled the identification of the sources of the substances causing environmental impact in ESEC - AE. Furthermore, it was possible to identify the geological contribution due to correlation with  $\text{HCO}_3^-$ , STD, K, E.C., Ca, Mg and Si (calcareous rocks) and anthropogenic variables because the variables correlated with turbidity, true color, apparent color,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  indicating the impact on the chemical composition of these waters.

**Keywords:** Water quality, ESEC-AE, Principal Component Analysis.

---

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....	x
LISTA DE TABELAS .....	xii
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS .....	1
1.1 Introdução .....	1
1.2 Objetivos .....	2
1.2.1 <i>Objetivos específicos</i> .....	2
1.3 Revisão Bibliográfica.....	2
1.3.1 <i>Fatores que influenciam a qualidade da água e técnicas estatísticas na interpretação de dados hidrogeoquímicos</i> .....	3
2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS .....	6
2.1 Área de estudo.....	6
2.2 Geologia.....	6
2.3 Geomorfologia.....	9
2.4 Clima.....	10
2.5 Solo e Vegetação .....	11
2.6 Hidrologia.....	13
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	15
3.1. AMOSTRAGEM E PREPARO DE AMOSTRAS .....	15
3.2 Análise da Água .....	20
3.2.1 <i>Determinação dos parâmetros físico-químicos</i> .....	20
3.2.2 <i>Determinação dos ânions</i> .....	20
3.2.3 <i>Determinação dos elementos</i> .....	21
3.3 Balanço Iônico.....	22
3.4 Tratamento Estatístico .....	23
3.4.1 <i>Tratamento de Dados</i> .....	23
3.4.2 <i>Estatística Descritiva e Análise de Variância</i> .....	23
3.4.3 <i>Análise de Componentes Principais</i> .....	24

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
4.1	Controle analítico e Figuras de mérito.....	25
4.2	Diferença entre os períodos hidrológicos .....	26
4.3	Avaliação das áreas categorizadas da ESEC-AE .....	29
4.4	Análise das Componentes Principais .....	36
5	CONCLUSÃO .....	47
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49
	ANEXO.....	52

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

---

<b>Al</b>	Alumínio
<b>AID</b>	Área de Influência Direta
<b>ANA</b>	Agência Nacional das Águas
<b>ANOVA</b>	Análise de Variância
<b>APA</b>	Área de Proteção Ambiental
<b>APHA</b>	Associação Americana de saúde pública (do inglês, <i>American public health association</i> )
<b>APC</b>	Análise de Componentes Principais
<b>AP</b>	Área de Preservação
<b>AR</b>	Área Rural
<b>AU</b>	Área Urbana
<b>AWWA</b>	<i>American Water Works Association</i>
<b>Ca</b>	Cálcio
<b>CAESB</b>	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
<b>CETESB</b>	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
<b>Cl<sup>-</sup></b>	Cloreto
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>Cor Ap</b>	Cor aparente
<b>Cor Vd</b>	Cor verdadeira
<b>C.E</b>	Condutividade Elétrica
<b>EAA</b>	Espectrofotômetro de Absorção Atômico
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>EPA</b>	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

<b>ESEC-AE</b>	Estação Ecológica de Águas Emendadas
<b>ETE</b>	Estação de Tratamento de Esgoto
<b>Fe</b>	Ferro
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Bicarbonato
<b>ICP/OES</b>	Espectrometria de Emissão Ótica com fonte de Plasma
<b>IG</b>	Instituto de Geociências
<b>IQ</b>	Instituto de Química
<b>K</b>	Potássio
<b>LABGEQ</b>	Laboratório de Geoquímica
<b>LD</b>	Limite de detecção
<b>LQAA</b>	Laboratório de Química Analítica Ambiental
<b>Mg</b>	Magnésio
<b>Na</b>	Sódio
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	Amônio
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Nitrato
<b>pH</b>	Potencial hidrogeniônico
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	Fosfato
<b>UnB</b>	Universidade de Brasília
<b>Si</b>	Sílicio
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	Sulfato
<b>STD</b>	Sólidos totais dissolvidos
<b>T</b>	Temperatura
<b>Tur</b>	Turbidez

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 3.1 - Pontos de coleta de água e relação de uso e ocupação do solo: Área de influência Rural (AR); Área de influência Urbana (AU); Área de Preservação (AP). P16 e P27 não foram coletados no período seco e P28 não foi analisado no período chuvoso. ....	19
Tabela 3.2 - Parâmetros operacionais do ICP/OES. ....	22
Tabela 3.3 - Erro admissível nas análises dos íons majoritários. ....	22
Tabela 4.1 - Limites de detecção do EAA, IC e ICP/OES. ....	25
Tabela 4.2 - Comparação dos resultados obtidos na análise da água entre o período chuvoso e seco. ....	27
Tabela 4.3 - Análise de grupo para variáveis paramétricas para período seco. ....	30
Tabela 4.4 - Análise de grupo para variáveis não paramétricas para período seco. ....	31
Tabela 4.5 - Análise de grupo para variáveis não paramétricas para período seco e chuvoso. ....	32
Tabela 4.6 - Análise de grupo para variáveis paramétricas para período seco e chuvoso. ....	32
Tabela 4.7 - Tabela comparativa de parâmetros de qualidade da água. ....	35
Tabela 4.8 - Autovalores (eigenvalue) porcentagem da variância e porcentagem cumulativa da variância para as três primeiras componentes principais dos dados para o período de seca e cheia. ....	36
Tabela 4.9 - Cargas das componentes principais indicando as porcentagens de explicação da variabilidade das variáveis para o período de seca e cheia. ....	38
Tabela 4.10 - Cargas das componentes principais indicando as porcentagens de explicação da variabilidade das variáveis para o período de seca e cheia. ....	41

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 2.1 - Localização da área de estudo. ....	7
Figura 2.2 - Mapa geológico da área de estudo. ....	8
Figura 2.3 - Mapa Geomorfológico da área de estudo. ....	9
Figura 2.4 - Variação da média mensal de precipitação pluvial e temperatura Janeiro/2012 a Janeiro/2013. Fonte: Embrapa Cerrados. ....	10
Figura 2.5 - Mapa Pedológico da área de estudo. ....	12
Figura 2.6 - Mapa hidrológico da área de estudo. ....	14
Figura 3.1 - Mapa de localização dos pontos de coleta. ....	16
Figura 3.2 – Ponto de coleta de água na Lagoa Bonita. ....	17
Figura 3.3 – Ponto de coleta de água na captação da Caesb no córrego Fumal (P30). ....	17
Figura 3.4 – Ponto de coleta de água no córrego Atoleiro (P20). ....	18
Figura 3.5 – Ponto de coleta de água no córrego Cascarra no período chuvoso e seco (P27). ....	18
Figura 4.1- Mapa de uso e ocupação do solo. ....	26
Figura 4.2 - Projeção espacial da ordenação dos vetores das variáveis nas duas componentes principais para o período de seca e cheia. ....	39
Figura 4.3 - Gráfico de autovalores. ....	40
Figura 4.4 - Projeção espacial da ordenação dos vetores das variáveis nas duas componentes principais para o período de seca. ....	42
Figura 4.5 - Projeção espacial da ordenação dos vetores das variáveis nas componentes 1 e 3 para o período de seca. ....	43
Figura 4.6 - Projeção espacial da ordenação dos vetores dos pontos de coleta nas duas componentes principais para o período de seca. ....	44
Figura 4.7 - Confluência de córregos com condutividades diferentes. ....	46

# 1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

---

## 1.1 INTRODUÇÃO

Garantir a qualidade da água é um dos assuntos que mais tem atraído a atenção dos órgãos legisladores de proteção aos recursos naturais e de pesquisadores nas últimas décadas. Recentes pesquisas científicas identificam mudanças, atuais e futuras, ambientais em diversos países, inclusive no Brasil, fazendo-se necessário dedicar-se maior atenção aos recursos hídricos e, conseqüentemente, à análise de água, com controle contínuo das áreas ameaçadas de contaminação (POHLING, 2009).

Em Brasília, na região administrativa de Planaltina, encontra-se a Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESEC-AE) que está localizada no interflúvio entre as bacias do rio Maranhão (Tocantins/Araguaia) e do rio São Bartolomeu (Paraná). As águas desta área atravessam o Brasil ao aflorem à superfície, pois correm em direções opostas, seguindo a inclinação do terreno. Somando-se os trajetos, as águas superficiais geradas na Estação Ecológica Águas Emendadas contribuem para uma extensão territorial de 5.450km e percorrem quatro diferentes países. Este fenômeno faz da ESEC-AE uma importante reserva natural, que é protegida por uma unidade de conservação de proteção integral (FONSECA, 2008).

São os principais cursos d'água da Estação Ecológica de Águas Emendadas os córregos Brejinho, Cascarra, Monteiro, Fumal, Vereda Grande e os afluentes Cachoeirinha, Grotta Seca, Serrinha e Tabatinga. Esses cursos d'água possuem diversas interferências tais como: captação de água pela CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal), lançamento de drenagem pluvial de rodovias e fazendas, mas também avanço de loteamentos irregulares e de atividades agropecuárias.

Essa ocupação de forma acelerada e desordenada acarreta à utilização e o manejo inadequado dos recursos naturais, o que tem influência direta na qualidade das águas. Com o intuito de avaliar o efeito das atividades antrópicas sobre a

qualidade das águas da ESEC-AE, este trabalho analisou as variáveis ambientais que drenam parte da Área de Influência Direta (AID), incluindo áreas de preservação, para desta forma identificar as alterações de origem natural e antrópica, importante para nortear políticas públicas quanto ao manejo dos recursos hídricos a fim de auxiliar na manutenção das condições naturais dessa importante região.

## 1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo o estudo geoquímico das águas da Estação Ecológica de Águas Emendadas e da área de influência direta para determinar as possíveis fontes de alteração na qualidade da água, diferenciando os impactos relacionados às atividades antrópicas da geologia local.

### 1.2.1 Objetivos específicos

- △ Determinação dos parâmetros físico-químicos e dos metais na água da área em estudo definindo suas fontes;
- △ Correlacionar a composição da água com a geologia local diferenciando os impactos relacionados às atividades antrópicas;
- △ Diagnóstico ambiental da área em estudo, de forma a contribuir para a valoração dos recursos hídricos da ESEC-AE.

## 1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A água é um bem essencial para manutenção da vida na terra, dessa forma a lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 tem como objetivo “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”, e para isso é importante garantir a qualidade da água, visto que segundo a Organização Mundial de Saúde, 80% das enfermidades

que acometem a população são atribuídas a ingestão de água contaminada. Portanto, se faz necessário, para garantia da saúde da população, a manutenção e regulação da qualidade da água. Muitos estudos afirmam que a qualidade da água depende de processos naturais como a geologia da região, intemperismo, eutrofização e também das ações antrópicas que correspondem à ação do homem sobre os cursos d'água, sendo esta responsável pela maioria das alterações da composição da água.

Segundo MARTINS (2009), a contaminação causada por ação antrópica sobre os cursos d'água pode ser pontual ou difusa, sendo a primeira àquela que atinge o corpo d'água através de um ponto, podendo ser efluentes domésticos, sumidouros, aterros sanitários, vazamento de depósitos de produtos químicos ou de posto de combustível. As fontes difusas, por sua vez, contaminam áreas extensas devido a poluentes transportados por correntes aéreas, chuva, oriundos de atividades agropecuárias, que faz uso de fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas onde grandes quantidades de dejetos são produzidas e lançadas diretamente no ambiente ou aplicado em lavouras.

### **1.3.1 Fatores que influenciam a qualidade da água e técnicas estatísticas na interpretação de dados hidrogeoquímicos**

Um dos fatores que influenciam a qualidade da água é a eutrofização, que consiste na gradativa concentração de matéria orgânica acumulada nos ambientes aquáticos, que pode acontecer de forma natural ou por degradação do meio ambiente causada pela ação do homem como o uso de agroquímicos nas lavouras e descarga de esgoto, que tem por consequência o aumento de algas no sistema através do enriquecimento por nutrientes como fósforo e nitrogênio no sistema aquático de forma dissolvida ou particulada. O crescimento da população aliado à falta de planejamento territorial próximo aos cursos d'água pode ter por consequência a eutrofização destes (MONTEIRO, 2004).

Também a agricultura tem grande influência na qualidade da água uma vez que contribui para o aumento das concentrações de diversas substâncias, como

amônia, que encontra-se disponível na forma de íon  $\text{NH}_4^+$  ou na sua forma não ionizada  $\text{NH}_3$ , fósforo, que pode estar disponível na forma de ortofosfatos provenientes dos fertilizantes, metais, entre outras. Devido esta atividade, estas substâncias são descarregadas em ambientes aquáticos através de pulverização aérea, lixiviação e etc. (VON SPERLING, 1996; BILICH, 2007).

Alguns fatores naturais como o intemperismo e a erosão também influenciam nas concentrações de diversas substâncias em ambientes aquáticos. O intemperismo pode ser definido como as modificações necessárias para o equilíbrio nas condições do ambiente, sendo que esses processos podem ser físicos, químicos e biológicos e é responsável pela decomposição de minerais e rochas. A erosão é causada pela ação da água onde ocorre o transporte de diversas substâncias, que pode ser influenciada pela ação do homem com a ocupação desordenada de determinadas regiões (MULHOLLAND, 2009).

Os usos do solo estão relacionados as atividades desenvolvidas como pastos, plantações e loteamentos urbanos, o grau de influência que pode refletir na qualidade da água depende do tempo e da área de exposição aos impactos antrópicos. Por isso a importância de avaliar trabalhos relacionados à área de Estudo atual. Em 1999, Pinelli realizou um estudo na Bacia do São Bartolomeu em Brasília – DF, este estudo incluiu pontos coletados no Ribeirão Mestre d'Armas, através dos resultados obtidos para água neste trabalho, foi possível delimitar os pontos com influência urbana, rural e área preservada, ainda foi confirmada a origem de metais em núcleos urbanos e agrícolas, e mostrou a ausência de um sistema de tratamento de esgoto.

Urbanização desordenada e uso excessivo de fertilizantes foi apontado por Carmo *et al.* (2005) em Água da Bacia do Rio Descoberto. Moura *et al* (2008), mostrou alterações associadas à ocupação humana e ao grau de preservação da mata ciliar na Bacia do Gama – DF, neste trabalho foi utilizado a técnica de principais componentes, aliada a análise de agrupamento, para separar parâmetros relacionados à geoquímica de rocha e a qualidade de água.

Mulholland *et al* 2009, utilizou de análise multivariada na interpretação de dados hidrogeoquímicos da Bacia do alto curso do rio Paracatu - MG, para identificar fontes e distribuição dos componentes físico-químicos e metais presentes

na água e sedimento, para avaliar como a geologia local e as atividades antrópicas influenciam na qualidade da água.

Contudo, vale ressaltar que o estudo da qualidade da água utilizando técnicas estatísticas adequadas se torna um ferramenta importante na identificação de fontes poluidora de forma a contribuir na gestão dos recursos hídricos.

## 2 ASPECTOS FIOGRAFICOS

---

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se no nordeste do Distrito Federal, ao norte da Região Administrativa de Planaltina e engloba a sub-bacia do Ribeirão Mestre d'Armas, localizada a nordeste da cidade de Brasília, entre os paralelos 15°33'12" e 15°41'41" e os meridianos 47°33'16" e 47°47'15", com uma área de 216,44Km<sup>2</sup>. Está localizada nesta sub-bacia a Estação Ecológica de Águas Emendadas – ESEC-AE, que perfaz uma área total de 10.547,21ha, que é foco deste trabalho. No interior da ESEC-AE há uma nascente que drena para o norte, pelo Córrego Vereda Grande contribuindo com a Bacia Hidrográfica Tocantins/Araguaia e para o sul, pelo Córrego Brejinho contribuindo com a Bacia Hidrográfica Paraná (FONSECA, 2008). A área de estudo inclui pontos de coleta na Lagoa Bonita, nos córregos Serrinha, Vereda Grande, Tabatinga, Brejinho, Cascarra, Monteiro, Fumal, Atoleiro e no Rio Pipiripau, por estar na Área de Influência Direta (AID) da ESEC-AE (Figura 2.1).

### 2.2 GEOLOGIA

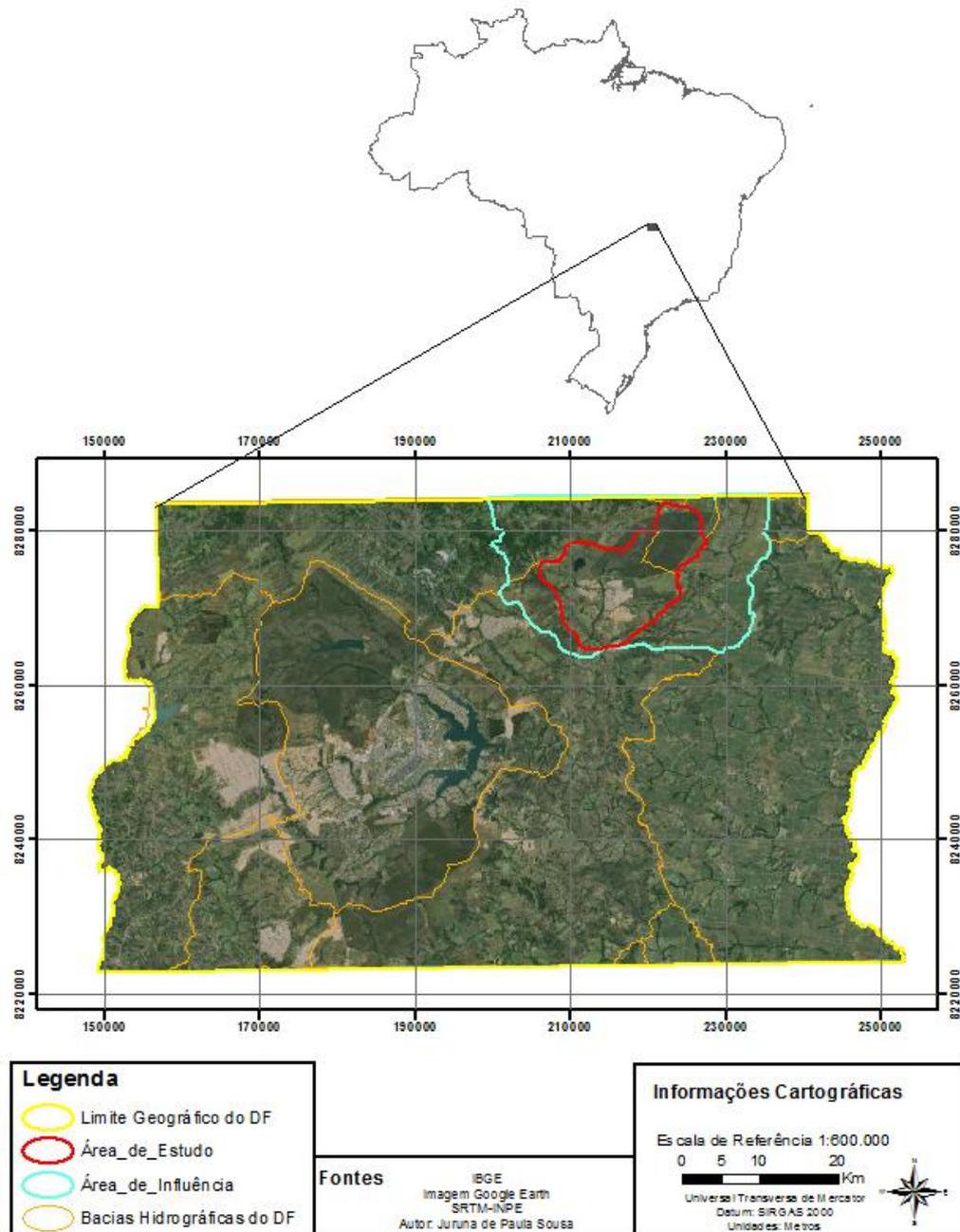
No distrito Federal ocorrem rochas atribuídas aos grupos Canastra, Paranoá, Bambuí e Araxá (Figura 2.2). Na ESEC-AE ocorrem rochas atribuídas aos grupos Canastra e Paranoá e as seguintes unidades litoestratigráficas: Metarritmito Arenoso (R3), Quartzitos Finos a Médios (Q3), Metarritmitos Argilosos (R4) e Litogias psamopelito carbonatadas (PPC) que corresponde ao Grupo Paranoá (FONSECA, 2008). Segue a principais características dessas unidades:

Unidade R3 – Metarritmito Arenoso: Ocorre no extremo leste a área em estudo. Esta unidade é representada por intercalações de camadas de rochas arenosas e de materiais argilosos (FONSECA, 2008).

Unidade Q3 – Quartzito Médio: Ocorrem nas cabeceiras do Córrego Tabatinga, é constituída por quartzitos finos de coloração branca a amarela, compostos por grãos de quartzo (FARIA, 1995; FONSECA, 2008).

Unidade R4 – Metarritmito Argiloso: Ocorrem na porção central da unidade de conservação. Representada por intercalações regulares de metargilitos e

metassiltitos com quartzitos muito finos, feldspáticos, em camadas de 1 a 3 cm (FARIA, 1995).



**Figura 2.1** - Localização da área de estudo.

Unidade PPC – Psamo-Pelito-carbonatada: Ocorre na porção oeste e nas adjacências da Lagoa Bonita. Composta basicamente por metalamitos siltosos.

Ocorrem lentes de metacalcários e lentes de quartzitos grossos e pretos interdigitados com metassiltitos e metargilitos (CAMPOS, 2011; FONSECA, 2008).

O Grupo Canastra na área em estudo ocorre de forma muito restrita, apenas ao sul da Lagoa Bonita. Essa unidade é representada por filitos variados, os quais incluem clorita filitos, quartzo-sericita-clorita filitos, metarritmitos e filitos carbonosos. Ocorrem subordinadamente corpos lenticulares de mármore finos de coloração cinza-claros e quartzitos finos silicificados e cataclasados (FREITAS-SILVA & CAMPOS, 1998; CAMPOS, 2011).

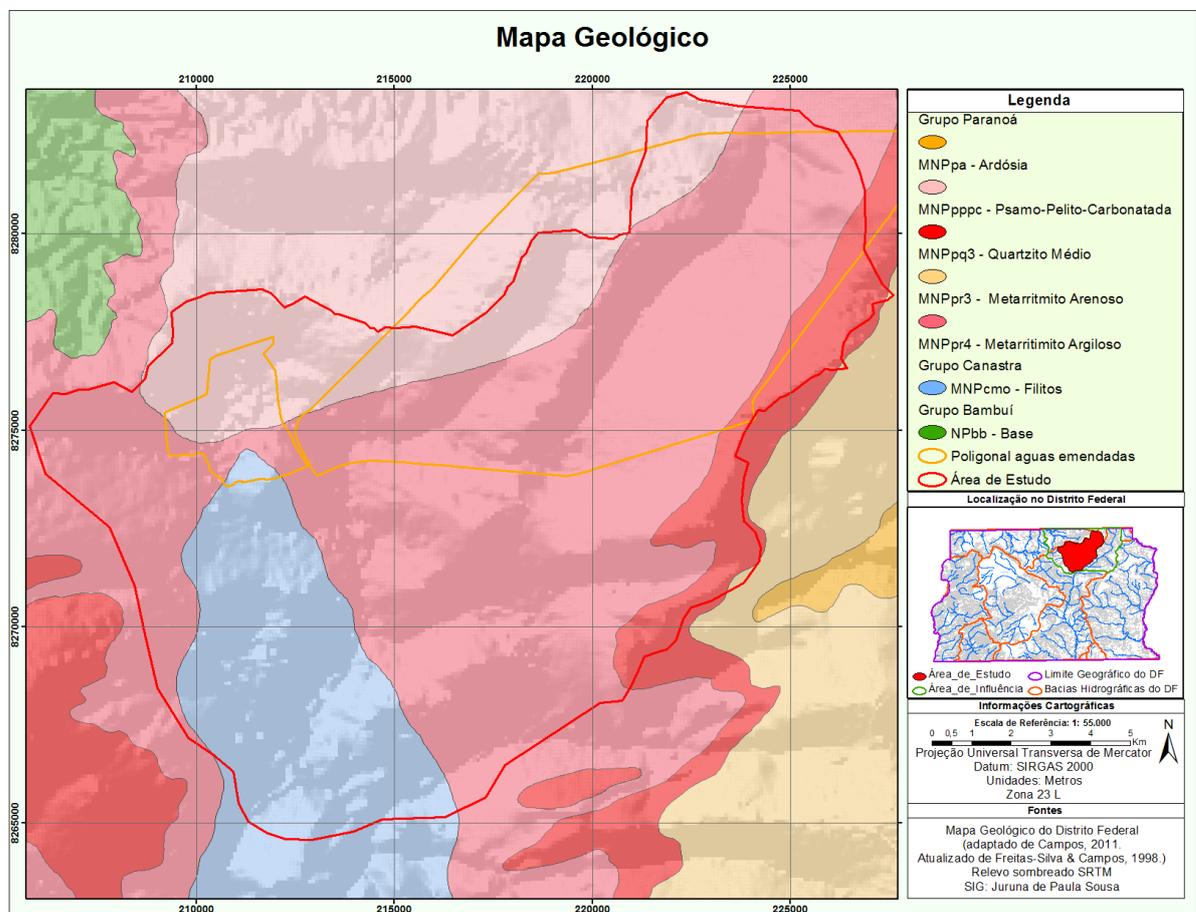


Figura 2.2 - Mapa geológico da área de estudo.

## 2.3 GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia da área de estudo é constituída por três macrounidades (Figura 2.3):

- Região de Chapada: possui topografia plana a suavemente ondulada, composta por quartzitos, metarritmitos, litologias ardósianas, xistosas e filitosas. Ocupa aproximadamente 33,8% do território do DF;
- Área de Dissecação Intermediária: é caracterizada pelas áreas fracamente dissecadas, controladas por rochas pelíticas, drenadas por pequenos córregos. Ocupa em torno de 30,9% do DF;
- Região Dissecada de Vale: região corrugada de vales fluviais, assentada em rochas impermeáveis com alto grau de erosão. Corresponde às depressões com substratos representados por diferentes rochas, com resistências variadas, situadas ao longo dos principais rios da região. Ocupa algo próximo a 35,5% do DF (NOVAES PINTO, 1987; FONSECA, 2007; CAMPOS, 2004; MARTINS & BAPTISTA, 1998).

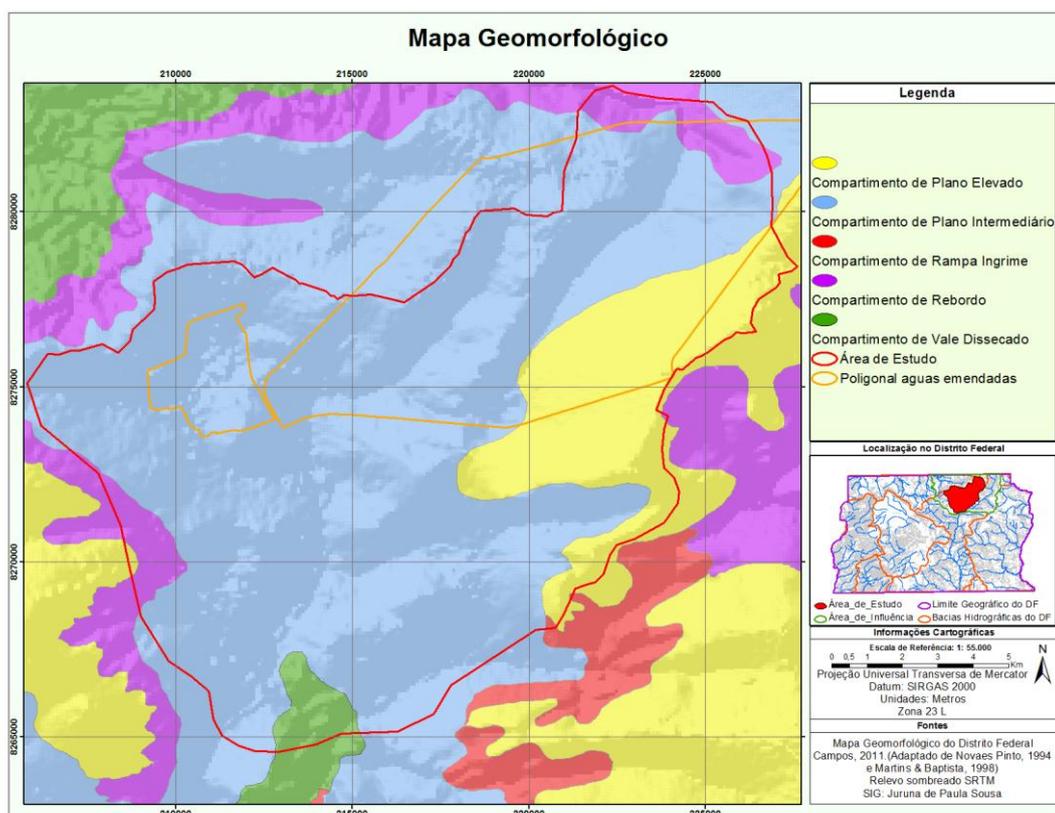
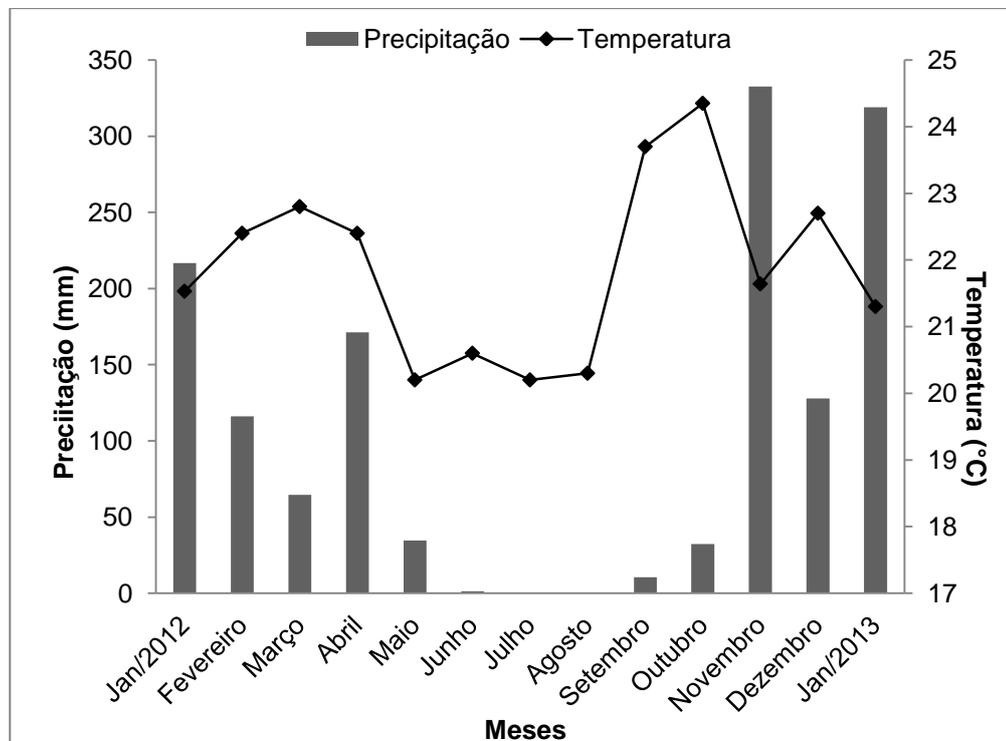


Figura 2.3 - Mapa Geomorfológico da área de estudo.

## 2.4 CLIMA

A área de estudo apresenta concentração pluviométrica no período do verão, sendo os meses mais chuvosos novembro, dezembro e janeiro. O período seco ocorre nos meses de inverno, de junho a agosto. Devido variações altimétricas, responsáveis por variações na temperatura, são observados dois tipos climáticos segundo a classificação de Köppen na região de estudo: tropical (Aw), situada aproximadamente nos locais de cota inferior a 1000 metros, na área restrita ao vale do Rio São Bartolomeu e parte da sub-bacia Mestre d'Armas e tropical de Altitude (Cw), com duas divisões: Cwa, que abrange altitudes entre 1.000 e 1.200 metros, ocorre principalmente no interior da ESEC-AE e Cwb, associado a áreas com cotas altimétricas acima de 1.200 metros, que correspondem ao início da unidade geomorfológica da Chapada do Pipiripau (FONSECA, 2008; PINELLI, 1999). Segundo dados da Embrapa Cerrados, entre janeiro de 2012 e janeiro de 2013, às temperaturas médias variaram de 23,7°C no final do período de estiagem a 20,2°C no meio do inverno, sendo a precipitação média anual de 1.427,0 mm (Figura 2.4).



**Figura 2.4** - Variação da média mensal de precipitação pluvial e temperatura Janeiro/2012 a Janeiro/2013. Fonte: Embrapa Cerrados.

## 2.5 SOLO E VEGETAÇÃO

A região do Distrito Federal (DF) é composta por três unidades pedológicas mais abundantes, denominadas de Latossolos Vermelhos (LV), Latossolos Vermelho-Amarelos (LE) e os Cambissolos Háplicos (Cb) (Figura 2.5). Os latossolos representam 54,47% da área e o cambissolo 31,02%, ocorrem nas vertentes das bacias do Rio Maranhão, do Rio Descoberto e o Rio São Bartolomeu. Na área de estudo ocorre LV, LE, Cb e Gleissolo Háplico.

Os Latossolos Vermelhos são solos com horizonte B latossólico (Bw) com alta permeabilidade, formados de processos de transformação com lixiviação das bases ao longo do seu perfil, o que resulta em concentração de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Este tipo de solo compreende grande distribuição espacial da área de estudo. A vegetação associada é de cerrado e cerradão (MIZUNO, 2012; PINLLEI, 1999).

Os solos da classe Latossolo Vermelho-Amarelo são formados do intemperismo intenso, como os latossolos em geral, com alteração dos silicatos e concentração dos teores de ferro e alumínio. A vegetação associada é geralmente de cerrado *sensu strictu*, campo limpo e campo sujo. Ocorre preferencialmente no compartimento rebordos, apresentando vertentes com declividades entre 5 e 20%. Na unidade de conservação de Águas Emendadas, este tipo de solo está presente nas superfícies aplainadas, principalmente nas encostas das Chapadas Elevadas da porção leste da área, ocorrem também na Unidade Geomorfológica Planos Intermediários, geralmente nas transições entre os interflúvios, acompanhando as redes de drenagem em encostas retilíneas (MIZUNO, 2012; PINELLI, 1999; FONSECA, 2008).

Os Cambissolos Háplicos são solos pouco desenvolvidos, caracterizado por possuírem horizonte B incipiente (Bi), alto teor de silte e baixa permeabilidade. A vegetação associada geralmente é a de campo limpo (MIZUNO, 2012; PINELLI, 1999).

A classe de Gleissolos Háplicos ou hidromórficos são solos mal drenados, pouco desenvolvidos, com elevados teores de matéria orgânica. As

vegetações associadas a este tipo de solo são os campos limpos úmidos, buritizais e matas de galeria (MIZUNO, 2012; FONSECA, 2007).

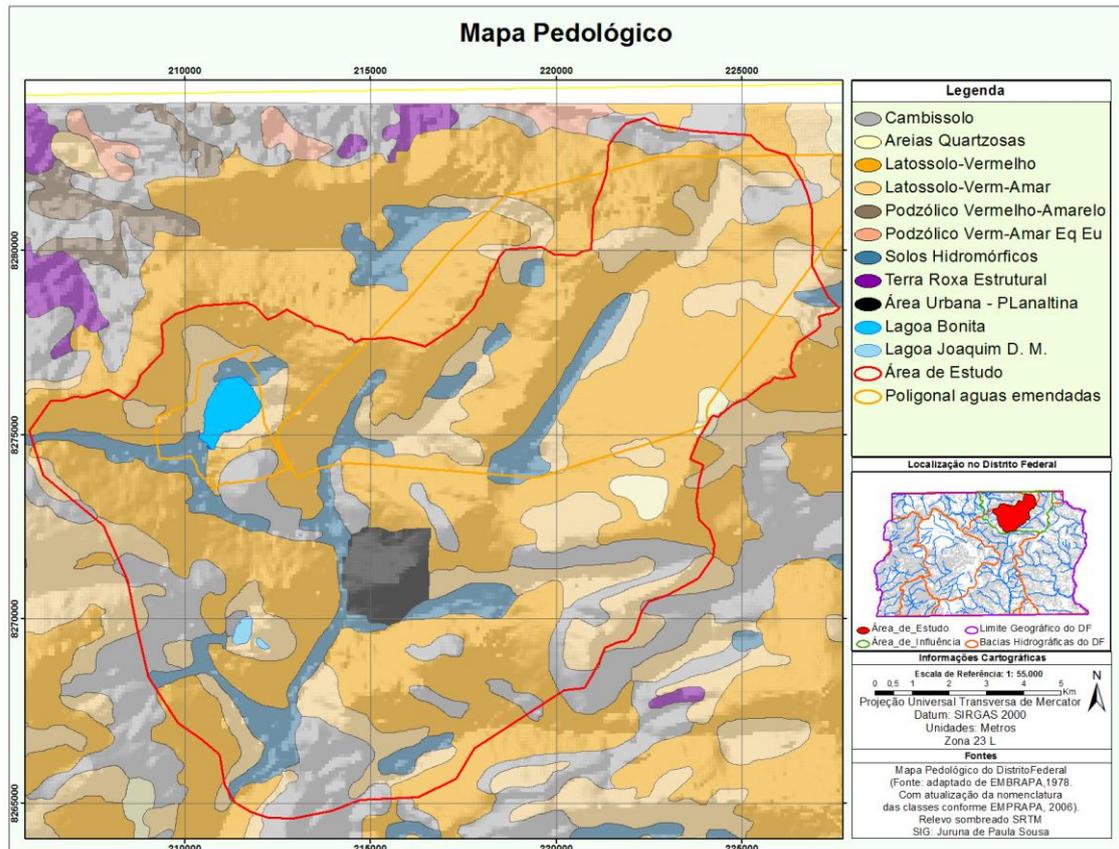


Figura 2.5 - Mapa Pedológico da área de estudo.

O polígono do Distrito Federal está inserido integralmente no bioma Cerrado, a grande diversidade de espécies vegetais e fisionomias neste bioma são favorecidas pela interação entre o clima e os tipos pedológicos. Na área de estudo a vegetação predominante constitui-se de campos, veredas e de cerrado *stricto sensu*, mata de galeria, cerrado denso e mata mesofítica. Segue descrição das principais formas fisionômicas da região.

Campo Sujo: forma mais rala do cerrado que ocorre em solos mais profundos, formação composta por arbustos e subarbustos esparsos.

Campo Limpo: consiste de uma camada rasteira de gramíneas e ervas, com raros arbustos e ausência completa de árvores.

*Cerrado sensu strictu*: ocorre em extensas áreas da ESEC-AE, formação caracterizada pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações retorcidas e irregulares.

*Vereda*: ocorrem ao longo de cursos d'água ou em áreas de nascentes, tipo de vegetação com a palmeira arbórea Buriti. Presente em solos argilosos e mal drenados. Apesar de grande importância para o equilíbrio hidrológico da região, verifica-se a drenagem dessa vegetação nos núcleos urbanos e rurais da região em questão para construções ou cultivos.

*Mata de Galeria*: formação perenifólia ao longo de rios de pequeno porte e córregos do Planalto Central, formando galerias sobre o curso d'água, localiza-se nos fundos dos vales ou nas cabeceiras de drenagem. Na região em estudo esta vegetação é ameaçada pela ocupação agrícola e pela captação de água (MIZUNO, 2012; FONSECA, 2008).

## 2.6 HIDROLOGIA

O bioma cerrado apresenta grande importância na distribuição dos recursos hídricos na América do Sul. Duas grandes bacias hidrográficas brasileiras provem da região em questão, sendo a Bacia Araguaia/Tocantins e a do Paraná, que tem a origem das águas no córrego Vereda Grande localizado na ESEC-AE, sendo este e o córrego Fumal os principais cursos d'água desta Estação. O Córrego Vereda Grande deságua no Rio Maranhão, tributário do Rio Tocantins, este córrego recebe os córregos Tabatinga, Cachoeirinha, Grota Seca e Serrinha. O Córrego Fumal é formado pelo córrego Brejinho, que tem as águas provenientes da Vereda Grande, e do córrego Cascarra. O Córrego Fumal ainda recebe as águas do Córrego Monteiro e é um afluente do Ribeirão Mestre d'Armas bem como o córrego Atoleiro, que se junta ao Rio Pipiripau para formar o Rio São Bartolomeu, o principal curso d'água da bacia de mesmo nome. A Lagoa Bonita e parte de sua área de drenagem na cabeceira do Ribeirão Mestre d'Armas também são integrantes da Estação Ecológica de Águas (Figura 2.6) (FONSECA, 2008).

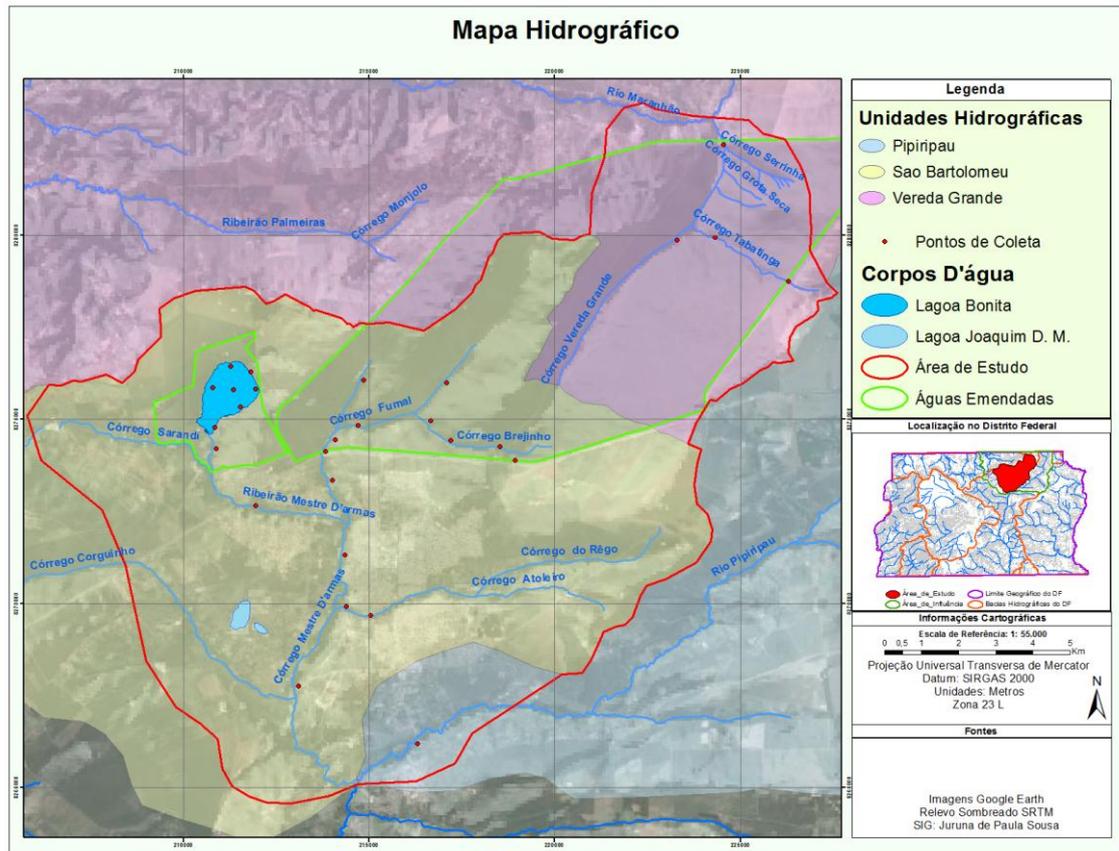


Figura 2.6 - Mapa hidrológico da área de estudo.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

---

### 3.1. AMOSTRAGEM E PREPARO DE AMOSTRAS

Foram escolhidos trinta pontos de coleta de amostra de água na área de estudo (Figura 3.1). Na escolha dos pontos foi levando em consideração a geologia local e ocupação do solo, bem como as vias de acesso, sendo as principais: BR 020, DF 128, DF 345, DF 205 e DF 131. Para ter acesso a todos os pontos também foi utilizado estradas não pavimentadas de acesso a chácaras. Dessa forma, foram definidos pontos em locais estratégicos na AID da ESEC-AE (Figura 3.2, Figura 3.3 e Figura 3.4), de forma a incluir pontos dentro ESEC-AE e em margens limites da área de proteção, mas também fora, em regiões com maior densidade populacional, na intenção de obter uma maior representatividade do espaço físico e dos processos que podem impactar a qualidade da água.

Além disso, a fim de traçar um perfil da qualidade da água, na Lagoa Bonita foram coletados estratos de profundidade, coletando-se no fundo (cerca de 2,5 m), no meio (cerca de 1,0 m) e na superfície da lagoa. Foram realizadas duas coletas: 1ª coleta - período chuvoso (março/2012); 2ª coleta - período seco (outubro/2012). Na primeira campanha foram coletados 30 pontos, no entanto na segunda campanha foram coletados apenas 28 pontos, pois devido à estiagem os cursos d'água referentes aos pontos P16 e P27 (Figura 3.5) estavam secos.

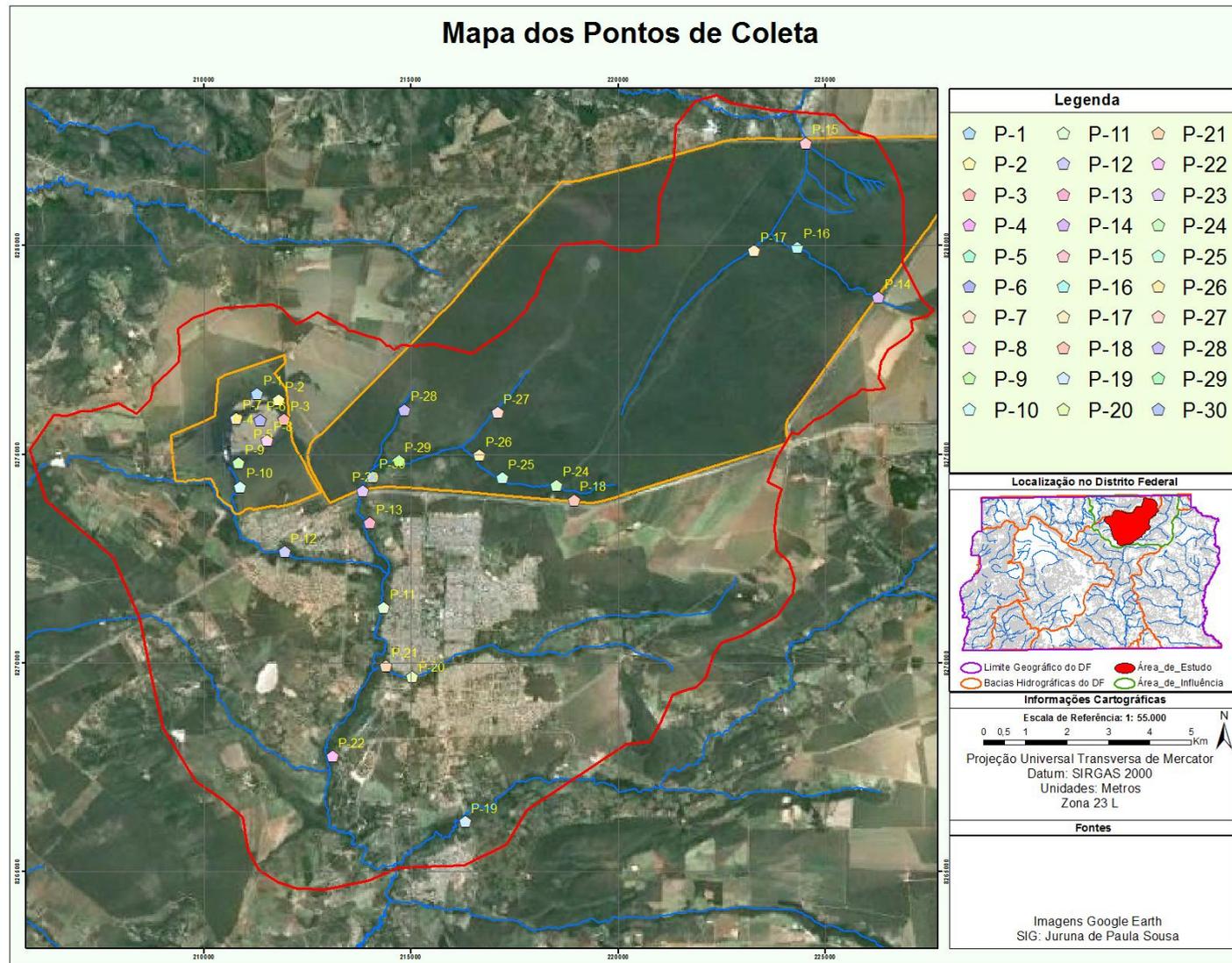


Figura 3.1 - Mapa de localização dos pontos de coleta.



**Figura 3.2** – Ponto de coleta de água na Lagoa Bonita.



**Figura 3.3** – Ponto de coleta de água na captação da Caesb no córrego Fumal (P30).



**Figura 3.4** – Ponto de coleta de água no córrego Atoleiro (P20).



**Figura 3.5** – Ponto de coleta de água no córrego Cascarra no período chuvoso e seco (P27).

Os pontos de coleta foram distribuídos nas seguintes unidades geológicas: MNPppc (Unidade Psamo-Pelito-Carbonatada) os pontos P1 a P10 e P28; MNPpr4 (Unidade Metarritmito Argiloso) os pontos P11 a P13 e P15 a 30; MNPpr3 (Unidade Metarritmito Arenoso) o ponto P14. A Tabela 3.1 descreve o local amostrado, a influência do uso e as respectivas coordenadas geográficas.

**Tabela 3.1** - Pontos de coleta de água e relação de uso e ocupação do solo: Área de influência Rural (AR); Área de influência Urbana (AU); Área de Preservação (AP). P16 e P27 não foram coletados no período seco e P28 não foi analisado no período chuvoso.

Sigla	Local	Uso e Ocupação	Coordenadas (UTM)	
			Longitude	Latitude
P1	Lagoa Bonita	AR	211275	8276444
P2	Lagoa Bonita	AR	211802	8276290
P3	Lagoa Bonita	AR	211939	8275827
P4	Lagoa Bonita (SL)	AR	211353	8275816
P5	Lagoa Bonita (ML)	AR	211353	8275816
P6	Lagoa Bonita (FL)	AR	211353	8275816
P7	Lagoa Bonita	AR	210781	8275858
P8	Lagoa Bonita	AR	211529	8275335
P9	Rib. Mestre D'armas	AR	210837	8274784
P10	Rib. Mestre D'armas	AR	210875	8274211
P11	Rib. Mestre D'armas	AU	214345	8271315
P12	Rib. Mestre D'armas	AU	211945	8272654
P13	Cór. Fumal	AU	214011	8273348
P14	Cór. Tabatinga	AR	226293	8278755
P15	Cór. Vereda Grande	AR	224534	8282458
P16	Cór. Tabatinga	AR	279954	8279954
P17	Cór. Vereda Grande	AR	279870	8279870
P18	Cór. Brejinho	AR	273893	8273893
P19	Rio Pípiripau	AU	266189	8266189
P20	Cór. Atoleiro	AU	269670	8269670
P21	Rib. Mestre D'armas	AU	269921	8269921
P22	Rib. Mestre D'armas	AU	267758	8267758
P23	Cór. Fumal	AU	274122	8274122
P24	Cór. Brejinho	AP	274253	8274253
P25	Cór. Brejinho	AP	274433	8274433
P26	Cór. Brejinho	AP	274968	8274968
P27	Cór. Cascarra	AP	275999	8275999
P28	Cór. Monteiro	AP	276064	8276064
P29	Cór. Fumal	AP	274840	8274840
P30	Cór. Fumal	AP	274444	8274444

Nota: UTM = Universal Transversa de Mercator; SL =Superfície da Lagoa; ML = Meio da Lagoa; FL = Fundo da Lagoa.

Para armazenamento das amostras de água foram utilizados frascos de polietileno de 1L. Estes foram previamente identificados, lavados com água obtida por sistema de purificação nanopure (resistividade = 18.2 MΩ·cm<sup>-1</sup> a 25 °C), e ambientados, no momento da amostragem, com a mesma água coletada. Os frascos destinados à determinação de metais foram deixados de molho por 24h em

ácido nítrico 10% e posteriormente enxaguados com água purificada. Na coleta da água, os frascos foram dispostos contra a correnteza para evitar contaminação, para os estratos de profundidade foi utilizada garrafa de *Van Dorn*. As amostras foram acondicionadas sob refrigeração em caixas térmicas até a chegada ao laboratório.

A água que foi coletada em frascos distintos para cada ponto, foi levada para o Laboratório de Química Analítica e Ambiental (LQAA/IQ) e para o Laboratório de Geoquímica (LAGEQ/IG) para as análises químicas. No LQAA parte das amostras foi filtrada utilizando-se membranas em ésteres de celulose *milipore* de 0,45 µm, acidificadas com ácido nítrico suprapur® Merck e refrigeradas para análise química posterior.

## 3.2 ANÁLISE DA ÁGUA

### 3.2.1 Determinação dos parâmetros físico-químicos

No campo, foram determinadas temperatura, pH, condutividade elétrica (C.E) e turbidez (tur) utilizando equipamentos portáteis Digimed modelos DM-2P e DM-3P previamente calibrados com as respectivas soluções padrões.

No LQAA foram realizadas, em amostra bruta, as análises de cor verdadeira e cor aparente (método Platina-Cobalto) utilizando o espectrofotômetro 8453 UV/VIS da marca *Agilent Technologies* e sólidos totais dissolvidos (STD) utilizando o Condutivímetro da marca TECNAL.

### 3.2.2 Determinação dos ânions

No LAGEQ, para as amostras da 2<sup>o</sup> campanha, foram determinados os ânions flúor, cloro, nitrato, fosfato e sulfato por cromatografia Iônica (IC) com condutividade suprimida, empregando-se o equipamento da marca Dionex, modelo ICS90, com coluna de troca iônica com superfície funcionalizada de alquil amônio quaternário, tendo Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/NaHCO<sub>3</sub> como eluente, fluxo de 1,2 mL/min, pressão de 1500 psi e volume de injeção igual a 25 µL. O íon bicarbonato foi determinado por método titulométrico de análise com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,002 mol/L padronizado com NaOH 0,005 mol/L, utilizando um titulador automático da marca Schott, modelo Titroline easy, empregando o seguinte cálculo:

$$\text{HCO}_3^- \text{ mg/L} = \frac{V_2 \times M \times 61000}{V_a},$$

sendo:  $V_2$  = volume, em mL, de ácido gasto na titulação até pH 4,3.  $M$  = molaridade do ácido empregado;  $V_a$  = volume da amostra, mL.

O íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) das amostras foi determinado através de leitura em espectrômetro de leitura direta (*Hach DR/2000*), pelo método 680 e na linha espectral de 450 nm. Determinou-se os íons bicarbonato e amônio em amostra bruta. Para todas as amostras aplicou-se metodologia analítica específica para análise de água seguindo os critérios e normas do *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*, edição da *American Public Health Association (APHA)*, da *American Water Works Association (AWWA)*, e da *Water Pollution Control Federation (WPCF)*.

### 3.2.3 Determinação dos elementos

Os elementos Ca, Mg, Si, Al, Fe, Sr, La, Ti, V, Ni, Zr, Cu, Cr, Mn, Ba, Co, Zn, Cd, Mo foram determinados em todas as amostras (exceto para o ponto P28 do período chuvoso, por perda da amostra), utilizando Espectrometria de Emissão Óptica com fonte de Plasma (ICP/OES) da marca *Spectro Analytical Instruments GmbH*, modelo *Spectroflame-Fvmo3*, utilizando nebulizador *Meinhard*. Para a análise dos elementos Na e K das amostras de água do período seco foi utilizado o Espectrofotômetro de Absorção Atômica (EAA), da marca *Perkin Elmer*, modelo *Analyst 200*. Para determinação de sódio, potássio empregou-se os respectivos comprimentos de onda, 589,00 nm e 766,49 nm, chama de ar/acetileno na proporção de 10/2,5 (L/min). Os parâmetros operacionais do ICP/OES estão relacionados na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2** - Parâmetros operacionais do ICP/OES.

<b>Parâmetros operacionais do ICP/OES</b>	
<b>Nebulizador</b>	Meinhard
<b>Pressão</b>	38 psi
<b>Fluxo de argônio</b>	1L/min
<b>Potência</b>	1,1 kW
<b>Fluxo de argônio para resfriamento</b>	13 L/min
<b>Fluxo de gás auxiliar</b>	0,6L/min

### 3.3 BALANÇO IÔNICO

O Balanço Iônico é realizado para avaliar as informações das análises na pesquisa hidroquímica por meio do cálculo do erro da análise. Esta avaliação consiste em verificar se a concentração total em miliequivalentes dos cátions é aproximadamente igual a dos ânions. O erro do Balanço Iônico, ou Erro Prático (EP) é definido como:

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

Como há erros associados às determinações, para que a análise de uma amostra seja considerada válida são admitidos erros percentuais. Segue na Tabela 3.3 o erro prático máximo permitido levando-se em consideração os valores da condutividade elétrica da água (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1983).

**Tabela 3.3** - Erro admissível nas análises dos íons majoritários.

Condutividade elétrica ( $\mu\text{S/cm}$ )	50	200	500	2000	> 2000
Erro percentual (%)	30	10	8	4	< 4

Neste trabalho o balanço iônico foi realizado apenas na coleta referente ao período seco por apresentar um conjunto maior de dados, que inclui a determinação

dos principais ânions e cátions. Todas as análises apresentaram erro menor que 4%, mostrando a qualidade das análises realizadas (Anexo 06).

### 3.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

O conjunto de dados deste trabalho envolve parâmetros de qualidade de água de 29 pontos coletados no período chuvoso e 28 pontos coletados no período seco, totalizando 57 conjuntos de dados.

#### 3.4.1 Tratamento de Dados

Os resultados analíticos foram organizados em matrizes, uma para cada período, seco e chuvoso, e uma para os dois períodos a fim de analisar diferenças ocasionadas pela sazonalidade climática para os seguintes parâmetros: STD, C.E., turbidez, pH, temperatura, cor aparente, cor verdadeira, Ca, Mg, Fe, Si e Al.

Para evitar a perda de informações e o maior comprometimento da interpretação dos dados, as concentrações que se situaram abaixo do limite de detecção (LD) foram substituídas pela metade do valor do LD do elemento para o respectivo ponto amostrado (CHEN *et al.*, 2007; MOURA, 2008; PETERSEN *et al.*, 2001).

#### 3.4.2 Estatística Descritiva e Análise de Variância

Empregou-se a Estatística Descritiva para facilitar a interpretação dos dados, pois esta sumariza o conjunto de dados por meio de médias, desvios padrões, porcentagens, máximos e mínimos. No entanto, as medidas descritivas ocasionam perda de informações dos dados por agrupar as observações originais. Desta forma, neste estudo foram aplicadas técnicas de análise multivariada que reduzem a quantidade de dados em fatores, o que facilita interpretação dos mesmos.

Para seleção da estatística descritiva a ser empregada realizou-se o teste de normalidade de *Kolmogorov-Smirnov*, através do programa STATISTICA 7.0, para todas as amostras, sendo estas separadas por período de coleta. Para os dados que apresentaram distribuição normal a estatística descritiva é apresentada com as médias e o desvio padrão, enquanto que para as demais variáveis, com distribuição

não normal, é apresentada por medianas e pelos valores extremos da distribuição dos dados, o mínimo e o máximo. Para as variáveis com distribuição normal será aplicado o teste T, para as variáveis com distribuição não normal será aplicado o teste *Mann-Whitney* (U), a fim de avaliar se há diferença estatisticamente significativa entre os dados.

Para realizar a análise de variância foram utilizados os testes *Kruskal – Wallis*, para as variáveis com distribuição não normal, *One-Way ANOVA* e *Post hoc* para as variáveis com distribuição paramétrica, sendo aplicada a correção de *Bonferroni* a fim de evitar erros da análise múltipla.

### **3.4.3 Análise de Componentes Principais**

A análise de componentes principais (ACP) é ferramenta estatística multivariada que é usada geralmente para determinar relações entre um grande número de variáveis correlacionadas. Uma das principais características da ACP é diminuir o número de variáveis de um determinado conjunto de dados com perda mínima de informação, ou seja, preservando a sua variância total (HAIR, 2009).

Neste trabalho, a ACP foi aplicada com o cálculo dos autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de correlação. Os autovetores encontrados explicam a variabilidade dos dados, estes correspondem às componentes principais.

A matriz de carregamento que é a medida relativa da importância de cada variável em relação às componentes principais e os respectivos sinais, ao ser multiplicada pela matriz original de dados fornecerá a matriz de contagens (escores). Esses valores poderão ser dispostos num diagrama de dispersão e assim mostrar o relacionamento entre os casos condicionados pelas variáveis medidas (Bernardi et al., 2009). Os dados das análises de água foram submetidos à técnica multivariada das componentes principais e para os cálculos necessários foi utilizado software Statistica versão 7 (Statsoft, 2004).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CONTROLE ANALÍTICO E FIGURAS DE MÉRITO

Na Tabela 4.1 é apresentada as figuras de método utilizadas para avaliar as análises realizadas: limite de detecção (LD) e de quantificação (LQ), faixa linear de trabalho (FLT), coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Para o controle analítico das análises, foi utilizado o padrão internacional ION-95 e MIRAMICHI-02 certificadas por „NWRI“ – *National Water Research Institute*, lotes 1109 e 0310, respectivamente, da marca Canadá.

**Tabela 4.1** - Limites de detecção do EAA, IC e ICP/OES.

Equipamento	Parâmetro	LD (mg/L)	LQ (mg/L)	FLT (mg/L)	$R^2$	Controle Analítico	
						ION-95 - esperado	MIRAMICHI - esperado
EAA	Na	0,02	0,09	0,5-5	0,99	1,42-1,35	1,60-1,50
	K	0,03	0,09	0,5-5	0,99	0,55-0,49	0,37-0,36
IC	Cl <sup>-</sup>	0,05	0,18	0,5-10	0,99	1,53-1,39	0,95-0,96
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,02	0,08	0,25-5	0,99	1,45-1,52	0,90-1,02
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,05	0,20	0,75-5	0,99	3,56-3,40	3,35-3,26
ICP/OES	Ca	0,066	0,66	0,8-20	0,99	10,35-10,50	2,94-2,72
	Mg	0,17	1,7	2-10	0,99	2,50-2,54	0,64-0,46
	Fe	0,022	0,22	1-10	0,99	0,12-0,09	---
	Al	0,27	2,7	1-10	0,99	0,37-0,05	---
	Si	0,011	0,11	1-10	0,99	---	2,60-2,78
	Sr	0,001	0,01	1-10	0,99	0,05-0,05	---
	La	0,046	0,46	1-10	0,99	---	---
	Cd	0,005	0,05	1-10	0,99	---	---
	Ti	0,009	0,09	1-10	0,99	---	---
	V	0,027	0,27	1-10	0,99	---	---
	Ni	0,09	0,9	1-10	0,99	---	---
	Zr	0,0255	0,225	1-10	0,99	---	---
	Cu	0,017	0,17	1-10	0,99	0,02-0,02	---
	Cr	0,019	0,19	1-10	0,99	---	---
	Mn	0,004	0,04	1-10	0,99	---	---
	Ba	0,008	0,08	1-10	0,99	---	---
	Co	0,05	0,5	1-10	0,99	---	---
	Zn	0,0166	0,166	1-10	0,99	---	---
	Cd	0,0026	0,026	1-10	0,99	---	---
Mo	0,055	0,55	1-10	0,99	---	---	

Segue cálculo do LD e LQ:

$$LD = 3,3 \times S_{x/y} / b$$

$$LQ = 10 \times S_{x/y} / b ,$$

sendo:  $S_{x/y}$  = desvio padrão do branco;  $b$  = coeficiente angular da curva de calibração.

## 4.2 DIFERENÇA ENTRE OS PERÍODOS HIDROLÓGICOS

Segundo o mapa de uso e ocupação do solo (Figura 4.1) a área de estudo é ocupada principalmente, por atividades agrícolas, áreas de preservação ambiental e loteamentos residências. Considerando esses aspectos, para melhor interpretação, os dados foram agrupados de acordo com as influências de uso e ocupação do solo. Desta forma a área de influência rural compreende os pontos: P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P14, P15 e P18, de influência urbana os pontos: P11, P12, P13, 19, P20, P21, P22 e P23 e a área de preservação os pontos: P17, P24, P25, P26, P27, P28, P29 e P30 conforme descrito na Tabela 3.1.

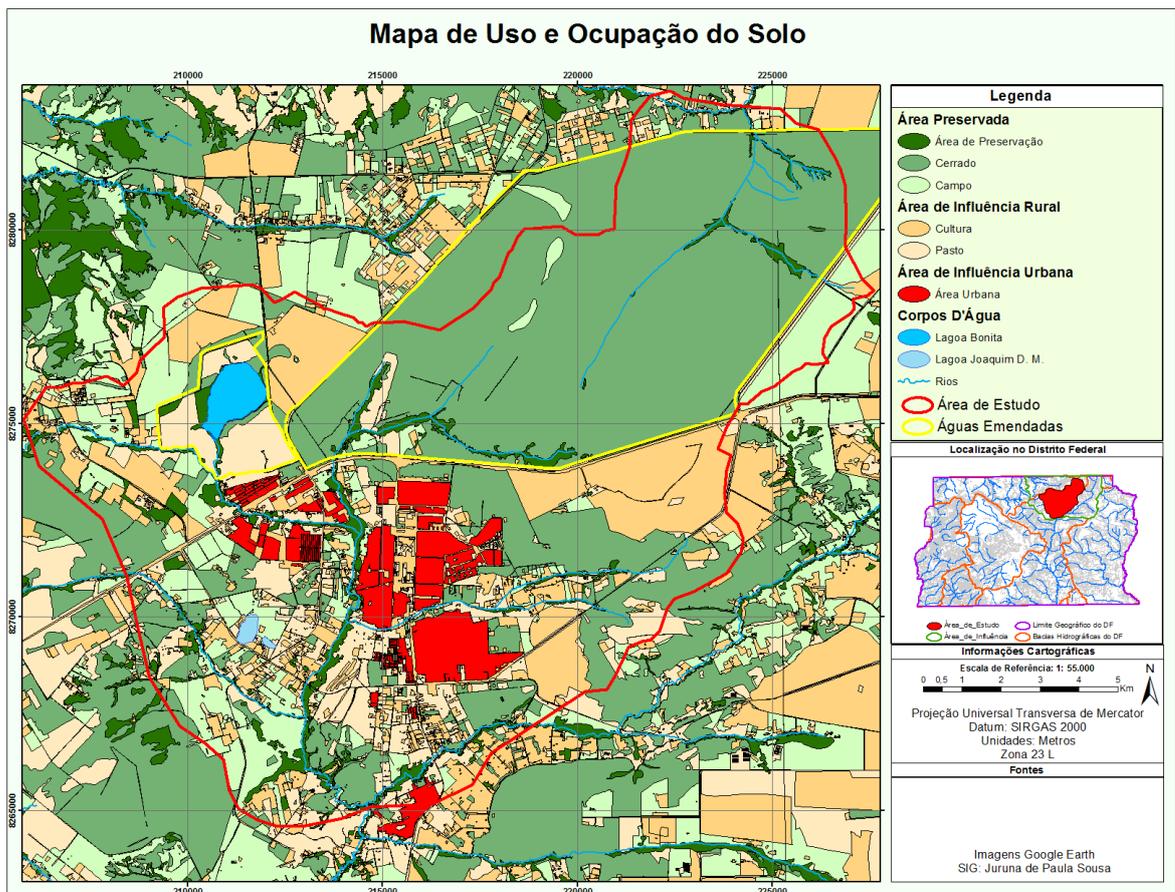


Figura 4.1- Mapa de uso e ocupação do solo.

Dessa maneira, com o objetivo de avaliar a diferença entre os períodos hidrológicos (seco e chuvoso), ou seja, testar a hipótese nula foi usado apenas a variáveis e estações que apresentaram um conjunto completo de dados. Uma matriz de dados foi montada com as variáveis STD, C.E., Tur, pH, T (°C), Cor Ap, Cor Vd, Ca, Mg, Fe, Si e Al e com todas as estações, exceto P16, P27 e P28 que apresentaram perda de informação.

Foi aplicado o teste de normalidade *Kolmogorov-Smirnov* para avaliar as variáveis com distribuição normal, ou seja, paramétrica ( $p > 0,05$ ) e distribuição ordinária ou não paramétrica ( $p < 0,05$ ). Para as variáveis pH, T (°C), Fe e Si que apresentaram distribuição normal foi aplicado o teste T e para as variáveis STD, C.E., Tur, Cor Ap, Cor Vd, Ca, Mg, Al, que apresentaram distribuição não normal foi aplicado o teste *Mann-Whitney* (U), para avaliar se há diferença estatisticamente significativa entre os períodos hidrológicos. Com nível de significância de 95% ( $n=27$ ) as variáveis que apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os períodos hidrológico foram pH, constado pelo teste T, e as variáveis Cor Vd e Al, constato pelo teste U. Sendo os resultados dos testes representados pelo valor de  $p$ , na Tabela 4.2, com o objetivo de sintetizar o resultado do teste de hipótese.

**Tabela 4.2** - Comparação dos resultados obtidos na análise da água entre o período chuvoso e seco.

Variável (n=54)	$p$	Período chuvoso		Período seco	
		M $\pm$ dp	Min - Max	M $\pm$ dp	Min - Max
<b>Distribuição normal (T)</b>					
pH	<b>0,0013</b>	5,63 $\pm$ 0,23	4,6-5,97	6,06 $\pm$ 0,59	5,03-7,67
T (°C)	0,8728	24,23 $\pm$ 1,8	21,03-27,07	24,14 $\pm$ 2,27	20,46-28,23
Fe (mg/L)	0,0796	0,185 $\pm$ 0,15	0,01-0,50	0,12 $\pm$ 0,13	0,01-0,57
Si (mg/L)	0,9502	3,46 $\pm$ 2,5	0,60-8,71	3,42 $\pm$ 2,06	1,04-7,76
<b>Distribuição ordinária (U)</b>					
STD (mg/L)	0,7229	12,65 $\pm$ 13,90	1,44-51,47	15,25 $\pm$ 17,36	1,16-51,8
C.E ( $\mu$ Scm <sup>-1</sup> )	0,2796	26,3 $\pm$ 30,26	2,30-110,6	31,90 $\pm$ 35,45	2,12-112,06
Tur (NTU)	0,3074	3,98 $\pm$ 5,53	0,02-17,57	5,39 $\pm$ 7,91	0,43-27,1
Cor Ap (uH)	0,1021	17,41 $\pm$ 11,59	0,38-40,44	14,52 $\pm$ 14,38	3,30-64,66
Cor Vd (uH)	<b>0,0011</b>	16,50 $\pm$ 9,97	1,61-37,51	8,65 $\pm$ 8,55	0,56-42,69
Ca (mg/L)	0,9448	3,92 $\pm$ 4,64	0,03-14,48	3,69 $\pm$ 4,48	0,03-15,86
Mg (mg/L)	0,2608	1,56 $\pm$ ,81	0,10-7,17	1,12 $\pm$ 1,61	0,11-6,42
Al (mg/L)	<b>0,001</b>	1,12 $\pm$ 0,86	0,0-2,40	0,25 $\pm$ 0,21	0,14-0,81

Nota: Para distribuição normal M se refere a média, para distribuição ordinária M se refere a mediana.

Dessa forma, assume-se que fatores como a precipitação pluviométrica e a água de escoamento superficial podem influenciar nas concentrações destes parâmetros. Na água, o alumínio pode ocorrer de diferentes formas e é influenciado pelo pH, usualmente possui baixas concentrações em água superficiais, no entanto em águas ácidas apresenta aumento considerável, isso devido o equilíbrio ácido-base. Neste caso, o aumento da concentração do alumínio está associado com o período de chuvas e é proveniente de características pedológicas, isso justifica o aumento do pH da água, uma vez que essa alteração desloca o equilíbrio do meio conforme equação abaixo:



A intensidade da cor verdadeira oscilou de 0,56 a 42,69 UH na época seca e de 1,61 a 37,51 uH na chuvosa. Em alguns pontos (P10, P19 a P22, P18 e P23) tendeu a aumentar na época chuvosa. P10 está a jusante da Lagoa Bonita, recebendo toda sua vazão e, por consequência, a matéria orgânica (observado durante coleta) que pode contribuir com o aumento deste parâmetro. No entanto, os pontos P19 à P22 localizados na área de influência urbana, P18 e P23, ambos situados próximos a BR, 020 sugerem que a erosão devido desgaste do solo contribui com o aumento da intensidade desse parâmetro no período chuvoso, isso por que o método Platina-Cobalto utilizado é útil para medir a cor da água derivada dos materiais naturais, isto é, resíduos vegetais tais como materiais das folhas, das raízes e derivados.

O pH variou de 4,6 a 7,67, ficando com média 5,63 na época chuvosa e 6,06 na seca, estando dentro da média dos rios do DF (pH = 5,6 a 6,85) (CARMO *et al*, 2005). A concentração do elemento Al variou de <0,27 mg/L (LD) a 2,40 mg/L no período chuvoso e de 0,14 a 0,81mg/L no período seco. Observou-se aumento no período chuvoso praticamente para todos os pontos, exceto P1, P2 e P22, este aumento pode estar associado ao lixiviamento dos solos, visto que os Latossolos Vermelhos – LV e os Latossolos Vermelho-Amarelos – LVA são os solos predominantes na área de estudo (Figura 5), ambos altamente intemperizados, ácidos e com elevada saturação de alumínio (CAMPOS *et al*, 2008).

### 4.3 AVALIAÇÃO DAS ÁREAS CATEGORIZADAS DA ESEC-AE

Para descrever as características gerais dos dados aplicou-se a estatística descritiva e analisou-se a variância de cada variável em relação às diferentes influências da área de estudo, conforme Tabela 3.1, com o intuito de observar a relação do uso e ocupação do solo da ESEC-AE e da área de influência com a qualidade da água. Para identificar os grupos (AR, AU e AP) que se diferem foram utilizados os testes *Kruskal – Wallis*, para as variáveis com distribuição não paramétrica, *One-Way ANOVA* e *Post hoc* de comparações múltiplas (Bonferroni) para as variáveis com distribuição paramétrica, a fim de identificar quais as médias distintas. Assume-se diferença significativa entre os grupos se  $p < 0,05$  e diferença não significativa se  $p > 0,05$ .

Nas Tabela 4.3 e Tabela 4.4 é mostrado o resumo das variáveis estudadas por grupo que não apresentaram diferença estatística significante entre os períodos hidrológicos na seção anterior, somadas as variáveis que não foram analisadas nos dois períodos. Para tanto, uma matriz de dados foi montada com os dados do período seco, para desta forma poder incluir o ponto P28 e as variáveis Na, K,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$  que são importantes para diagnóstico ambiental e que não foram comparadas entre períodos hidrológicos. Isso porque os íons Na, K e  $\text{SO}_4^{2-}$  foram analisados apenas nas amostras do período seco, enquanto  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{HCO}_3^-$  não apresentaram resultados acima do limite de detecção nas amostras do período chuvoso devido às metodologias usadas.

Para as variáveis que apresentaram distribuição normal, pH, T (°C), Fe e Si, a estatística descritiva é representada com as médias e o desvio padrão, enquanto que para as demais variáveis, com distribuição não normal, é representada por medianas, mínimos e máximos. As variáveis que apresentam diferenças estatisticamente significantes entre os períodos hidrológicos são apresentadas nas Tabelas 4.5 e Tabela 4.6, para esta análise foi utilizada a mesma matriz de dados para comparação entre períodos hidrológicos, ou seja, os pontos P16, P27 e P28 não foram incluídos.

**Tabela 4.3** - Análise de grupo para variáveis paramétricas para período seco.

<b>Variáveis</b>	<b>AR (n=26)</b> <b>Média (±dp)</b>	<b>AU(n=16)</b> <b>Média (±dp)</b>	<b>AP(n=12)</b> <b>Média (±dp)</b>	<b>p</b>
<b>T (°C)</b>	25,53(±2,50) <sup>a</sup>	23,0(±0,82) <sup>b</sup>	22,45(±0,97) <sup>bc</sup>	0,00057
<b>Fe mg/L</b>	0,06(±0,07) <sup>a</sup>	0,25(±0,15) <sup>b</sup>	0,07(±0,04) <sup>ac</sup>	0,000006
<b>Si (mg/L)</b>	1,75(±0,86) <sup>a</sup>	4,57(±1,09) <sup>b</sup>	5,41(±1,85) <sup>bc</sup>	0,00000

Nota: Médias com letras diferentes sobrescritas são significativamente diferentes após o ajuste de Bonferroni (p <0,05).

**Tabela 4.4** - Análise de grupo para variáveis não paramétricas para período seco.

Variável	AR (n=13)	AU (n=8)	AP (n=7)	p
	Mediana (min - max)	Mediana (min - max)	Mediana (min - max)	
<b>STD (mg/L)</b>	2,74( 1,17- 37,53) <sup>a</sup>	29,48(9,55 – 51,80) <sup>b</sup>	3,74(1,32 – 50,53) <sup>ab</sup>	0,0091
<b>C.E (µS/cm)</b>	5,46 ( 2,13- 82,00) <sup>a</sup>	60,17(19,05 – 86,93) <sup>b</sup>	7,24 (2,74 – 112,07) <sup>ab</sup>	0,0125
<b>Tur (NTU)</b>	0,83 ( 0,43- 2,01) <sup>a</sup>	14,31(4,70 – 27,10) <sup>b</sup>	1,67 (0,44 – 5,89) <sup>ac</sup>	0,0002
<b>Cor Ap (uH)</b>	6,07 (3,31- 14,36) <sup>a</sup>	27,73(12,37 – 64,67) <sup>b</sup>	9,86 (3,74 – 19,06) <sup>ac</sup>	0,0008
<b>Na(mg/L)</b>	0,12 (0,01 – 0,15) <sup>a</sup>	1,48 (0,19 – 7,06) <sup>b</sup>	0,06 (0,03 – 0,28) <sup>ac</sup>	0,006
<b>K(mg/L)</b>	0,11 (0,03 – 0,15) <sup>a</sup>	1,35 (0,56 – 3,27) <sup>b</sup>	0,85 (0,01 – 0,81) <sup>ab</sup>	0,0049
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(mg/L)</b>	0,02 (0,02 – 0,26) <sup>a</sup>	0,19 (0,07 – 1,69) <sup>b</sup>	0,01 (0,01 – 2,84) <sup>ac</sup>	0,0000
<b>Cl<sup>-</sup>(mg/L)</b>	0,48 (0,01 – 0,63) <sup>a</sup>	1,6 (0,53 – 4,38) <sup>b</sup>	0,44 (0,01 – 0,52) <sup>ac</sup>	0,0003
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(mg/L)</b>	0,01 (0,01 – 0,01) <sup>a</sup>	0,5 (0,01 – 3,88) <sup>b</sup>	0,05 (0,01 – 0,77) <sup>ab</sup>	0,0013
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(mg/L)</b>	0,17 (0,01 – 0,96) <sup>a</sup>	1,36 (0,14 – 4,43) <sup>a</sup>	0,29 (0,01 – 0,97) <sup>a</sup>	0,0708
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(mg/L)</b>	3,62 (1,44 – 51,63) <sup>a</sup>	32,52 (9,23 – 44,53) <sup>b</sup>	4,42 (1,79 – 67,67) <sup>ab</sup>	0,0121
<b>Ca(mg/L)</b>	0,5 (0,03 – 15,87) <sup>a</sup>	6,61(1,80 – 11,13) <sup>b</sup>	0,67 (0,19 – 10,66) <sup>ab</sup>	0,0117
<b>Mg(mg/L)</b>	0,11 (0,11 – 0,84) <sup>a</sup>	1,65 (0,30 – 2,60) <sup>b</sup>	0,45 (0,11 – 6,43) <sup>ab</sup>	0,0021

Nota: Medianas com letras diferentes sobrescritas são estatisticamente significantes após o ajuste de Bonferroni (p <0,05).

**Tabela 4.5** - Análise de grupo para variáveis não paramétricas para período seco e chuvoso.

Variável	AR (n=13)	AU(n=8)	AP(n=6)	p
	Mediana (min - max)	Mediana (min - max)	Mediana (min - max)	
Período Seco				
<b>Cor vd (uH)</b>	11,07(2,21 – 23,0) <sup>a</sup>	34,35(13,98 – 40,45) <sup>b</sup>	7,86(0,39 – 23,67) <sup>ac</sup>	0,0014
<b>Al (mg/L)</b>	0,01 (0,01 – 0,56) <sup>a</sup>	0,01(0,01 – 0,78) <sup>a</sup>	0,01(0,01 – 0,81) <sup>a</sup>	0,3996
Período chuvoso				
<b>Cor vd (uH)</b>	10,74(7,79 - 20,43) <sup>a</sup>	29,32(13,92 - 32,84) <sup>b</sup>	9,69(1,61 - 37,52) <sup>ac</sup>	0,0025
<b>Al (mg/L)</b>	0,488(0,14 - 2,23) <sup>a</sup>	1,99(0,135 - 2,24) <sup>a</sup>	1,35(0,0 - 1,79) <sup>a</sup>	0,2368

Nota: Medianas com letras diferentes sobrescritas são estatisticamente significantes após o ajuste de Bonferroni (p <0,05).

**Tabela 4.6** - Análise de grupo para variáveis paramétricas para período seco e chuvoso.

Variáveis	AR(n=13)	AU(n=8)	AP(n=6)	p
	Média (±dp)	Média (±dp)	Média (±dp)	
Período Seco				
<b>pH</b>	6,40 (±0,51) <sup>a</sup>	5,49 (±0,25) <sup>b</sup>	6,07(±0,52) <sup>ab</sup>	0,0152
Período chuvoso				
<b>pH</b>	5,71 (±0,16) <sup>a</sup>	5,73(±0,103) <sup>ab</sup>	5,31(±0,480) <sup>c</sup>	0,015

Nota: Médias com letras diferentes sobrescritas são estatisticamente significantes após o ajuste de Bonferroni (p <0,05).

De acordo com os resultados mostrados nas Tabela 4.3, Tabela 4.4, Tabela 4.5 e Tabela 4.6 exceto Al e  $\text{SO}_4^{2-}$ , todas as demais variáveis apresentaram diferenças estatisticamente significante entre os grupos. No entanto, apesar do  $\text{SO}_4^{2-}$  não apresentar diferença significativa entre os grupos categorizados é importante ressaltar seu aumento nos pontos P19, P20, P21 e P22 (Anexo 04), com aumento significativo para os pontos P19 (4,39 mg/L) e P22 (4,43 mg/L). P19 está à jusante do Rio Piripau, sendo este receptor de resíduos oriundo de granjas e frigoríficos, P22 está à jusante da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Planaltina, dessa forma pode se inferir que as principais fontes de sulfato nestes pontos são esgotos domésticos, efluentes industriais e uso de coagulantes pela ETE, como o sulfato de alumínio (CETESB, 2013).

Os parâmetros STD, C.E., K,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , Ca, Mg e pH (período seco) apresentaram diferenças significantes entre os grupos ( $p < 0,05$ ) e segundo ajuste de *Bonferroni* os grupos que se diferenciam para estas variáveis são AR e AU, sendo que não há diferença significativa entre estas e AP. Para pH que apresentou diferença significativa entre os períodos hidrológicos e entre os grupos, para o período seco a diferença foi entre AR e AU e no período do chuvoso AR e AU são iguais e ambas diferentes de AP, no entanto ainda com as variações apresentadas estas estão dentro da média dos rios do DF (5,6 a 6,85) e os valores baixos de pH podem estar associados aos solos ácidos. No entanto, o aumento considerável das demais medianas das variáveis supracitadas para AU evidencia que a área antropizada tem a qualidade da água impactada pela influência urbana devido à desestruturação do ambiente, por meio de atividades incorretas ambientalmente, tais como assentamentos urbanos irregulares, lixo depositado no solo e esgoto clandestino. Atividades que comprometem a cobertura vegetal e ocasionam a exposição da superfície.

Os pontos coletados tanto para AP quanto para AR pertencem a ESEC-AE, por isso, estes não se diferenciam estatisticamente apesar de sofrerem influências diferentes, o que é observado pelos valores próximos das medianas, mostrando que não há influência rural significativa para os parâmetros analisados. Nesse contexto, AP e AU que possuem medianas extremamente diferentes não apresentam

diferenças significativas entre si, isso se deve ao comportamento semelhante entre os mínimos e máximos, sendo que para AP este incremento corresponde aos pontos P26, P29 e P30 que possuem elevados valores para STD, C.E., K,  $\text{HCO}_3^-$ , Ca e Mg. Este fato sugere que estas variáveis têm por fonte as atividades antrópicas e a geologia local uma vez que entre AU e AP contém dois pontos com influências distintas, P22 (à jusante da ETE) e P26 (nascente), mas que coincidentemente apresentam valores semelhantes para as variáveis supracitadas exceto para  $\text{NO}_3^-$  (Anexos 04 e 05) que apresentou valores elevados apenas para os pontos P20, P21 e P22 cujas águas drenam a área urbanizada e sofre impacto devido atividades antrópicas tais como esgoto, depósito de lixo e resíduos de animais (comum próximo a estes pontos).

Para os parâmetros turbidez, cor aparente, cor verdadeira, Na,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e Fe constatou-se diferença estatística após ajuste de *Bonferroni* para AU, mostrando que estas variáveis estão associadas a forte influência urbana tendo por fontes esgoto sanitário e efluentes industriais, com destaque para P22 que apresenta os valores mais elevados, sendo este impactado pela ETE conforme sugere a presença da amônia que indica uma contaminação recente (CETESB, 2013). Para temperatura e Si constatou-se que AU e AP são estatisticamente iguais e diferentes de AR. A diferença causada por essas variáveis possivelmente decorre de fatores naturais e estão associados aos tipos de ambientes estudados, sendo a maioria dos pontos de AR (P1 a P9) referentes a ambiente lênticos, correspondente a Lagoa Bonita, e os demais pontos referentes a ambientes lóticos. O aumento da temperatura em AR está relacionado ao tipo climático tropical (Aw), que compreende toda a Lagoa Bonita e possui temperatura de todos os meses superior a 18°C. Enquanto os demais grupos estão compreendidos pelo tipo Cwa que, com temperatura do mês mais frio inferior a 18°C e do mês mais quente com média superior a 22°C (FONSECA, 2008). Em relação às concentrações médias do elemento Si serem estatisticamente semelhantes entre AU e AP, se deve ao fato de haver nascentes em AP (P26) que drenam para AU, possuindo estas altas concentrações de Si, Mg e Ca sugerindo origem geológica para estes elementos, visto que a área de P26 abrange os subsistema fraturado MNPpr4 (Unidade Metarritmito Argiloso) (Figura 2.2).

Comparando os dados obtidos no período de seca da área de estudo por grupo categorizado com os valores máximos permitidos para o consumo humano estabelecidos pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) e com os valores para águas doces de classe 1 estabelecidos pelo Ministério do Meio Ambiente (CONAMA, 2005) na Tabela 4.7, observa-se que as águas de AU apresentam aumento dos parâmetros cor, turbidez e alumínio, e que maioria dos parâmetros também para AU foram maiores quando comparados aos valores médios obtidos no Ribeirão Mestre D'armas (CARMO *et al.*, 2005).

**Tabela 4.7** - Tabela comparativa de parâmetros de qualidade da água.

	Área de Estudo			Comparações		
	AR	AU	AP	VMP	RCC1	RHMD
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	0,02	0,19	0,01	0,5	---	0,16
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,01	0,5	0,05	10	10	0,15
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	0,17	1,36	0,29	250	250	---
<b>Cor</b>	6,07	27,73	9,86	15	---	---
<b>Turb</b>	0,83	14,31	1,67	5	40	---
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	3,62	32,52	4,42	---	---	0,97
<b>C.E.</b>	5,46	60,17	7,24	250	---	109,3
<b>STD</b>	2,74	29,48	3,74	---	500	---
<b>pH</b>	6,4	5,49	6,07	6,5 - 8,5	6,0 - 9,0	6,00
<b>Cl</b>	0,48	1,6	0,44	250	250	---
<b>K</b>	0,11	1,35	0,85	---	---	0,63
<b>Na</b>	0,12	1,48	0,06	200	---	1,62
<b>Ca</b>	0,5	6,61	0,67	---	---	2,62
<b>Mg</b>	0,11	1,65	0,45	---	---	1,24
<b>Fe</b>	0,06	0,25	0,07	0,2	0,3	0,08
<b>Si</b>	1,75	4,57	5,41	---	---	2,43
<b>Al</b>	0,01	1,99	1,35	---	0,1	---

Nota: Todos os dados estão em mg/L com exceção de cor (uH), turbidez (NTU), C.E. (µS/cm) e pH; Siglas: AR – Área de Influência Rural; AU – Área de Influência Urbana; AP – Área de Preservação; VMP – Valores máximos permitidos para água potável; RCC1 – Resolução Conama 357, classe 1 para águas doces; RHMD – Ribeirão Mestre D'armas (CARMO *et al.*, 2005).

#### 4.4 ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS

A princípio a ACP foi aplicada a uma matriz de dados que apresenta um conjunto completo, desta forma esta análise foi realizada para todos os pontos, exceto P16, P27 e P28, e para as variáveis sólidos totais dissolvidos (STD), condutividade elétrica (C.E.), turbidez (Tur), pH, temperatura (T °C), Cor aparente (Ap), Cor verdadeira (Vd), Ca, Mg, Fe, Si e Al, para avaliar a correlação conjunta dos parâmetros analisados nos dois períodos hidrológicos, sendo as variáveis seguidas das letras S e C para período seco e chuvoso respectivamente, determinando um agrupamento entre eles, de forma a facilitar a compreensão de suas origens e das diferenças entre os períodos hidrológicos.

A ACP explicou 82,32% da variância acumulada nas três primeiras componentes. A primeira componente contribuiu com 50,7% da variância explicada, a segunda componente explicou 21,45% da variância e a terceira componente com 10,17% de explicação da variância dos dados (Tabela 4.8). No entanto, como um dos critérios para escolha do número de fatores é incluir na análise as componentes que sintetizam a variância acumulada sem perda de informação significativa, é mostrado na Tabela 4.8 que dois autovalores representam cerca de 72,15% da variância, o que permite resumir os dados em até duas componentes.

**Tabela 4.8** - Autovalores (eigenvalue) porcentagem da variância e porcentagem cumulativa da variância para as três primeiras componentes principais dos dados para o período de seca e cheia.

<b>Componentes principais</b>	<b>Autovalor</b>	<b>% Variância</b>	<b>% Cumulativa</b>
<b>CP1</b>	10,13827	50,69134	50,6913
<b>CP2</b>	4,29141	21,45706	72,1484
<b>CP3</b>	2,03536	10,17680	82,3252

CP = componente principal

O peso de cada variável sobre a componente principal correspondente é representado pelo valor na matriz de fatores, ou seja, pesos acima de  $\pm 0,60$  indicam que as variáveis contribuem adequadamente para a variação dos dados (HAIR, 1998), podendo esta contribuição ser positiva ou negativa. Pela Análise de Componentes Principais é possível determinar as variáveis “ativas” e “suplementares”, assim inicialmente a técnica estatística foi aplicada com todas as variáveis julgando-as como ativas e após a interpretação das cargas das variáveis

estabeleceu-se determinar como suplementares as variáveis com cargas inferiores a 0,6 (Bernardi, *et al.*, 2009).

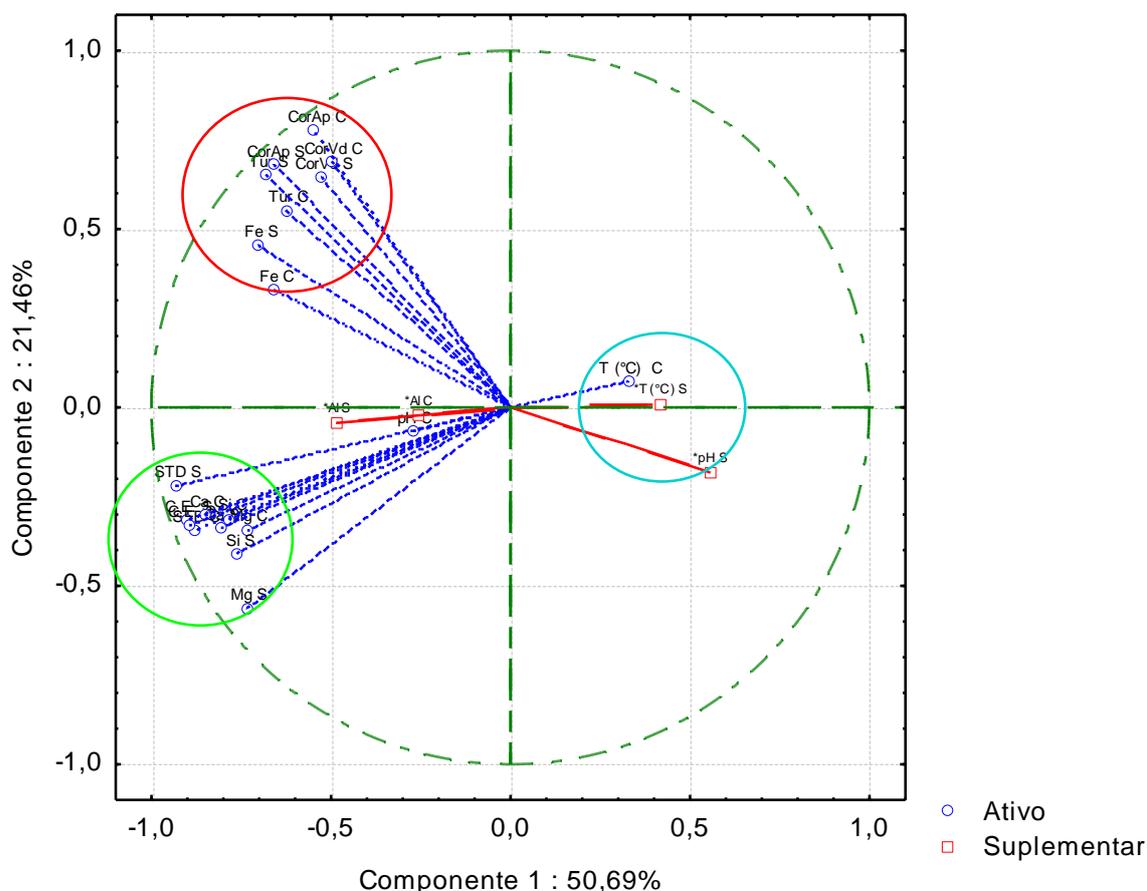
As variáveis mais importantes, ou seja, as de maior variabilidade segundo as cargas mais elevadas, na primeira componente foram STD S, STD C, C.E.S, C.E. C, Tur S, Tur C, Cor Ap S, Ca S, Ca S, Ma S, Mg C, Fe S, Fe C, Si S, Si C, na segunda componente, as principais variáveis foram Tur S, Cor Ap S, Cor Ap C, Cor Vd S, Cor Vd C e na terceira componente pH C e T C indicaram as cargas mais elevadas, conforme Tabela 4.9. Sendo que pH S, TS e Al S e Al C foram determinadas como suplementares por apresentarem carga inferior 0,60.

A projeção das variáveis nas duas primeiras componentes ordenou as mais representativas nos quadrantes 2 (Cor Vd, Cor Ap, Tur e Fe) e 3 (STD, C.E., Ca, Mg e Si) (Figura 4.2), que correspondem as variáveis mais próximas ao círculo unitário, sendo que as variáveis que estão sobrepostas possuem a mesma representatividade no gráfico. A temperatura foi ordenada no primeiro quadrante e possui pouca representatividade visto que se encontra distante no círculo unitário. Pela ACP é possível constatar que não houve diferença significativa entre os períodos hidrológicos para as variáveis supracitadas uma vez que a estas apresentaram distribuição semelhante nos quadrantes correspondentes, sendo as variáveis Al S, Al C pH S e T(°C) S suplementares, ou seja, não contribuem para os pesos das componentes principais.

**Tabela 4.9** - Cargas das componentes principais indicando as percentagens de explicação da variabilidade das variáveis para o período de seca e cheia.

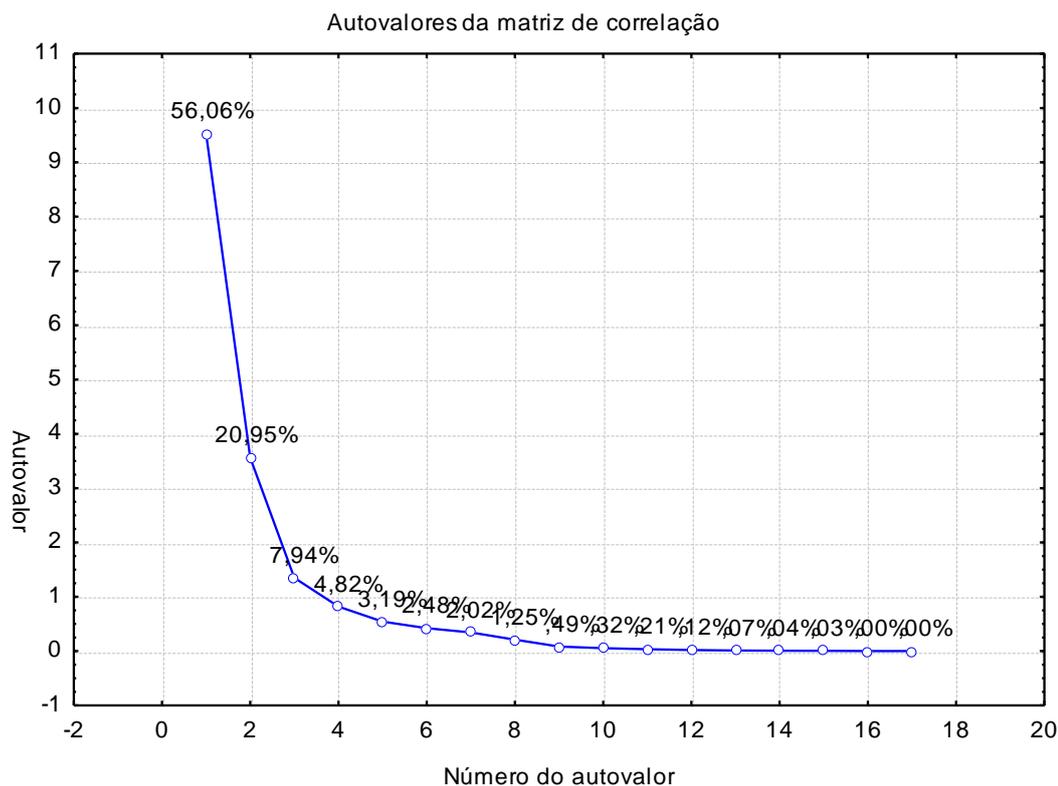
<b>Variáveis</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>
<b>STD S</b>	<b>-0,933383</b>	-0,219511	0,191448
<b>STD C</b>	<b>-0,882348</b>	-0,344110	0,189307
<b>C.E. S</b>	<b>-0,902948</b>	-0,314865	0,164251
<b>C.E. C</b>	<b>-0,894502</b>	-0,329933	0,183144
<b>Tur S</b>	<b>-0,680465</b>	<b>0,650834</b>	-0,031283
<b>Tur C</b>	<b>-0,626033</b>	0,552822	-0,246600
<b>pH C</b>	-0,274129	-0,066810	<b>0,720761</b>
<b>T (°C) C</b>	0,327760	0,071501	<b>0,792785</b>
<b>CorAp S</b>	<b>-0,659839</b>	<b>0,679647</b>	0,088251
<b>CorAp C</b>	-0,546583	<b>0,776919</b>	-0,074003
<b>CorVd S</b>	-0,525256	<b>0,646150</b>	0,346697
<b>CorVd C</b>	-0,500560	<b>0,687772</b>	-0,230356
<b>Ca S</b>	<b>-0,809468</b>	-0,338131	0,181792
<b>Ca C</b>	<b>-0,851427</b>	-0,302743	0,099042
<b>Mg S</b>	<b>-0,735018</b>	-0,561806	-0,018458
<b>Mg C</b>	<b>-0,736048</b>	-0,342013	-0,177324
<b>Fe S</b>	<b>-0,700807</b>	0,455507	0,246346
<b>Fe C</b>	<b>-0,658827</b>	0,330056	-0,230996
<b>Si S</b>	<b>-0,758945</b>	-0,411926	-0,362775
<b>Si C</b>	<b>-0,782046</b>	-0,311913	-0,430970
<b>*pH S</b>	0,555612	-0,181955	0,325273
<b>*T (°C) S</b>	0,417212	0,008935	0,623788
<b>*Al S</b>	-0,485186	-0,043300	0,241076
<b>*Al C</b>	-0,254293	-0,023146	-0,389883

Nota: (\*) Variáveis suplementares.



**Figura 4.2** - Projeção espacial da ordenação dos vetores das variáveis nas duas componentes principais para o período de seca e cheia.

A partir desta informação uma nova ACP foi realizada considerando o conjunto com maior número de dados referente ao período seco, pois compreende o ponto P28 e as variáveis Na, K,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$  que são importantes para diagnóstico ambiental e que por perda de informação não puderam ser comparadas entre os períodos hidrológicos. No entanto, para esse novo conjunto de dados segundo o gráfico de autovalores (Figura 4.3), a variabilidade dos dados são explicados com até três componentes principais resultando em uma porcentagem de variância explicada igual a 85% dos dados o que é relevante por se tratar de análises ambientais onde existe uma grande variabilidade das amostras analisadas e não existe uma correlação linear entre as variáveis. Com isso escolheu-se três componentes principais como as mais importantes para explicar a variabilidade das análises.



**Figura 4.3** - Gráfico de autovalores.

A Tabela 4.10 mostra as variáveis mais importantes, ou seja, as de maior variabilidade segundo as cargas mais elevadas, na primeira componente foram STD, C.E., Tur, Cor Ap, Cor Vd, Na, K,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , Ca, Fe e Si, na segunda componente foram Mg e Si, na terceira componente temperatura e foram determinados como variáveis suplementares pH e Al.

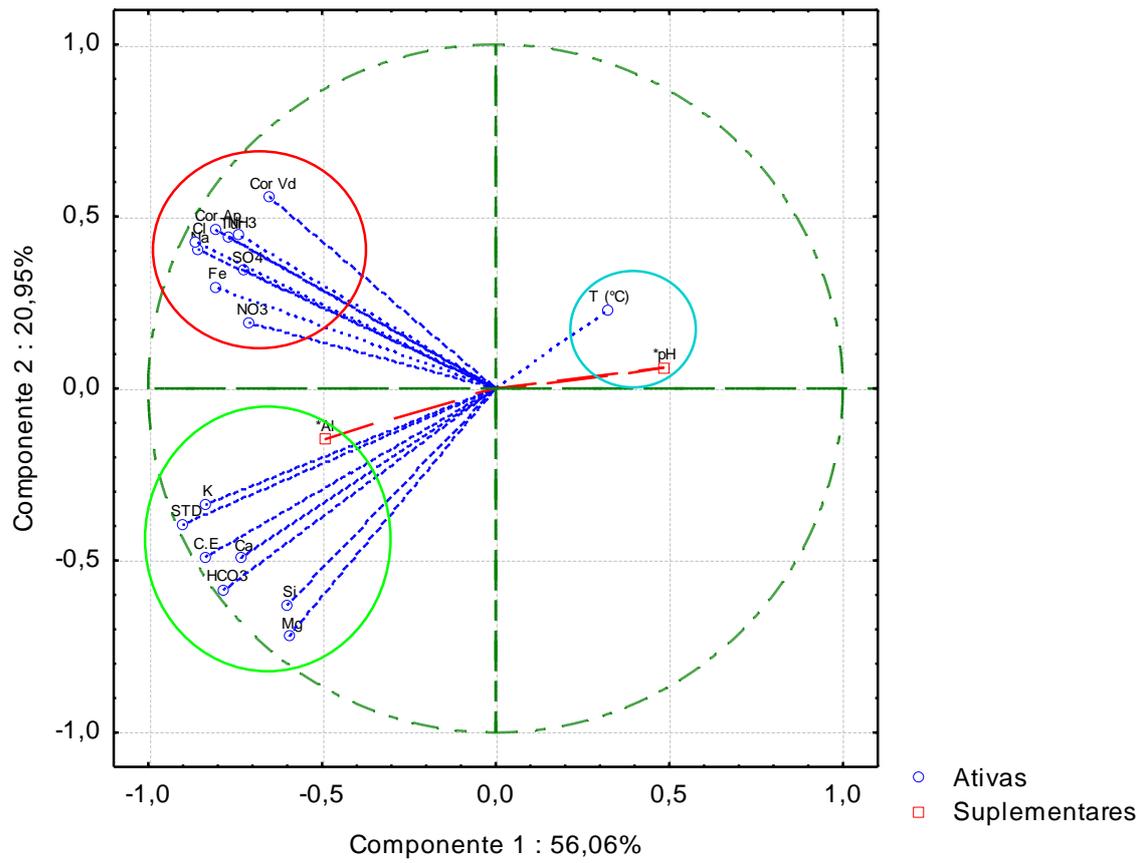
Analisando a projeção das variáveis nas duas principais componentes (Figura 4.4), a componente 1 conseguiu distinguir dois grupos, um influenciado pela temperatura e pH, outro pelas demais variáveis do sistema. Enquanto que a componente 2 agrupa também dois, dado pelas variáveis Cor Vd, Cor Ap, Tur,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , Fe,  $\text{Cl}^-$ , Na, T e pH e outro pelas variáveis Al, K, STD, C.E, Ca,  $\text{HCO}_3^-$ , Mg e Si. Outra inferência pela componente 2 é que as variáveis pH e Al tem pouca influência devido a proximidade desta ao zero da componente 2.

**Tabela 4.10** - Cargas das componentes principais indicando as percentagens de explicação da variabilidade das variáveis para o período de seca e cheia.

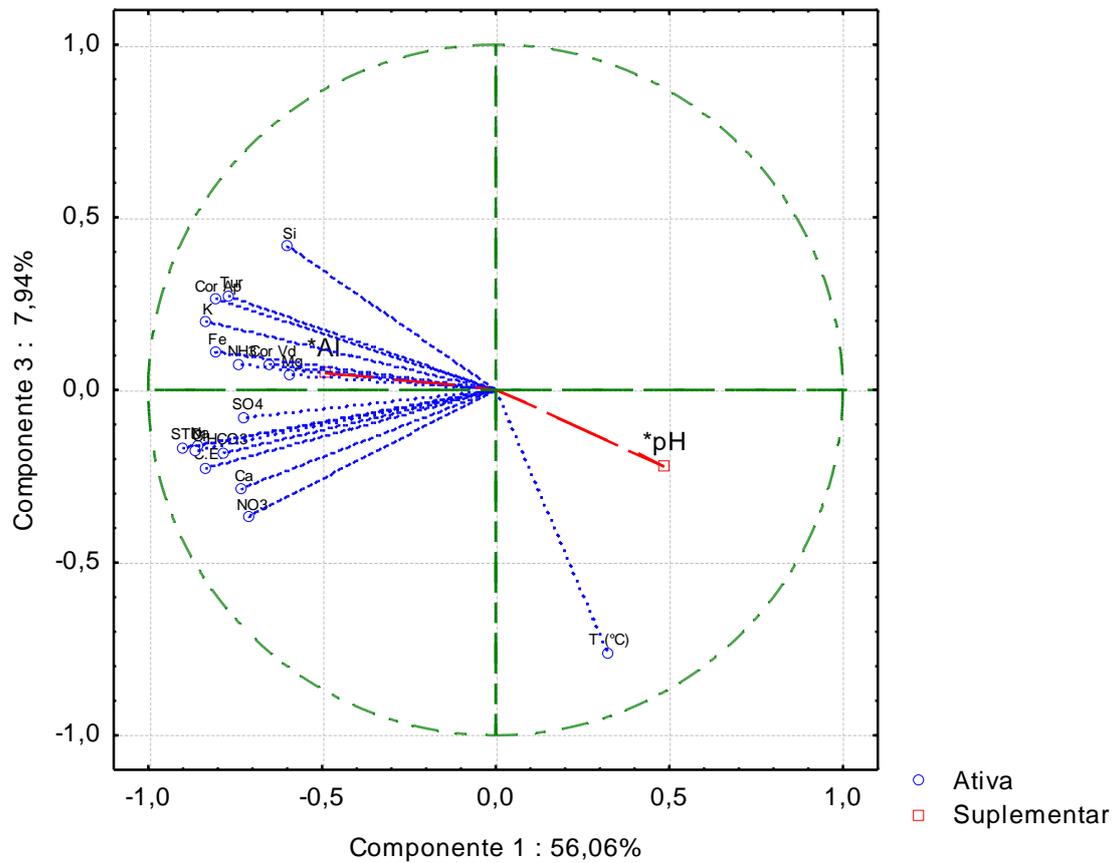
<b>Variáveis</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>
<b>STD</b>	<b>-0,898298</b>	-0,392432	-0,166881
<b>C.E.</b>	<b>-0,832559</b>	-0,489402	-0,224367
<b>Tur</b>	<b>-0,767787</b>	0,440900	0,272247
<b>T (°C)</b>	0,320377	0,228253	<b>-0,761102</b>
<b>Cor Ap</b>	<b>-0,806804</b>	0,464396	0,261859
<b>Cor Vd</b>	<b>-0,649133</b>	0,557065	0,074845
<b>Na</b>	<b>-0,859533</b>	0,401320	-0,163689
<b>K</b>	<b>-0,836206</b>	-0,336749	0,195340
<b>NH4</b>	<b>-0,738409</b>	0,444349	0,074156
<b>Cl</b>	<b>-0,861897</b>	0,426481	-0,172302
<b>NO3</b>	<b>-0,708297</b>	0,190848	-0,369289
<b>SO4</b>	<b>-0,722332</b>	0,341929	-0,078045
<b>HCO3</b>	<b>-0,780932</b>	-0,582662	-0,179407
<b>Ca</b>	<b>-0,732608</b>	-0,494438	-0,287553
<b>Mg</b>	-0,593310	<b>-0,720723</b>	0,044944
<b>Fe</b>	<b>-0,809345</b>	0,297328	0,107436
<b>Si</b>	<b>-0,601340</b>	<b>-0,629750</b>	0,416036
<b>*pH</b>	0,485217	0,061029	-0,221879
<b>*Al</b>	-0,492725	-0,148049	0,048728

Nota: (\*) Variáveis suplementares.

Analisando a projeção espacial da ordenação dos vetores das variáveis nas componentes 1 e 3 para o período de seca (Figura 4.5) não é possível observar informação significativa a mais que as componentes 1 e 2. Dessa forma os dados são explicados apenas com 2 componentes principais, podendo a terceira ser descartada sem prejuízo ao estudo.

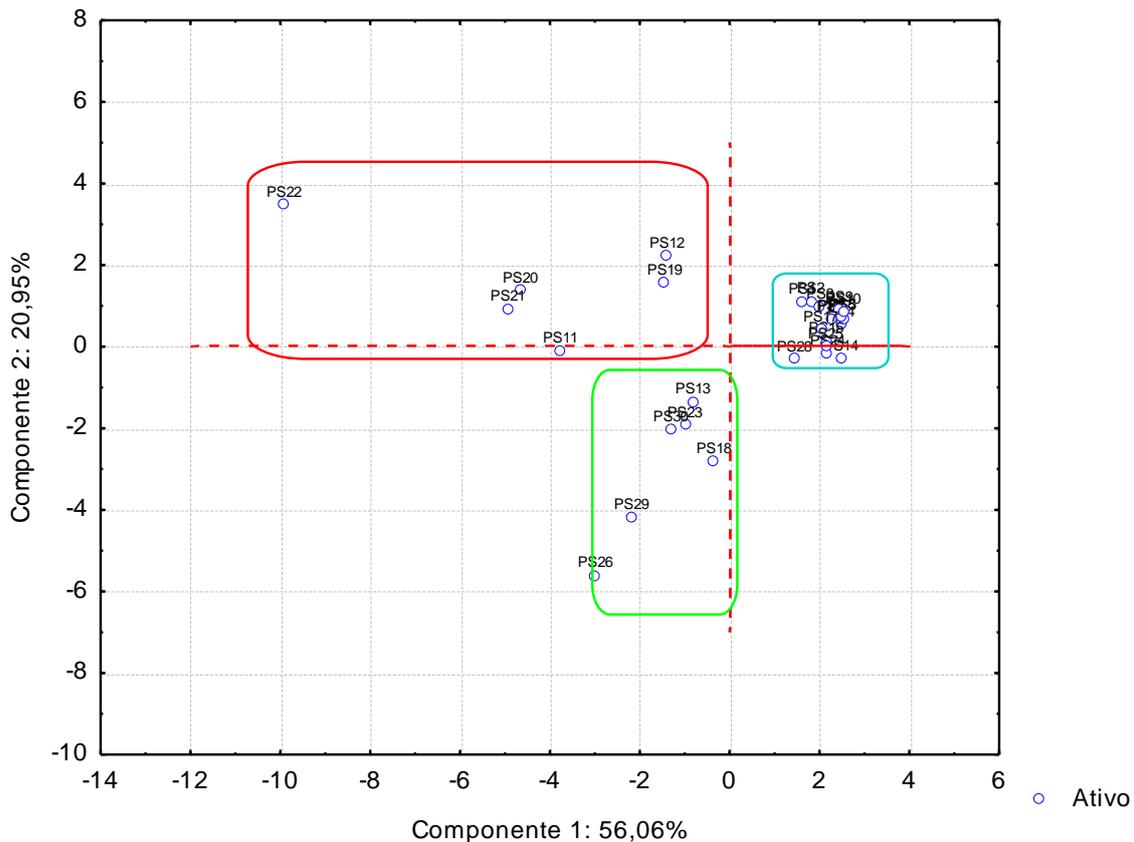


**Figura 4.4** - Projeção espacial da ordenação dos vetores das variáveis nas duas componentes principais para o período de seca.



**Figura 4.5** - Projeção espacial da ordenação dos vetores das variáveis nas componentes 1 e 3 para o período de seca.

Analisando a projeção dos pontos de coleta nas duas principais componentes (Figura 4.6), a componente 1 separa dois grupos, o que sugere características distintas devido ao tipo de preservação da área, visto que todos os pontos do grupo azul estão dentro da APA. A componente 2 também separa dois grupos, destacando o grupo verde que sugere grande influência da geologia.



**Figura 4.6** - Projeção espacial da ordenação dos vetores dos pontos de coleta nas duas componentes principais para o período de seca.

Analisando o gráfico de escores concomitante ao gráfico de pesos, é possível observar a formação de três grupos (azul, vermelho, e verde), onde o grupo azul é influenciado basicamente pelas variáveis pH e T. O grupo vermelho é influenciado pelas variáveis Cor Vd, Cor Ap, Tur,  $SO_4^{2-}$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ , Fe,  $Cl^-$ , Na e o grupo verde é influenciado pelas variáveis STD, C.E., K,  $HCO_3$ , Ca, Si e Mg. Sendo Al uma variável suplementar e P22 um membro final, ou seja, o ponto que apresentou os maiores valores para as variáveis que ordenaram o grupo vermelho.

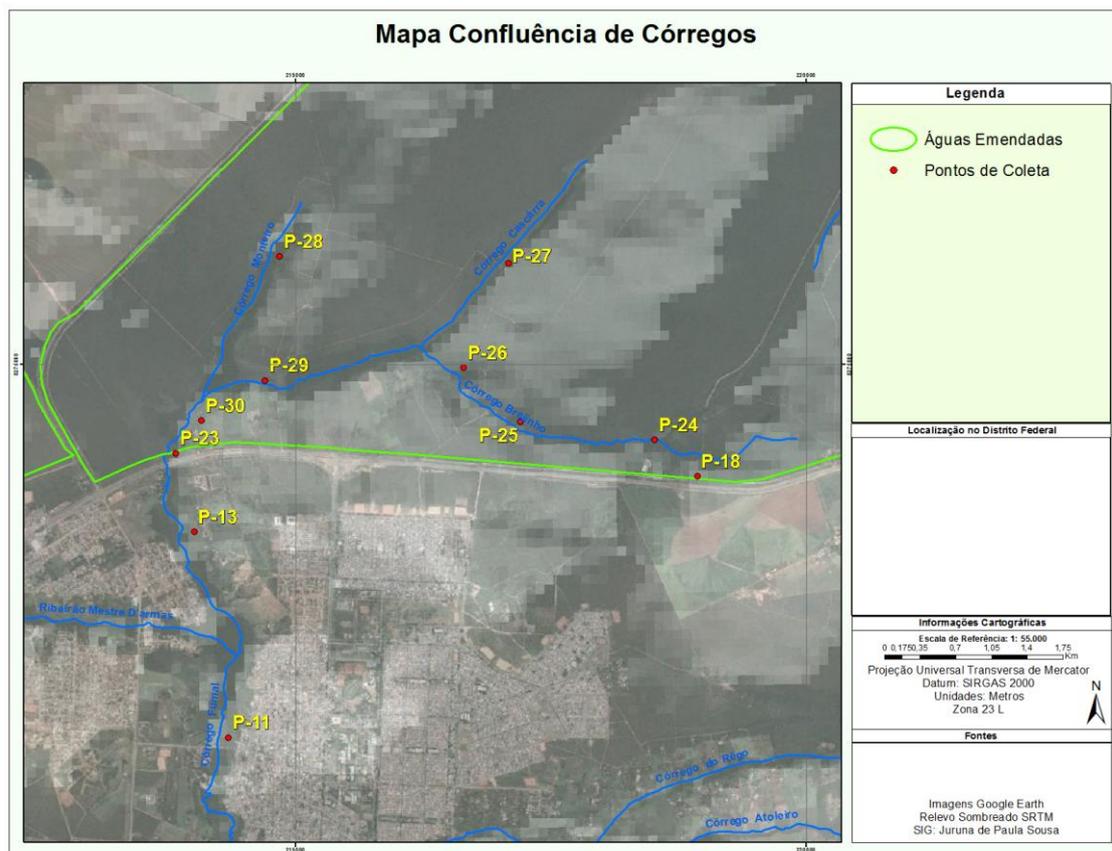
A ordenação dos grupos pela ACP está relacionada aos vetores que sugerem quais parâmetros estão influenciando mais intensidade os pontos em cada quadrante. Esta ordenação não ocorreu conforme a categorização sugerida neste trabalho, o que demonstra relação dos tipos de água com a influência do uso da área. Ou seja, a área de estudo possui corpos hídricos com características naturais distintas, mas que estão sofrendo alterações devido a forte influência urbana. Isso pode ser observado pelo grupo vermelho, referentes aos pontos P11, P12, P20,

P21, P22 e P19 cujas águas drenam unicamente área urbanizada. O ponto 22 apresenta maior impacto em relação ao grupo, por estar à jusante da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Planaltina, sendo um dos extremos na projeção espacial dos vetores dos pontos de coleta nas duas componentes principais para o período de seca.

A formação do grupo verde está relacionada à predominância de águas mineralizadas com a condutividade elétrica variando de 48,10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  referente a P13 a 112,07  $\mu\text{S}/\text{cm}$  referente a P26 (anexo 3). Apesar de P13 está localizado em área urbanizada este se agrupa a pontos localizados na área de preservação, isso por influência de P26, que sendo uma nascente está localizado na área de preservação e apresenta elevados valores para os parâmetros ordenados no 3º quadrante da projeção das variáveis (Figura 4.4). Isso explica a ordenação dos pontos que formam o grupo verde, que apesar de receber influências diferentes devido à localização, apresenta grande similaridade segundo a ACP, com exceção de P18 cuja água tem origem em uma propriedade rural e drena para ESEC-AE após a BR 020, sendo este ponto impactado pela via.

Essa ordenação se deve ao fato desses pontos estarem à jusante da nascente, P26, na seguinte ordem P29, P30, P23 e P13. Sendo que à medida que ocorre confluência com outros córregos (Figura 4.7) é observado um decréscimo em mesma ordem na concentração dos parâmetros que correlaciona esses pontos. Os pontos P27 e P28 possuem baixas concentrações de metais e C.E., sendo suas águas responsáveis pela diluição destes nos pontos P29, P30, P23 e P13. A partir de P11, que está a montante de P13 e P12 é observado a influência da área urbana visto aumento dos parâmetros condutividade elétrica, cor aparente, cor verdadeira e sólidos totais dissolvidos.

A separação do grupo azul está relacionada aos pontos P1 a P10, P14, P15, P17, P24 e P25 que foram ordenados unicamente pela temperatura apesar de corresponderem a ambientes diferentes, lêntico e lótico. O que demonstra que estes não sofrem influência urbana.



**Figura 4.7** - Confluência de córregos com condutividades diferentes.

Em resumo, pela ACP o grupo verde representa contribuição geológica, provavelmente pela dissolução de rochas responsável pela produção de águas com elevadas concentrações de STD, C.E., K,  $\text{HCO}_3^-$ , Ca, Si e Mg, isso porque está é uma área com predominância de rochas calcárias. O grupo vermelho agrupou Cor Vd, Cor Ap, Tur,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , Fe,  $\text{Cl}^-$  o que demonstra contribuição da urbanização desordenada, sendo que Fe pode estar relacionado a ausência de matar ciliar, e as demais variáveis ao lançamentos de esgoto doméstico. O grupo azul agrupou pontos que não tem relação com as variáveis analisadas, correlacionando estes apenas com temperatura. Dessa forma, os dados da ACP possibilitaram a identificação das fontes dos parâmetros analisados, em dois grupos: Contribuição geológica e antrópica. Sendo que o grupo azul não apresenta impacto em relação às variáveis analisadas demonstrando a importância da APA.

## 5 CONCLUSÃO

---

Os resultados deste trabalho demonstram que as variáveis estudadas apresentam variabilidade significativa quando relacionados às influências da área de estudo diferenciando a amostragem em área urbanizada e preservada, comportamento evidenciado pela Análise das Componentes Principais devido ao uso e ocupação do solo na área de influência direta. Foi observado intensidades e concentrações elevadas de variáveis (turbidez, cor,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) indicativas de poluição nos pontos P11, P12, P20, P21 e P22 cujas águas drenam áreas urbanizadas, indicando a influência de efluentes domésticos, embora exista a Estação de Tratamento de Esgoto de Planaltina a qual deveria minimizar a contribuição dos esgotos domésticos, e a ausência de matar ciliar no impacto do Ribeirão Mestre D'armas.

Também foi observado impacto causado pela BR 020, isso devido à falta de cobertura vegetal que contribui com escoamento superficial, responsável por elevar os valores das variáveis STD, C.E. e Ca em P18 cujas águas drenam para dentro da ESEC-AE. Os pontos localizados na ESEC-AE, exceto P26, P29, P30 e P23, que sofrem grande influência geológica, apresentaram as menores concentrações dos parâmetros em estudo. O principal motivo disso é a baixa densidade populacional e a proximidade da nascente em relação ao ponto de coleta, sendo que a maioria dos pontos se encontram na Lagoa Bonita que é classificada, de acordo com a hidrogeologia, como dominada por água subterrânea, evidenciando a importância da Área de Proteção Ambiental (APA), que auxiliou na manutenção das condições naturais dessa área.

Contudo a área de proteção ambiental (ESEC-AE) contrapõe-se com a área urbanizada, representada pela cidade de Planaltina, que avançou sobre áreas rurais e hoje provoca impactos sobre a APA o que evidencia a falta de planejamento e fiscalização das autoridades governamentais, mas também de legislação sobre classificação dos corpos de água que contribuam com a manutenção da biodiversidade. Dessa forma, é preciso que o poder público tenha uma atuação preventiva em relação à ocupação e a formação de novas áreas urbanas e que invista em educação ambiental de forma a contribuir com a minimização dos

impactos causados pela urbanização, fazendo-se necessário também a elaboração de diretrizes ambientais de enquadramento dos corpos de água de forma a contribuir para a valoração dos recursos hídricos considerando as especificidades de cada região.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Edition, Washington, D.C, 2005.

BERNARDI, J. V. E.; Lacerda, L. D.; Dórea, J. G.; Landim, P. M. B.; Gomes, J. P. O.; Almeida, R.; Manzatto, A. G.; Bastos, W. R. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio Madeira e afluentes, Amazônia ocidental, *Geochimica Brasiliensis*, 23(1) 079-090, 2009.

BILICH, M. R.. Ocupação das terras e a qualidade da água na microbacia do Ribeirão Mestre d'Armas, Distrito Federal. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

BRASIL, lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasil. Brasil, 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Norma de qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Portaria nº 518, de 26 de março de 2004.

CAMPOS, J. E. G. Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos. *Rev. Bras. Geoq.* 34(1), p. 41-48. 2004.

CAMPOS, J. E. G. Zoneamento Ecológico Econômico do Distrito Federal. Volume II:Meio Físico. SEDUMA, GDF. Disponível em: <http://www.zee-df.com.br/>. 2011.

CAMPOS, P. M., LACERDA, M. P. C., PAPA, R. A., GUIMARÃES, E. M., NETO, S. F. C. Difractometria de raios-x aplicada na identificação de gibbsita e caulinita em latossolos do distrito federal; Resumos do 2º Simpósio Internacional Savanas Tropicais, Brasília, Brasil, 2008.

CARMO, M. S. DO, BOAVENTURA, G. R., OLIVEIRA, E. C. Geoquímica das águas da bacia hidrográfica do Rio Descoberto (BHRD), Brasília/DF-Brasil. *Química Nova*, v. 28, n. 4, p. 565-574, 2005.

CETESB, disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/Águas-Superficiais/34-Variáveis-de-qualidade-das-Águas>. Acesso em: 10 jul 2013.

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

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. *Hidrologia Subterrânea*. Ed. Omega. 2ed. Barcelona. 2v. p. 1157, 1983.

EMBRAPA. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal. Boletim Técnico nº53. Rio de Janeiro, Brazil, p. 455, 1978.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 2 ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, Brazil. P. 412, 2006.

FARIA, A. Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança-Alto Paraíso de Goiás. Brasília. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1995.

FONSECA, F. O. (org.). *Águas Emendadas / Distrito Federal*. Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, Brasília: Seduma, p. 95-154, 2008.

FONSECA, P. C. M.. *Análise dos instrumentos EIA e RIVI na gestão do espaço urbano: sub-bacia do Ribeirão Mestre d'Armas*. Dissertação de mestrado. Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

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

HAIR, J. F. et. Al. *Análise Multivariada de Dados*. 6 Ed. Porto Alegre: Bookman, p.730, 2009.

HAIR, J. F. *Multivariate data analysis*. 5 ed. New Jersey: Prentice Hall, p. 730, 1998.

MARTINS, A. S.. *Avaliação das águas superficiais sob uso e ocupação na sub-bacia do rio Candeias / RO- Amazônia Ocidental*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Rondônia / UNIR, Porto Velho, Rondônia, 2009.

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

MIZUNO, M. G. M. Hidroquímica das Águas Subterrâneas do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências – IG, Universidade de Brasília – UnB. Brasília, 2012.

MONTEIRO, A. J. Qualidade da água e controlo da poluição. Recursos Hídricos e Ambientais do IST, 2004. Departamento de engenharia civil e arquitetura. Disponível: <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/133939/1/Eutrofiza.pdf> Acesso em: 16 jun 2013.

MOURA, L. H. A. Estudo geoquímico da Bacia do Gama e avaliação da qualidade da água. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências – IG, Universidade de Brasília – UnB. Brasília, 2008.

MULHOLLAND, D. S.. Geoquímica aplicada à avaliação da qualidade de sistemas aquáticos da Bacia do Rio Paracatu (MG). Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

NOVAES PINTO, M. S. Superfícies de Aplainamento do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geografia*. Vol.49. p.9-26, 1987.

PETERSEN, W., BERTINO, L., CALLIES, U. & ZORITA, E. Process identification by principal component analysis of river water-quality data. *Ecological Modeling*. 138:193-213, 2001

PINELLI, M.P.. Geoquímica de águas e sedimentos da bacia do rio São Bartolomeu-DF. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

POHLING, R. Reações Químicas na Análise de Água. Fortaleza: Editora Arte Visual Gráfica e Editora Ltda – ME, p. 5, 2009.

STATISCA 7.0 STATSOFT, Inc. Tulsa, USA, 2004.

VON SPERLING, M. V. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Belo Horizonte: MG, Editora SEGRAC, Ed. 2, 1996.

Anexo 1 - Resultados dos parâmetros físico-químicos nas amostras de água no período chuvoso.

	STD	C.E.	Turbidez	pH	Temperatura	Cor Aparente	Cor verdadeira
P1	2,68	4,18	0,02	5,97	25,47	14,20	12,08
P2	3,08	5,14	2,35	5,68	25,40	23,00	20,43
P3	2,75	4,46	0,02	5,63	25,80	13,25	11,40
P4	3,07	5,10	0,02	5,65	26,13	9,79	8,15
P5	3,17	5,10	0,02	5,65	26,13	10,26	8,78
P6	3,41	5,10	0,02	5,65	26,13	12,50	10,75
P7	3,00	5,04	0,02	5,61	26,43	10,50	8,41
P8	3,01	5,04	0,02	5,89	26,37	10,44	7,80
P9	2,98	4,89	0,02	5,85	27,07	11,07	9,05
P10	3,50	5,61	1,63	5,49	25,00	16,43	12,78
P11	28,60	57,90	11,23	5,80	22,67	31,77	30,43
P12	6,92	13,34	17,57	5,73	23,30	40,45	29,97
P13	17,63	34,93	6,53	5,71	22,70	20,91	22,71
P14	1,76	2,88	1,19	5,50	24,63	2,21	9,65
P15	1,59	2,30	3,19	5,93	21,73	12,21	16,83
P16	2,35	3,77	49,17	5,38	21,77	84,68	73,46
P17	2,26	3,95	0,05	4,60	22,07	23,67	37,52
P18	26,50	52,60	0,02	5,85	23,83	3,29	14,69
P19	8,85	19,71	16,93	5,52	22,17	32,15	28,68
P20	22,20	51,30	13,21	5,82	25,13	36,54	28,49
P21	23,97	53,80	13,02	5,82	26,03	37,20	31,78
P22	38,80	85,33	7,43	5,67	23,97	37,90	32,85
P23	22,63	52,50	2,17	5,81	24,42	13,98	13,92
P24	1,99	4,10	1,70	5,06	21,60	7,71	8,84
P25	1,44	2,90	2,36	5,09	22,07	7,86	6,67
P26	51,47	110,60	0,05	5,86	24,37	0,39	1,61
P27	1,79	3,37	0,80	5,06	23,87	7,21	7,80
P29	21,93	47,51	5,17	5,50	22,57	11,34	10,81
P30	32,60	65,00	1,65	5,75	21,03	19,06	10,54

Unidade de medida: STD (mg/L), C.E. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), turbidez (NTU), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) cor aparente e verdadeira ( $\mu\text{H}$ ).

**Anexo 2 - Resultados de metais nas amostras de água no período chuvoso.**

	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Fe</b>	<b>Si</b>	<b>Al</b>	<b>Ni</b>	<b>Co</b>	<b>Mo</b>
<b>P1</b>	0,03	0,11	0,01	0,60	0,14	<LD	<LD	<LD
<b>P2</b>	0,07	0,11	0,01	0,71	0,14	<LD	<LD	<LD
<b>P3</b>	0,12	0,11	0,01	0,71	0,14	<LD	<LD	<LD
<b>P4</b>	0,10	0,11	0,01	0,73	0,14	<LD	<LD	<LD
<b>P5</b>	1,19	1,12	0,23	1,37	2,01	<LD	<LD	<LD
<b>P6</b>	1,79	1,38	0,22	1,56	2,23	<LD	<LD	<LD
<b>P7</b>	0,87	1,03	0,17	1,46	1,63	<LD	<LD	<LD
<b>P8</b>	0,29	0,11	0,01	0,79	0,14	<LD	<LD	<LD
<b>P9</b>	0,42	0,11	0,06	1,05	0,49	<LD	<LD	<LD
<b>P10</b>	0,62	0,83	0,21	1,61	1,40	<LD	<LD	<LD
<b>P11</b>	9,53	3,26	0,49	4,94	1,98	<LD	<LD	<LD
<b>P12</b>	2,31	1,43	0,28	3,54	2,01	<LD	<LD	<LD
<b>P13</b>	6,03	3,26	0,40	6,04	2,09	<LD	<LD	<LD
<b>P14</b>	0,03	0,11	0,01	0,73	0,14	<LD	<LD	<LD
<b>P15</b>	0,37	0,90	0,29	4,10	2,19	<LD	<LD	<LD
<b>P16</b>	0,16	0,11	0,11	3,44	1,15	<LD	<LD	<LD
<b>P17</b>	0,03	0,11	0,09	2,67	0,14	<LD	<LD	<LD
<b>P18</b>	14,48	0,61	0,05	3,35	0,97	<LD	<LD	<LD
<b>P19</b>	9,10	5,45	0,27	7,72	2,10	<LD	<LD	<LD
<b>P20</b>	7,12	1,06	0,31	3,81	0,31	<LD	<LD	<LD
<b>P21</b>	10,55	2,19	0,50	5,66	2,41	<LD	<LD	<LD
<b>P22</b>	8,07	2,30	0,32	4,41	0,14	<LD	<LD	<LD
<b>P23</b>	7,97	3,77	0,32	7,52	1,19	<LD	<LD	<LD
<b>P24</b>	0,65	0,91	0,19	4,10	1,79	<LD	<LD	<LD
<b>P25</b>	0,75	0,11	0,12	4,73	1,37	<LD	<LD	<LD
<b>P26</b>	14,05	7,17	0,08	8,71	1,33	<LD	<LD	<LD
<b>P27</b>	0,28	0,84	0,16	3,24	1,99	<LD	<LD	<LD
<b>P29</b>	7,11	3,72	0,21	7,27	1,72	<LD	<LD	<LD
<b>P30</b>	2,19	0,99	0,14	3,62	0,14	<LD	<LD	<LD

Todos os dados estão em mg/L. LD– Limite de Detecção.

**Anexo 3 - Resultados dos parâmetros físico-químicos nas amostras de água no período seco.**

	<b>STD</b>	<b>C.E.</b>	<b>Turbidez</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Cor</b> <b>Aparente</b>	<b>Cor</b> <b>verdadeira</b>
<b>P1</b>	2,51	5,4	0,93	7,67	24,76	12,63	12,08
<b>P2</b>	2,60	5,46	0,80	6,72	26,10	12,04	13,12
<b>P3</b>	2,91	5,97	0,83	6,20	26,40	14,36	13,62
<b>P4</b>	2,76	5,71	0,43	6,19	25,97	4,32	4,53
<b>P5</b>	2,91	6,91	0,60	6,55	27,57	4,33	4,57
<b>P6</b>	2,82	6,85	0,85	6,58	27,20	4,98	5,77
<b>P7</b>	2,74	5,69	0,55	6,51	26,63	6,20	5,98
<b>P8</b>	2,81	5,31	0,52	6,30	26,83	7,54	8,26
<b>P9</b>	2,48	5,29	0,96	6,55	28,23	8,52	7,51
<b>P10</b>	2,24	5,30	1,52	5,92	27,50	5,82	3,74
<b>P11</b>	35,17	72,23	16,10	5,44	22,53	36,29	20,83
<b>P12</b>	9,55	19,05	27,10	5,03	22,77	42,40	12,22
<b>P13</b>	23,40	48,10	4,70	5,27	23,00	12,77	7,02
<b>P14</b>	1,44	2,39	2,01	5,71	20,80	6,04	2,03
<b>P15</b>	1,17	2,13	1,48	6,60	20,47	6,07	2,26
<b>P17</b>	1,85	4,10	0,49	5,46	21,10	3,74	1,07
<b>P18</b>	37,53	82,00	0,52	5,74	23,47	3,31	0,56
<b>P19</b>	12,95	25,83	15,34	5,68	22,40	29,13	14,18
<b>P20</b>	35,30	80,03	12,93	5,76	24,10	25,57	12,08
<b>P21</b>	41,00	86,93	13,28	5,44	24,57	26,33	13,87
<b>P22</b>	51,80	77,53	27,07	5,62	22,53	64,67	42,69
<b>P23</b>	23,80	48,10	5,17	5,70	22,53	12,37	7,20
<b>P24</b>	1,73	3,83	1,74	5,96	22,80	9,22	2,63
<b>P25</b>	1,32	2,74	1,63	6,81	22,53	9,86	3,00
<b>P26</b>	50,53	112,07	0,44	6,10	24,17	4,12	0,84
<b>P 28</b>	3,74	7,24	3,97	5,83	21,73	12,96	6,16
<b>P29</b>	36,63	81,03	1,67	5,63	22,73	8,30	2,34
<b>P30</b>	27,10	55,53	5,89	6,72	22,10	11,34	9,67

Unidade de medida: STD (mg/L), C.E. ( $\mu\text{S/cm}$ ), turbidez (NTU), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) cor aparente e verdadeira ( $\mu\text{H}$ ).

**Anexo 4 - Resultados dos parâmetros físico-químicos nas amostras de água no período seco.**

	<b>NH3</b>	<b>F</b>	<b>Cl</b>	<b>NO3</b>	<b>PO4</b>	<b>SO4</b>	<b>HCO3</b>
<b>P1</b>	0,26	<LD	0,45	<LD	<LD	0,74	2,88
<b>P2</b>	0,02	<LD	0,45	<LD	0,63	0,13	3,08
<b>P3</b>	0,05	<LD	0,55	<LD	<LD	<LD	4,34
<b>P4</b>	0,03	<LD	0,60	<LD	<LD	0,29	3,62
<b>P5</b>	0,02	<LD	0,46	<LD	<LD	0,70	3,92
<b>P6</b>	0,02	<LD	0,63	<LD	<LD	<LD	4,07
<b>P7</b>	0,02	<LD	0,49	<LD	<LD	0,83	3,77
<b>P8</b>	0,05	<LD	0,44	<LD	<LD	0,49	3,87
<b>P9</b>	0,04	<LD	0,48	<LD	0,51	0,17	3,35
<b>P10</b>	0,03	<LD	0,51	<LD	<LD	<LD	2,88
<b>P11</b>	0,20	<LD	2,11	0,24	<LD	0,71	38,23
<b>P12</b>	0,18	<LD	1,05	0,76	<LD	0,41	9,23
<b>P13</b>	0,11	0,07	0,53	0,08	<LD	0,23	29,99
<b>P14</b>	0,01	<LD	<LD	<LD	0,63	<LD	2,13
<b>P15</b>	0,02	<LD	0,58	<LD	<LD	0,16	1,44
<b>P17</b>	<LD	<LD	0,31	<LD	<LD	0,18	1,79
<b>P18</b>	0,01	<LD	0,31	<LD	<LD	0,96	51,63
<b>P19</b>	0,14	0,10	1,08	<LD	<LD	4,39	11,72
<b>P20</b>	0,27	<LD	2,71	3,88	1,49	2,75	35,05
<b>P21</b>	0,27	<LD	3,02	2,57	<LD	2,00	39,27
<b>P22</b>	1,69	0,17	4,38	1,72	<LD	4,43	44,53
<b>P23</b>	0,07	<LD	0,60	<LD	<LD	0,14	29,39
<b>P24</b>	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	3,08
<b>P25</b>	<LD	<LD	0,48	0,05	<LD	0,17	3,08
<b>P26</b>	<LD	0,08	0,52	0,77	<LD	0,97	67,67
<b>P28</b>	<LD	0,07	<LD	<LD	<LD	0,50	4,42
<b>P29</b>	<LD	0,09	0,44	0,39	<LD	0,29	49,10
<b>P30</b>	<LD	0,11	0,45	0,34	<LD	0,45	33,71

Unidade de medida: Todos os dados estão em mg/L; LD- Limite de Detecção.

**Anexo 5 - Resultados de metais nas amostras de água no período seco.**

	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Fe</b>	<b>Si</b>	<b>Al</b>	<b>Ni</b>	<b>Co</b>	<b>Mo</b>
<b>P1</b>	0,10	0,11	0,79	0,34	0,17	1,35	0,56	<LD	<LD	<LD
<b>P2</b>	0,12	0,10	0,77	0,44	0,18	1,26	0,52	<LD	<LD	<LD
<b>P3</b>	0,12	0,11	0,53	0,11	0,15	1,22	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P4</b>	0,12	0,13	0,50	0,11	0,01	1,47	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P5</b>	0,15	0,15	0,45	0,11	0,01	1,09	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P6</b>	0,14	0,13	1,12	0,11	0,11	1,61	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P7</b>	0,13	0,12	0,67	0,11	0,05	1,66	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P8</b>	0,13	0,12	0,12	0,11	0,01	1,09	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P9</b>	0,14	0,12	0,28	0,11	0,08	1,04	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P10</b>	0,09	0,06	0,03	0,11	0,01	1,36	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P11</b>	2,06	1,67	7,34	2,32	0,32	4,95	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P12</b>	0,90	1,25	1,80	0,30	0,08	3,18	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P13</b>	0,23	1,45	4,64	2,06	0,19	5,28	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P14</b>	0,03	0,02	0,03	0,11	0,01	3,53	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P15</b>	0,03	0,02	0,03	0,11	0,01	3,21	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P17</b>	0,03	0,01	0,28	0,11	0,05	2,81	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P18</b>	0,10	0,09	15,87	0,84	0,01	2,86	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P19</b>	0,43	0,56	3,52	1,09	0,15	3,67	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P20</b>	4,11	0,91	8,53	1,24	0,17	3,60	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P21</b>	4,31	0,99	11,13	1,25	0,27	4,17	0,59	<LD	<LD	<LD
<b>P22</b>	7,06	3,27	7,93	2,29	0,57	5,35	0,78	<LD	<LD	<LD
<b>P23</b>	0,19	1,50	5,88	2,60	0,23	6,38	0,36	<LD	<LD	<LD
<b>P24</b>	0,04	0,02	0,67	0,11	0,05	4,51	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P25</b>	0,03	0,02	0,19	0,11	0,01	4,25	0,01	<LD	<LD	<LD
<b>P26</b>	0,28	2,84	10,66	6,43	0,06	7,76	0,42	<LD	<LD	<LD
<b>P28</b>	0,06	0,85	0,28	0,45	0,10	4,73	0,59	<LD	<LD	<LD
<b>P29</b>	0,22	2,22	9,96	5,17	0,11	7,67	0,81	<LD	<LD	<LD
<b>P30</b>	0,22	1,75	6,15	2,71	0,11	6,13	0,01	<LD	<LD	<LD

Unidade de medida: Todos os dados estão em mg/L. LD – Limite de detecção.

Anexo 6 - Balanço Iônico.

	CATIONS								ANIONS								BALANÇO IÔNICO						
	Ca		Mg		Na		K		F		Cl		NO <sub>3</sub>		PO <sub>4</sub>		SO <sub>4</sub>		HCO <sub>3</sub>		Soma	C. E.	Soma
	mg/L	meq	mg/L	meq	mg/L	meq	mg/L	meq	mg/L	meq	mg/L	meq	mg/L	meq	mg/L	meq	mg/L	meq	mg/L	meq	Anions	µS	cations
P1	0,79	0,04	0,34	0,03	0,10	<LD	0,11	<LD	<LD	<LD	0,45	0,01	<LD	<LD	<LD	<LD	0,74	<LD	2,88	0,05	0,08	5,67	0,07
P2	0,77	0,04	0,44	0,04	0,12	0,01	0,10	<LD	<LD	<LD	0,45	0,01	<LD	<LD	0,63	0,02	0,13	<LD	3,08	0,05	0,09	5,77	0,08
P3	0,53	0,03	<LD	<LD	0,12	0,01	0,11	<LD	<LD	<LD	0,55	0,02	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	4,34	0,07	0,09	6,61	0,03
P4	0,50	0,02	<LD	<LD	0,12	0,01	0,13	<LD	<LD	<LD	0,6	0,02	<LD	<LD	<LD	<LD	0,29	<LD	3,62	0,06	0,08	6,32	0,03
P5	0,45	0,02	<LD	<LD	0,15	0,01	0,15	<LD	<LD	<LD	0,46	0,01	<LD	<LD	<LD	<LD	0,7	<LD	3,92	0,06	0,09	6,39	0,03
P6	1,12	0,06	<LD	<LD	0,14	0,01	0,13	<LD	<LD	<LD	0,63	0,02	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	4,07	0,07	0,08	6,2	0,07
P7	0,67	0,03	<LD	<LD	0,13	0,01	0,12	<LD	<LD	<LD	0,49	0,01	<LD	<LD	<LD	<LD	0,83	<LD	3,77	0,06	0,09	5,68	0,04
P8	0,12	0,01	<LD	<LD	0,13	0,01	0,12	<LD	<LD	<LD	0,44	0,01	<LD	<LD	<LD	<LD	0,49	<LD	3,87	0,06	0,09	5,85	0,01
P9	0,28	0,01	<LD	<LD	0,14	0,01	0,12	<LD	<LD	<LD	0,48	0,01	<LD	<LD	0,51	0,02	0,17	<LD	3,35	0,05	0,09	5,46	0,02
P10	<LD	<LD	<LD	<LD	0,09	<LD	0,06	<LD	<LD	<LD	0,51	0,01	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	2,88	0,05	0,06	4,27	0,01
P11	7,34	0,37	2,32	0,19	2,06	0,09	1,67	0,04	<LD	<LD	2,11	0,06	0,24	<LD	<LD	<LD	0,71	<LD	38,23	0,63	0,70	67,7	0,69
P12	1,80	0,09	0,30	0,02	0,90	0,04	1,25	0,03	<LD	<LD	1,05	0,03	0,76	0,01	<LD	<LD	0,41	<LD	9,23	0,15	0,20	18,7	0,19
P13	4,64	0,23	2,06	0,17	0,23	0,01	1,45	0,04	0,07	<LD	0,53	0,01	0,08	<LD	<LD	<LD	0,23	<LD	29,99	0,49	0,52	46,1	0,45
P14	<LD	<LD	<LD	<LD	0,03	<LD	0,02	<LD	<LD	<LD	<LD	0,00	<LD	<LD	0,63	0,02	<LD	<LD	2,13	0,03	0,05	1,65	<LD
P15	<LD	<LD	<LD	<LD	0,03	<LD	0,02	<LD	<LD	<LD	0,58	0,02	<LD	<LD	<LD	<LD	0,16	<LD	1,44	0,02	0,04	1,87	<LD
P17	0,28	0,01	<LD	<LD	0,03	<LD	0,013	<LD	<LD	<LD	0,31	0,01	<LD	<LD	<LD	<LD	0,18	<LD	1,79	0,03	0,04	1,97	0,02
P18	15,87	0,79	0,84	0,07	0,10	<LD	0,09	<LD	<LD	<LD	0,31	0,01	<LD	<LD	<LD	<LD	0,96	<LD	51,63	0,85	0,87	78,27	0,87
P19	3,52	0,18	1,09	0,09	0,43	0,02	0,56	0,01	0,1	0,01	1,08	0,03	<LD	<LD	<LD	<LD	4,39	0,1	11,72	0,19	0,32	25,86	0,30
P20	8,53	0,43	1,24	0,10	4,11	0,18	0,91	0,02	<LD	<LD	2,71	0,08	3,88	0,06	1,49	0,05	2,75	0,1	35,05	0,57	0,82	74,83	0,73
P21	11,1	0,56	1,25	0,10	4,31	0,19	0,99	0,03	<LD	<LD	3,02	0,09	2,57	0,04	<LD	<LD	2	<LD	39,27	0,64	0,81	81,53	0,87
P22	7,9	0,40	2,29	0,19	7,06	0,31	3,27	0,08	0,17	0,01	4,38	0,12	1,72	0,03	<LD	<LD	4,43	0,1	44,53	0,73	0,98	100,5	0,97
P23	5,9	0,29	2,60	0,21	0,19	0,01	1,50	0,04	<LD	<LD	0,6	0,02	<LD	<LD	<LD	<LD	0,14	<LD	29,39	0,48	0,50	45,5	0,55
P24	0,67	0,03	<LD	<LD	0,04	<LD	0,02	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	3,08	0,05	0,05	2,89	0,04
P25	0,19	0,01	<LD	<LD	0,03	<LD	0,02	<LD	<LD	<LD	0,48	0,01	0,05	<LD	<LD	<LD	0,17	<LD	3,08	0,05	0,07	2,65	0,01
P26	10,66	0,53	6,43	0,53	0,28	0,01	2,84	0,07	0,08	<LD	0,52	0,01	0,77	0,01	<LD	<LD	0,97	<LD	67,67	1,11	1,16	104,4	1,15
P28	0,28	0,01	0,45	0,04	0,06	<LD	0,85	0,02	0,07	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,5	<LD	4,42	0,07	0,09	6,54	0,07
P29	9,96	0,50	5,17	0,43	0,22	0,01	2,22	0,06	0,09	<LD	0,44	0,01	0,39	0,01	<LD	<LD	0,29	<LD	49,10	0,80	0,83	75,6	0,99
P30	6,1	0,31	2,71	0,22	0,22	0,01	1,75	0,04	0,11	0,01	0,45	0,01	0,34	0,01	<LD	<LD	0,45	<LD	33,71	0,55	0,59	53,23	0,58

Erro balanço iônico: Média erro cátion: 0,84; Máximo erro cátion: 1,43; Média erro ânion: 1,5; Máximo erro ânion: 3,32.