

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

LUDMILA VIANNA BATISTA

HIDROGEOQUÍMICA E QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA BACIA DO
ALTO JACARÉ-PEPIRA (SP)

Rio Claro - SP

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

LUDMILA VIANNA BATISTA

HIDROGEOQUÍMICA E QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA BACIA DO
ALTO JACARÉ-PEPIRA (SP)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Didier Gastmans

Rio Claro (SP)
2014

543.31 Batista, Ludmila
B333h Hidrogeoquímica e qualidade das águas superficiais na
Bacia do Alto Jacaré-Pepira (SP) / Ludmila Batista. - Rio
Claro, 2015
106 f. : il., figs., tabs., quadros, fots., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Didier Gastmans

1. Água - Composição. 2. Hidroquímica. 3. IQA. 4.
Isótopos. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos especiais ao Prof. Dr. Didier Gastmans, orientador, professor e amigo, pela confiança depositada nesse trabalho, quando nem eu mesma acreditei que fosse possível de se concretizar, por toda dedicação, paciência e ensinamentos.

Aos meus pais, que sempre foram meu porto seguro e minha força, que sempre com muito amor e carinho me ensinaram o caminho a seguir para que eu fosse quem sou hoje, abrindo mão dos próprios sonhos para que eu pudesse realizar os meus. Não há palavras para agradecer todo o apoio e confiança depositada durante toda minha vida.

Aos meus amigos de uma vida inteira, Arthur, Laura e Sarah, por ainda serem minha maior fonte de inspiração e confiança, por todo o apoio, risadas e conselhos, mesmo de tão longe.

Aos amigos Rafael, Franciéle e Vanilce, por cada hora dedicada a me ouvir, me apoiar e muitas vezes acalmar, por todo carinho e amizade, sou imensamente grata por ter vocês em minha vida.

Aos amigos que tive o prazer de conquistar durante estes anos na UNESP, e que me ajudaram a trilhar este caminho.

Aos funcionários e técnicos do CEA – Centro de Estudos Ambientais, que me deram todo o suporte para realizar este trabalho, em especial, a Eleni, pela paciência e ensinamentos no laboratório.

Agradeço também a CNPq (Processo: 165533/2013-7), pelo apoio financeiro, a seção técnica de pós-graduação IGCE/UNESP, ao Laboratório de Hidrogeologia e Hidroquímica do Departamento de Geologia Aplicada do IGCE/UNESP, ao Prof. Dr. Chang Hung, e aos funcionários da Fazenda Mariane, todos de alguma forma, tiveram um papel essencial na realização deste trabalho.

À todos aqueles que, embora não citados, participaram de alguma forma nesta importante etapa da minha vida.

RESUMO

A hidroquímica vem sendo utilizada como ferramenta para avaliar se a qualidade das águas sofre alteração devido a ação antrópica, bem como estabelecer quais as interações existentes entre água/rocha-solo, e que fornecem as características finais das águas superficiais. Inserida na UGRHI-13, a sub-bacia do Alto Jacaré Pepira/SP foi selecionada em função de sua complexidade geológica e por representar uma importante área de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG), na qual os recursos hídricos representam uma importante atração turística, especialmente para a cidade de Brotas (SP). Foram coletadas 17 amostras de águas superficiais em duas campanhas de amostragem, a primeira entre os dias 10 a 30 do mês de julho de 2013, e a segunda entre os dias 18 de março à 1º de abril de 2014, com o objetivo de se determinar o IQA (Índice de Qualidade de Águas), bem como avaliar sua composição química e estabelecer os processos geoquímicos responsáveis pela sua composição. Os resultados de IQA foram comparados com dois pontos monitoramento da CETESB no Rio Jacaré-Pepira, e indicaram que a qualidade da água pode ser considerada “boa”, com valores de IQA que variam de 63 a 82 na campanha de verão, e 59 a 75 na campanha de inverno. A presença de HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} como íons predominantes é compatível com o intemperismo de rochas basálticas e areníticas, presentes nas formações Serra Geral e Botucatu/Pirambóia, constituintes do arcabouço geológico local. Em função dessa composição, as águas foram classificadas como bicarbonatada-cálcica ou magnésiana. A avaliação global das amostras possibilitou a constatação da pequena influência exercida pela ação antrópica na composição química das águas, refletida nos valores elevados de IQA, e pelas baixas concentrações de Cl^- e NO_3^- , sendo a dissolução de minerais do substrato geológico a principal fonte dos elementos dissolvidos nas águas superficiais na Bacia do Alto Jacaré-Pepira. Os valores encontrados para as razões isotópicas ($\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$), indicam origem meteórica para as águas da sub-bacia do Rio Jacaré-Pepira, distinguindo-se a contribuição das águas subterrâneas na primeira campanha, caracterizadas por uma composição isotópica homogênea, enquanto na segunda campanha observa-se uma contribuição devido a precipitação, caracterizada pela dispersão nas razões isotópicas.

Palavras-chave: hidroquímica, IQA, qualidade da água, isótopos ambientais, Rio Jacaré-Pepira

ABSTRACT

Hydrochemical studies in catchments has been used with the main purpose to evaluate the water quality, as well as establishing the water/rock-soil interactions which are responsible for printing the main chemical characteristics to surface water. Inserted in UGRHI-13, the watershed of Alto Jacaré-Pepira/SP was selected due to its geological complexity and location in the recharge area of the Guarani Aquifer System (GAS), also because water resources are an important tourist attraction, especially for the city of Brotas (SP). 17 samples of surface water were collected along two sampling campaigns, the first between days 10 to 30 of July 2013, and the second between days 18 March to 1 April 2014, in order to determine the WQI (Water Quality Index), as well as to evaluate its chemical composition and establish the geochemical processes responsible for their composition. The WQI results were compared with CETESB monitoring points located along the Jacaré-Pepira River, and indicated that the water quality can be considered "good", with WQI values ranging between 63 and 82 in the summer season, and 59-75 in the winter season. The presence of HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} ions as predominant is compatible with the weathered basalt and sandstone rocks, present in the Serra Geral and Botucatu/Pirambóia formations, constituents of the local geological framework. In common, all samples were classified as bicarbonate-calcic or magnesian. This study assessment of the samples allowed the observation of the small influence of human action on the chemical composition of the water, reflected in high levels of IQA, and the low concentrations of Cl^- and NO_3^- , and the dissolution of minerals from the geological substrate the main source of elements dissolved in surface water in the Upper Basin Jacaré-Pepira. The values found for the isotopic ratios ($\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$) indicate meteoric origin to the waters of the sub-basin of the Jacaré-Pepira River, distinguishing the contribution of groundwater in the first campaign, characterized by a homogeneous isotopic composition, while in the second year a contribution due to precipitation has been observed, characterized by dispersion in isotopic ratios.

Keywords: hydrochemistry, WQI, water quality, environmental isotopes, Jacaré-Pepira River.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Divisões da UGRHI-13, mostrando a localização da área de estudo, a sub-bacia do Rio Jacaré-Pepira (hachurada).....	16
Figura 3.2. Localização da sub UGRHI do Alto Jacaré-Pepira-SP	17
Figura 3.3. Série histórica de médias mensais de chuva da estação de Brotas (1972-1999); médias mensais de chuva na Fazenda Mariane (2012-2013)	18
Figura 3.4. Mapa geológico da sub-bacia do Alto Rio Jacaré-Pepira-SP	20
Figura 3.5. Mapa de uso e ocupação da terra na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira, com a indicação dos pontos amostrados.....	28
Figura 4.1. Representação do processo de infiltração da água no solo em uma bacia hidrográfica	38
Figura 4.2. Diversas fases do ciclo hidrológico.....	43
Figura 5.1. Fluxograma com as etapas desenvolvidas.....	44
Figura 5.2. Localização dos pontos de amostragem na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira-SP	46
Figura 5.3. Pontos de amostragem na campanha de inverno: a) Ponto A1; b) Ponto A2	49
Figura 5.4. Pontos de amostragem na campanha de inverno: c) Ponto A4 e d) Ponto A5	49
Figura 5.5. Pontos de amostragem na campanha de verão: e) Ponto B2 e f) Ponto B5.....	49
Figura 5.6. Pontos de amostragem na campanha de verão: g) Ponto C2 e h) Ponto C6.....	50
Figura 5.7. Garrafa de Van Dorn utilizada na coleta das amostras de águas superficiais	50
Figura 5.8. Sonda Multiparâmetros YSI, modelo 556 MP	51
Figura 5.9. Equipamentos utilizados na determinação dos parâmetros para o IQA a) amostras sendo preparadas para análise dos Coliformes Totais e <i>E. Coli</i> ; b) equipamento BonkTrack utilizado para medir a DBO _{5,20} ; c) aparelho turbidímetro da marca Hach; d) balança de precisão utilizada na pesagem dos resíduos de sólidos suspensos totais	52
Figura 5.10. Processo de medição do nitrogênio total: a) digestão; b) destilação e c) titulação	53
Figura 5.11. Equipamentos para análise do fósforo total a) Kit de análise do fósforo da Merk b) Espectrofotômetro SPEKOL-1500.....	54
Figura 6.1. Comparação da temperatura da água nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno).....	62
Figura 6.2. Comparação do pH nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno).....	63
Figura 6.3. Comparação do oxigênio dissolvido nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno).....	63
Figura 6.4. Comparação da condutividade elétrica nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno).....	64
Figura 6.5. Comparação dos sólidos totais dissolvidos nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno)..	65
Figura 6.6. Comparação da turbidez nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno)	66
Figura 6.7. Variação da cor nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno).....	67
Figura 6.8. Comparação do fósforo total nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno)	68
Figura 6.9. Comparação do nitrogênio total nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno)	69
Figura 6.10. Comparação da DBO nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno).....	70
Figura 6.11. Comparação coliformes totais nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno)	71
Figura 6.12. Comparação dos <i>E. Coli</i> nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno).....	72

Figura 6.13. Valores do Índice da Qualidade da Água (IQA) nas duas campanhas de amostragem e a classificação adotada pela CETESB.....	72
Figura 6.14. Mapa de distribuição espacial do IQA na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira durante as campanhas de inverno e verão.....	73
Figura 6.15. Série temporal dos resultados do IQA do monitoramento da CETESB (PPEP03500 e JPEP03600) e resultado das médias do IQA na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira (AJP) na primeira (a) e segunda (b) campanha de amostragem.....	75
Figura 6.16. Gráfico com os erros do balanço iônico (%) durante as campanhas de verão e inverno.....	78
Figura 6.17. Mapa da distribuição espacial da condutividade elétrica (CE) nas duas campanhas de amostragem.....	79
Figura 6.18. Correlação entre condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD) na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b).....	80
Figura 6.19. Valores de pH e sua respectiva formação geológica nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno).....	80
Figura 6.20. Classificação das águas superficiais de acordo com o diagrama de Piper: (a) inverno e (b) verão..	82
Figura 6.21. Mapa da distribuição espacial do cálcio (Ca^{2+}) na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira.....	83
Figura 6.22. Correlação entre condutividade elétrica (CE) e o cálcio (Ca^{2+}) na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b).....	84
Figura 6.23. Mapa da distribuição espacial da alcalinidade (HCO_3^-) na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira.....	85
Figura 6.24. Correlação entre condutividade elétrica (CE) e alcalinidade (HCO_3^-) na campanha de inverno (a) e na campanha de verão(b).....	86
Figura 6.25. Correlação entre cálcio (Ca^{2+}) e bicarbonato (HCO_3^-) na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b).....	86
Figura 6.26. Mapa da distribuição espacial do magnésio (Mg^{2+}) na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira.....	87
Figura 6.27. Correlação entre magnésio (Mg^{2+}) e alcalinidade (HCO_3^-) na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b).....	88
Figura 6.28. Mapa da distribuição espacial do nitrato (NO_3^-) na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira.....	88
Figura 6.29. Correlação entre condutividade elétrica (CE) e nitrato (NO_3^-) na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b).....	89
Figura 6.30. Mapa da distribuição espacial do cloreto (Cl^-) na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira.....	90
Figura 6.31. Correlação entre condutividade elétrica (CE) e cloreto (Cl^-) na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b).....	90
Figura 6.32. Correlação entre nitrato (NO_3^-) e cloreto (Cl^-) na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b).....	91
Figura 6.33. Gráfico de razão $r\text{HCO}_3^-/\text{Na}^+ \times r\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b).....	92
Figura 6.34. Gráfico de razão $r\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}/ r\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ na campanha de inverno (b) e na campanha de verão (b) ..	93
Figura 6.35. Resultados dos isótopos de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ das amostras coletadas e das amostras de água subterrânea.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Qualidade da água de um rio e maiores campos científicos de estudo	30
Tabela 4.2. Peso dos parâmetros n cálculo do IQA	33
Tabela 4.3. Classificação das águas segundo IQA	33
Tabela 4.4. Marcas litológicas em composições de água	33
Tabela 5.1. Tabela dos tipos de cobertura da terra em cada ponto de amostragem segundo mapa de uso e ocupação da terra (Figura 3.5).....	46
Tabela 5.2. Tabela de caracterização visual do entorno de cada ponto de amostragem	47
Tabela 6.1. Resultados dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e IQA (1ª campanha).....	60
Tabela 6.2. Resultados dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e IQA (2ª campanha).....	61
Tabela 6.3. Resultados das Análises Químicas – Condutividade elétrica (CE), pH, alcalinidade, ânions e erro do balanço iônico (1ª campanha).....	76
Tabela 6.4. Resultados das Análises Químicas – Cátions e Metais (1ª campanha)	76
Tabela 6.5. Resultados das Análises Químicas – Condutividade elétrica (CE), pH, alcalinidade, ânions e erro do balanço iônico (2ª campanha).....	77
Tabela 6.6. Resultados das Análises Químicas – Cátions e Metais (2ª campanha)	77
Tabela 6.7. Tabela com as razões iônicas (meq L ⁻¹) nas campanhas de inverno e verão.....	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1. Atividades de campo	48
Quadro 5.2. Pontos de coleta e suas coordenadas em UTM.....	48
Quadro 5.3. Métodos dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos	54
Quadro 5.4. Métodos das análises químicas.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
APA	Área de Preservação Permanente
APHA	American Public Health Association
AWWWA	American Water Works Association
BH-TJ	Bacia Hidrográfica – Tietê-Jacaré
CE	Condutividade Elétrica
CEA	Centro de Estudos Ambientais
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CRDS	Espectrometria de Cavidade do Laser Ring-Down
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
E. Coli	Escherichia coli
EPA	Environmental Protection Agency
FEHIDRO	Fundo Estadual de Recursos Hídricos
GMWL	Global Meteoric Water Line
GNIP	Global Network of Isotopes in Precipitation
GPS	Global Positioning System
IAEA	International Atomic Energy Agency
IAP	Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Cromatografia de Iônica
ICP-OES	Espectrometria de Emissão Óptica com Fonte de Plasma de Argônio Indutivo
ICTEM	Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município
IET	Índice do Estado Trófico
IGCE	Instituto de Geociências e Ciências Exatas

IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
IQA	Índice de Qualidade de Água
IRMS	Espectrometria de Massa da Razão Isotópica
IVA	Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas
LAS	Espectrometria de Absorção Laser
NBR	Norma Brasileira
NMP	Número Total Permitido
NSF	National Sanitation Foundation
OA-ICOS	Espectrometria laser
OD	Oxigênio Dissolvido
OMS	Organização Mundial da Saúde
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
pH	Potencial Hidrogeniônico
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIGRH	Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo
SMEWW	Standart Methods for the Examination of Water & Wastewater
SST	Sólidos Suspensos Totais
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNESP	Universidade Estadual “Júlio Mesquita Filho”
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbidez
UTM	Universal Transversa de Mercator
VMP**	Valor Máximo Permitido
VPM*	Valor Mínimo Permitido
VSMOW	Viena Standard Mean Ocean Water
WMO	World Meteorological Organization

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	3
RESUMO	4
ABSTRACT	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE QUADROS	8
LISTA DE ABREVIATURAS	9
SUMÁRIO	11
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
3.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO	19
3.1.1 FORMAÇÃO PIRAMBÓIA	20
3.1.2 FORMAÇÃO BOTUCATU	21
3.1.3 FORMAÇÃO SERRA GERAL	22
3.1.4 FORMAÇÃO ADAMANTINA	23
3.1.5 FORMAÇÃO ITAQUERI	24
3.2 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEOS	24
3.2.1 AQUÍFERO CENOZÓICO	25
3.2.2 SISTEMA AQUÍFERO BAURU	26
3.2.3 AQUÍFERO SERRA GERAL	26
3.2.4 SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG)	26
3.3 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA	27
4. COMPOSIÇÃO E QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	29
4.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)	31
4.2 GEOQUÍMICA DE ÁGUAS SUPERFICIAIS	35
4.2.1 PROCESSOS HIDROGEOQUÍMICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS	36
4.3 ISÓTOPOS AMBIENTAIS	39
4.3.1 USO DE ISÓTOPOS AMBIENTAIS EM ESTUDOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	39
5. MATERIAIS E MÉTODOS	44
5.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	45
5.2 LEVANTAMENTOS DE CAMPO	45
5.2.1 CAMPANHAS DE AMOSTRAGEM	47
5.2.2 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA ANÁLISE	51
5.3 ATIVIDADES LABORATORIAIS	52
5.4 BALANÇO IÔNICO	56
5.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS DE CAMPO	56
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	59

6.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)	59
6.1.1 TEMPERATURA	62
6.1.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH)	62
6.1.3 OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)	63
6.1.4 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE)	64
6.1.5 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (STD)	65
6.1.6 TURBIDEZ	65
6.1.7 COR	66
6.1.8 FÓSFORO TOTAL	67
6.1.9 NITROGÊNIO TOTAL	68
6.1.10 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)	69
6.1.11 COLIFORMES TOTAIS	70
6.1.12 COLIFORMES TERMOTOLERANTES (E. COLI)	71
6.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA SUB-BACIA DO ALTO JACARÉ-PEPIRA	72
6.3 HIDROQUÍMICA DE ÁGUAS SUPERFICIAIS	75
6.3.1 BALANÇO IÔNICO	78
6.3.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	78
6.3.2.1 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE), SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (STD) E POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH)	79
6.3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	81
6.3.3.1 CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA	81
6.3.3.2. AVALIAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA	83
6.3.4 RAZÕES IÔNICAS	91
6.4 ISÓTOPOS AMBIENTAIS	93
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	96
7.1 QUALIDADE DA ÁGUA	96
7.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA	96
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	99

1. INTRODUÇÃO

Diante da imensidão do território nacional e do déficit de políticas públicas para o meio ambiente, estudos voltados para a compreensão dos processos que levam à degradação ambiental, principalmente de corpos d'água, tem ganhado cada vez mais espaço nas discussões sobre a sustentabilidade dos recursos hídricos e, nesse sentido, a busca por alternativas de manejo sustentável dos recursos hídricos, que considerem o conjunto “qualidade, quantidade e disponibilidade”, são fundamentais.

Para a promoção de uma gestão integrada dos recursos hídricos, é essencial o conhecimento sobre os meios superficiais e subterrâneos, como um sistema integrado, dinâmico e complexo. Tal conexão deve ser considerada nos estudos sobre planejamento, recuperação e preservação dos recursos hídricos e ambientais, uma vez que as interferências em um destes meios podem acarretar consequências em todo o sistema (CASTANY, 1971; WINTER et al, 1971).

A composição química das águas superficiais é controlada por inúmeros processos naturais que ocorrem no interior da bacia hidrográfica, os quais incluem: a composição das águas de alimentação dos cursos d'água, que podem estar associada a dissolução dos minerais presentes nas rochas que constituem os aquíferos (fluxo de base), ou da composição atmosférica carregada pelas águas da chuva; dos processos intempéricos (intemperismo físico e químico), biológicos (cobertura vegetal, presença de organismos), geomorfológicos (variações de relevo), climáticos (temperatura, precipitação, evaporação), geológicos e pedológicos (espécies minerais, tipos de solos), químicos (solubilidade dos minerais), além da ação antrópica.

O estudo integrado de uma bacia hidrográfica, envolvendo dados hidrológicos, hidrogeoquímicos, geoquímicos e mineralógicos, pode fornecer subsídios para a compreensão dos processos responsáveis pela composição química final da água.

Dessa forma, a necessidade de estudos a respeito dessas questões ambientais voltadas à gestão integrada dos recursos hídricos, como é o caso da sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira (SP), se torna cada vez mais urgente, já que tanto esta como outras bacias do Estado de São Paulo têm sofrido com a ocupação urbana, exploração intensiva, bem como práticas agrícolas não sustentáveis em seu entorno. A seleção da área também é justificada pela sua localização em Área de Preservação Permanente (APA), de grande complexidade geológica, situada sob uma importante área de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG), o qual os recursos hídricos representam uma importante atração turística, especialmente para a cidade de Brotas (SP).

Nesse sentido, este trabalho busca sanar uma das questão chave na preocupação com os recursos hídricos, através de técnicas de verificação da qualidade da água, por meio da utilização do IQA (Índice de Qualidade da Água), avaliando a qualidade físico-química e microbiológica das águas superficiais da sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira (SP); e o no uso de técnicas hidroquímicas, para entender os processos de interação água/rocha que imprimem as características físico-químicas finais observadas nas águas superficiais, por meio da avaliação da sua composição química, com base nas concentrações dos íons predominantes.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste estudo é a caracterização físico-química e microbiológica das águas superficiais da sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira (SP), avaliando os processos naturais responsáveis pela sua composição e as possíveis fontes responsáveis por alterações na sua qualidade, auxiliando, dessa maneira, na busca por soluções para a melhor gestão dos recursos hídricos.

Visando este objetivo maior, o estudo se divide em seis objetivos complementares abaixo relacionados:

- i. Aumentar a malha de monitoramento de qualidade da água na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira (SP), além daqueles já monitorados pela CETESB na bacia do Rio Jacaré-Pepira, determinando quantitativamente os parâmetros físico-químicos e microbiológicos;
- ii. Avaliar as características hidroquímicas das águas superficiais, e os processos de interação água/rocha, que imprimem as características físico-químicas na mesma;
- iii. Avaliar a variação sazonal da qualidade físico-química e microbiológica das águas superficiais em diferentes estações (verão e inverno);
- iv. Calcular o IQA (Índice de Qualidade da Água) para essa sub-bacia;
- v. Comparar os dados obtidos com aqueles vigentes da legislação ambiental, em especial a Resolução CONAMA n° 357/2005.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudos situa-se na Bacia Hidrográfica do Rio Tietê-Jacaré (BH-TJ), localizada na porção central do Estado de São Paulo, e definida como Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos-13 (UGRHI-13) pela Lei nº 9.034/94 de 27/12/1994, que dispôs sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Essa UGRHI, estende-se por 15.918,33 km², e foi dividida em sub-bacias a partir de critérios hidrológicos (Figura 3.1), com seus limites definidos a partir dos principais divisores das bacias de captação dos rios de maior porte. Compreende as sub-bacias dos rios Tietê, Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira (IPT, 2010), essa última a área de estudo.

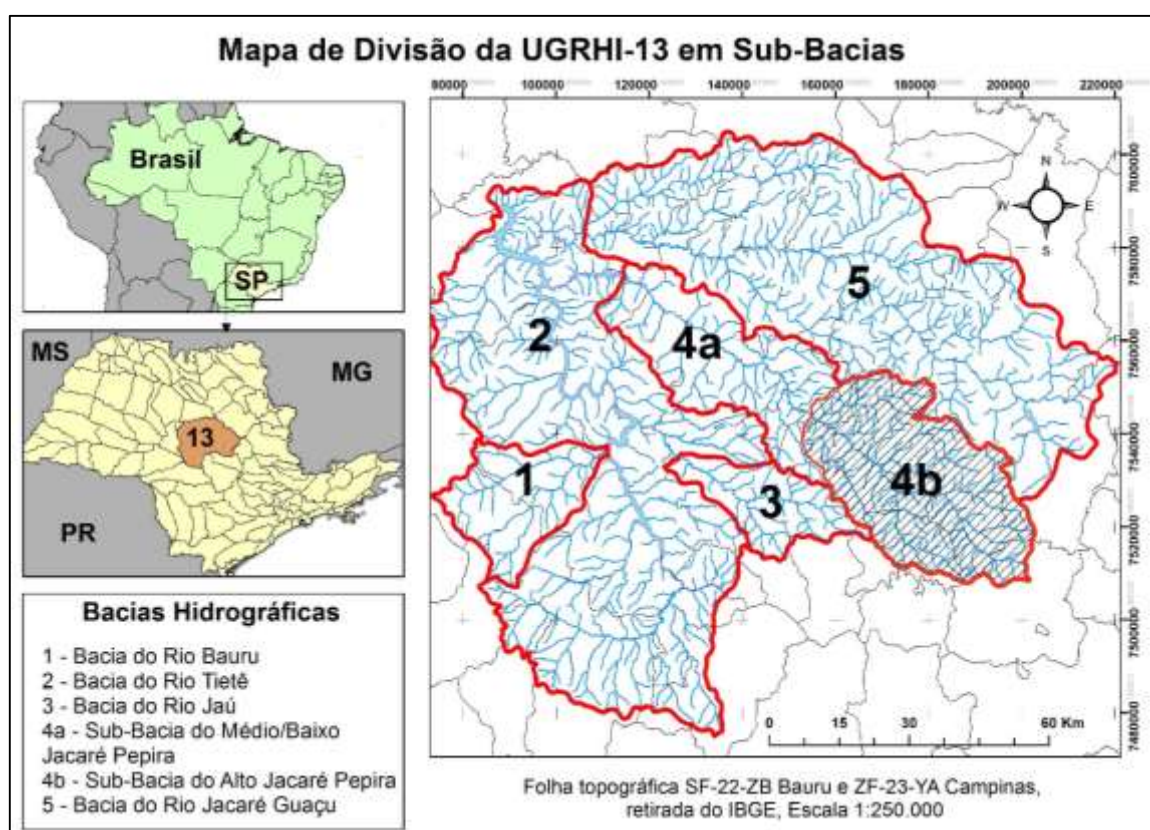


Figura 3.1. Divisões da UGRHI-13, mostrando a localização da área de estudo, a sub-bacia do Rio Jacaré-Pepira (hachurada)

A sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira-SP se estende por uma área de 1.411,08 km², ocupando 8,86% da área da UGRHI-13, abrangendo os municípios de São Pedro, Torrinha, Brotas, Dourados, Dois Córregos, Ribeirão Bonito e Itirapina (Figura 3.2). A nascente principal do rio, que dá nome a sub-bacia, está localizada na Serra de Itaqueri, próxima à divisa dos municípios São Pedro/ Itirapina/ Brotas, a uma altitude aproximada de 960 metros, e deságua no rio Tietê, no município de Ibitinga, situado a aproximadamente 400 metros acima do nível

médio do mar, apresentando, portanto ao longo do seu curso um desnível de quase 500 metros (IPT, 2010).

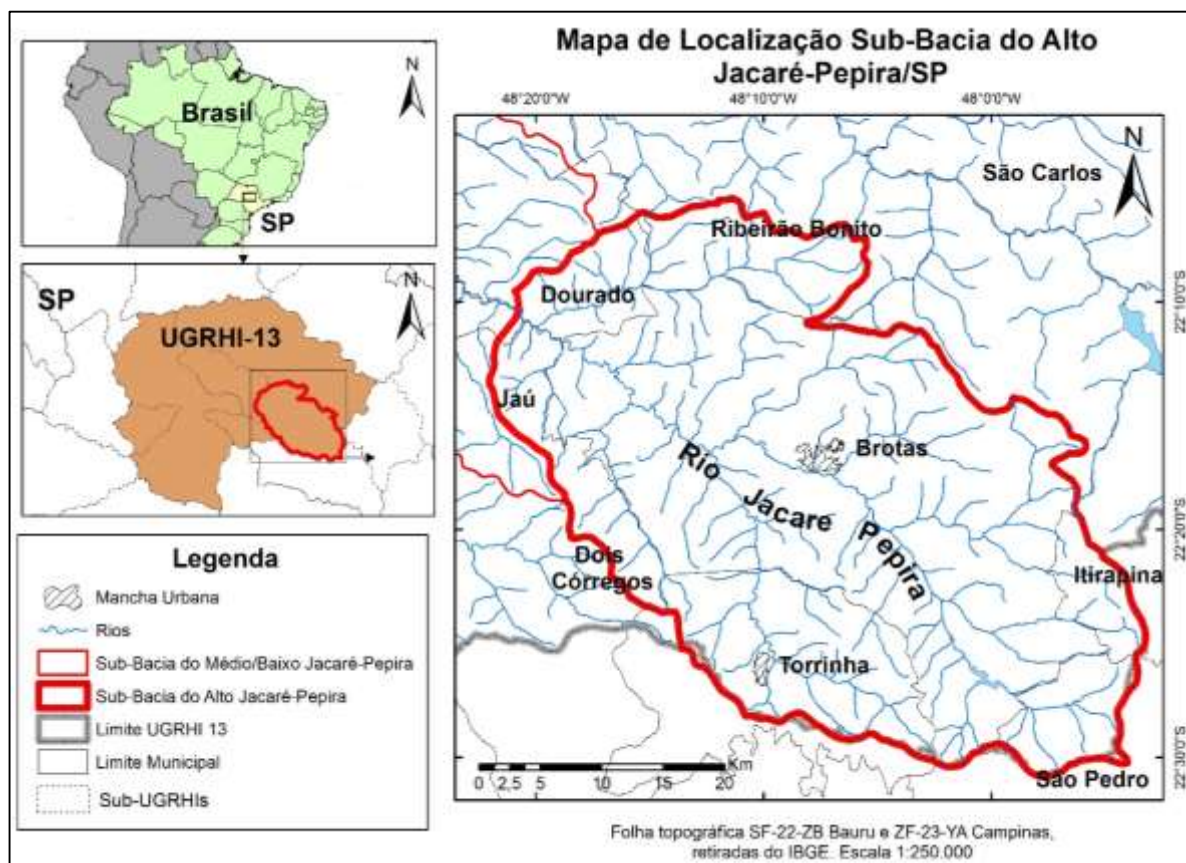


Figura 3.2. Localização da sub UGRHI do Alto Jacaré-Pepira-SP

A população total dos municípios situados na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira é de 140.000 habitantes aproximadamente (IBG, 2010). Dentre as principais atividades agrícolas destacam-se as culturas de laranja, cana-de-açúcar, reflorestamento e pastagem. Em relação as atividades industriais, as mais relevantes são a sucroalcooleira, mineração, fundição, refino de óleos vegetais e calçados (CETESB, 2007).

O clima da região, pela classificação de Köppen, pode ser definido como tropical úmido, com verão chuvoso (de outubro a março) e inverno seco (de abril a setembro). A precipitação média anual varia entre 1.100 e 1.400 mm, sendo julho o mês mais seco (30 mm) e dezembro o mês mais chuvoso (250 mm). A temperatura média anual varia entre 21°C e 23°C. O mês com temperatura média mais alta é fevereiro (25,1°C) e o de temperatura média mais baixa é julho (18,7°C) (IPT, 2010).

Com base na série histórica das precipitações médias mensais observadas na estação localizada no Município de Brotas (Estação D5-078), entre os anos de 1972 a 1999, obtidos

junto ao banco de dados pluviométricos e fluviométricos do Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – SIGRH (2005), observa-se que o regime pluviométrico na área é caracterizado por duas estações: uma chuvosa (meses de maior índice pluviométrico: dezembro (237,8 mm), janeiro (237,3 mm) e fevereiro (182,87 mm)) e outra mais seca (meses com menor índice pluviométrico: junho (45,27 mm), julho (37,87) e agosto (31,76 mm)).

Dados mais recentes de precipitação (2012-2013), obtidos a partir de um pluviômetro instalado em uma propriedade rural situada na área de estudo (de longitude 776593 e latitude 7538426, zona 22k UTM), mostram que os meses com maior índice pluviométrico foram fevereiro (198,0 mm) e maio (179,0), e os meses com menor índice pluviométrico foram julho (19,0 mm) e agosto (0 mm).

O volume de precipitação durante os meses que ocorreram os trabalhos de campo (julho/2013 e março/2014), estavam abaixo da média, como pode ser visto na figura 3.3.

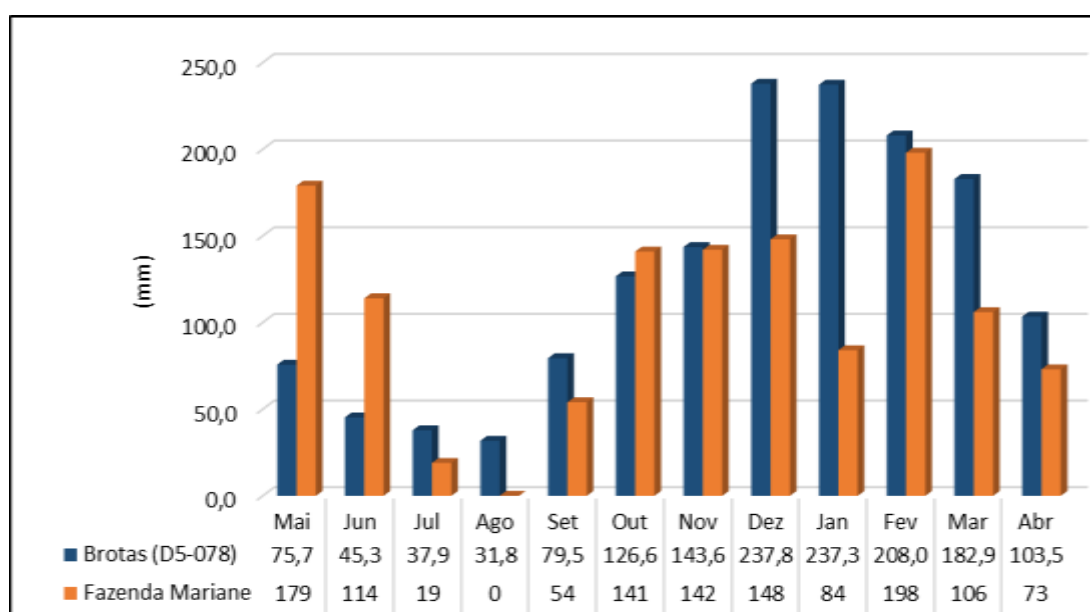


Figura 3.3. Série histórica de médias mensais de chuva da estação de Brotas (1972-1999); médias mensais de chuva na Fazenda Mariane (2012-2013)

Fonte: SIGRH (2010) e Fazenda Mariane (Informação Pessoal)

Na área de estudo ocorrem seis grupos de solos, a saber: Planossolos, Litólicos e Cambissolos, Areias Quartzosas, Podzólico Vermelho-Amarelo abrupto e não abrupto textura média, Latossolo Vermelho-Escuro textura média e Latossolo Vermelho-Amarelo textura média e Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada (IPT, 2007). Em relação à cana-de-açúcar,

uma das principais atividades agrícolas da área, os grupos Planossolos e Areias Quartzosas são àqueles que apresentam menos potencial para a expansão desta monocultura (PRADO, 2005).

Segundo o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981) a sub-bacia do Jacaré-Pepira possui mais de 2/3 da sua área sobre a Província de Cuestas Basálticas, com apenas o seu terço final assentado sobre o Planalto Ocidental. As nascentes dos principais cursos d'água configuram vários riachos, que caem por escarpas festonadas (4,7%), encostas desfeitas em anfiteatro separados por espigões angulosos (6,1%), formando vales bastantes fechados, com declividade superior a 30%, apresentando drenagem de alta densidade. Após este trecho, o rio Jacaré-Pepira corre sobre uma planície aluvial composta de terreno baixo e plano sujeito a inundações periódicas, que está separada da principal planície aluvial no final do rio por uma sequência de colinas amplas, colinas médias e mesas basálticas. As colinas amplas apresentam superfícies de aproximadamente 4 km² e com leve inclinação formando vales abertos com drenagem de densidade baixa, enquanto que as colinas médias possuem áreas menores (de 1 a 4 km²) e mais inclinadas formando vales mais fechados com drenagem de baixa a média densidade. Há ainda morros testemunhos arredondados formando mesas basálticas, locais escarpados com exposição de rochas formando vales fechados com drenagem de alta densidade produzindo um longo trecho de corredeiras no rio (IPT, 1981).

3.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO

A sub-bacia do Rio Jacaré-Pepira está assentada geologicamente sobre os sedimentos clásticos, predominantemente arenosos, das Formações Botucatu e Pirambóia e sobre as rochas ígneas basálticas da Formação Serra Geral, da Bacia Sedimentar do Paraná. Todas essas unidades possuem idades mesozoicas (Figura 3.4). Além dessas unidades, afloram rochas sedimentares pertencentes ao Grupo Bauru, sedimentos pertencentes à Formação Itaqueri e depósitos correlatos, situados nas serras de São Carlos, os primeiros de idade cretácea, e a segunda unidade de idade cenozoica, e pelos sedimentos aluvionares quaternários associados à rede de drenagem (IPT, 2010).

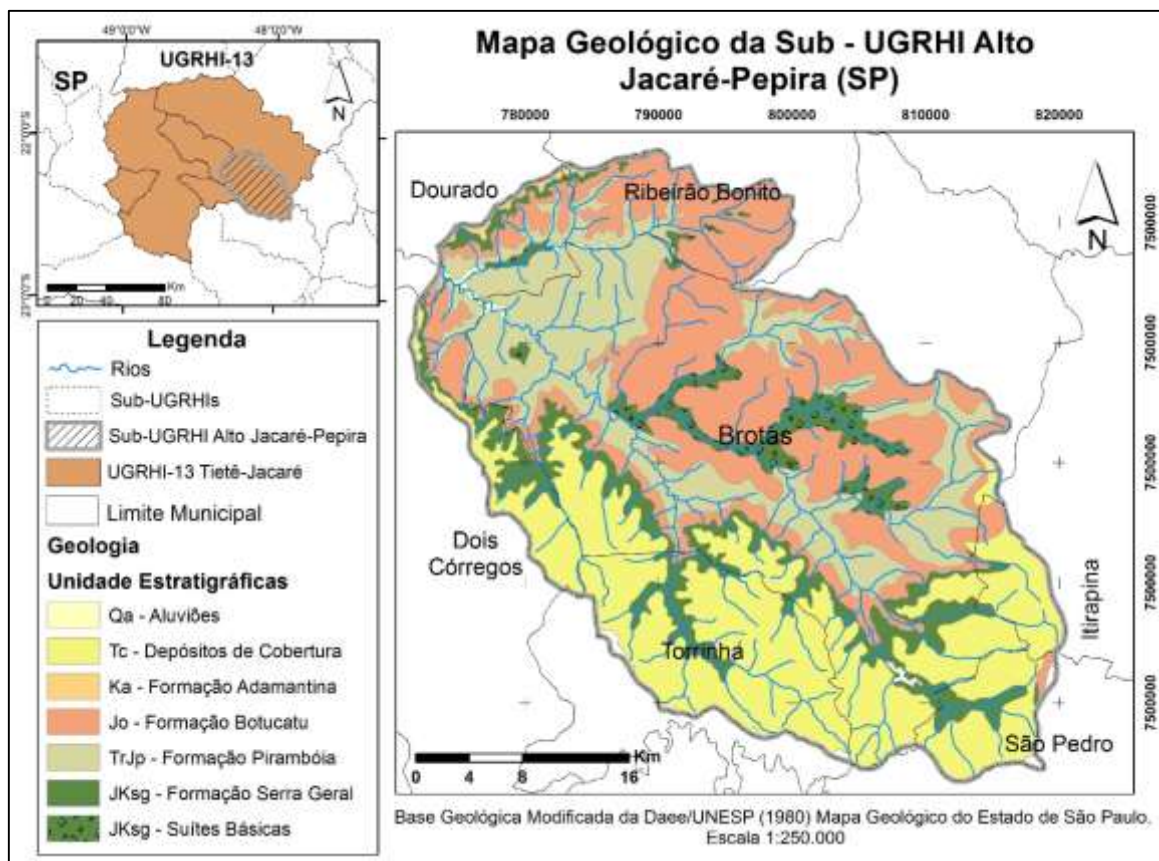


Figura 3.4. Mapa geológico da sub-bacia do Alto Rio Jacaré-Pepira-SP

3.1.1 FORMAÇÃO PIRAMBÓIA

A Formação Pirambóia foi reconhecida inicialmente por Washburne (1930), como a unidade basal dos arenitos com características eminentemente fluviais, sotopostos aos basaltos, que a denominou de *Camadas Pirambóia*. Posteriormente, Soares (1973, 1975) estudando a unidade na porção norte da Bacia do Paraná, subdividiu esses arenitos mesozoicos em Formação Pirambóia (inferior) e Formação Botucatu (superior). Segundo o autor, a Formação Pirambóia é composta por depósitos arenosos e areno-argilosos de ambiente fluvial meandrante psamítico, que ocorrem em todo o centro-leste do Estado de São Paulo, assentados sobre a discordância permo-eotriássica, diretamente acima dos sedimentos do Grupo Estrada Nova e Formação Corumbataí.

Segundo Caetano-Chang (1997), a Formação Pirambóia, na região centro-leste do Estado de São Paulo, é composta predominantemente por fácies eólicas de dunas, interdunas (principalmente úmidas e secundariamente secas e aquáticas) e lençóis de areia, por vezes em interação com depósitos de canais fluviais e planícies de inundação. Segundo a autora, a unidade é formada por arenitos em geral finos a muito finos, subfeldspáticos, portadores de

estratificações cruzadas de porte variável, em geral médio, e pacotes métricos subhorizontais de arenitos muito finos, siltsos, em geral intensamente bioturbados, ou preservando laminações paralelas formadas pela migração de ondulas eólicas. Na porção superior da unidade são reconhecidos depósitos de arenitos conglomeráticos de canais fluviais entrelaçados (Fácies Itirapina), associados a depósitos eólicos de arenitos finos a médios, com estratificações cruzadas planares de pequeno porte.

Mineralogicamente os arenitos da Formação Pirambóia são constituídos por quartzo, mineral predominante, que pode apresentar sinais de crescimento de sílica cristalina; feldspatos, representados por grãos de ortoclásios e plagioclásios alcalinos, possuindo alteração para caulinita e/ou ilita; além de fragmentos de rocha. O cimento é essencialmente formado por óxidos-hidróxidos de ferro e argilas autigênicas, preenchendo o arcabouço dos arenitos (WU & CAETANO-CHANG, 1992; CAETANO-CHANG & WU, 2006).

A região representa uma importante fonte de areias quartzosas para uso industrial, e suas camadas de arenitos representam a porção basal do Sistema Aquífero Guarani.

3.1.2 FORMAÇÃO BOTUCATU

A Formação Botucatu foi definida inicialmente por Gonzaga & Tompkins (1901), e sua área tipo está localizada na rodovia entre São Paulo e Botucatu, ao longo da Serra de Botucatu. Corresponde, em conjunto com a Formação Serra Geral, à Supersequência Gondwana III da Bacia Sedimentar do Paraná, segundo a concepção de Milani (1997).

O contato basal da Formação Botucatu com a Formação Pirambóia é marcado por uma discordância regional, caracterizada por uma mudança brusca de coloração e características dos arenitos, sobretudo com relação à dimensão dos estratos cruzados. O contato superior, com a Formação Serra Geral, é concordante e marcado pelo primeiro derrame vulcânico, com ocorrência de camadas do topo da Formação Botucatu interdigitadas aos basaltos da Formação Serra Geral (ZALÁN et al, 1987).

A Formação Botucatu é composta essencialmente por arenitos finos a grossos, de coloração avermelhada, foscos, bem arredondados e com alta esfericidade, dispostos em sets e/ou closets de estratificações cruzadas, planar ou acanaladas, de médio a grande porte. Os estratos cruzados são compostos na sua porção mais íngreme por lâminas alternadas de fluxo e queda livre de grãos que se interdigitam em direção a base com laminações transladantes cavalgantes (SCHERER, 1998).

Apresentam alternância de lâminas de arenitos finos e médios, resultando numa bimodalidade textural característica. Têm sido interpretados como depósitos residuais de dunas eólicas crescentes e lineares acumuladas em extenso mar de areia (*sand sea*). A ausência de depósitos de interdunas úmidos permite interpretar a Formação Botucatu como um sistema eólico seco (SCHERER, 1998).

Esta unidade é fonte de areias quartzosas para uso industrial e é explorada para a obtenção de lajes, utilizadas como piso ou revestimento, e blocos de alicerce para a construção civil. Os arenitos da Formação Botucatu constituem parte importante de uma das principais unidades aquíferas do continente sulamericano, o Sistema Aquífero Guarani, explotados em diversos Estados brasileiros (MILANI, 1997).

3.1.3 FORMAÇÃO SERRA GERAL

A primeira referência formal à Formação Serra Geral foi feita por White (1906), e sua área tipo foi descrita na Serra Geral do Planalto Meridional Brasileiro. A Formação Serra Geral, corresponde à Superseqüência Gondwana III, segundo a concepção de Milani (1997), resultado de intenso magmatismo fissural, representado na forma de uma cobertura de lavas, que pode alcançar cerca de 1.500 metros de espessura total, junto ao depocentro da bacia, associado a uma extensa rede de diques e múltiplos níveis de soleiras (Formação Serra Geral, intrusivas básicas), intrudidos na pilha sedimentar.

Os derrames assentam-se de maneira concordante sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu. Os principais litotipos da unidade são os basaltos toleíticos e os andesi-basaltos toleíticos, formados essencialmente por augita e pigeonita. Essas rochas perfazem aproximadamente 90% do volume total das rochas extrusivas. Subordinadamente, ocorrem rochas ácidas, como andesitos toleíticos, riocacitos e riolitos (PEATE et al, 1992; MARQUES & ERNESTO, 2004).

No Estado de São Paulo ocorrem essencialmente os basaltos da unidade básica-intermediária, constituídos por plagioclásio (essencialmente labradorita), piroxênio (augita e pigeonita), olivina, principalmente sob a forma de pseudomorfos, com porcentagem modal respectivamente de 25-50%, 20-40% e 4%. Como acessórios são reconhecidos magnetita e ilmenita em quantidade que variam de 4 a 10%, além de mesóstase (vítrea ou microgranular), que podem chegar a representar 40% do volume total nas rochas com textura intergranular (MACHADO et al, 2007). No limite entre cada derrame são reconhecidas zonas vesiculares, com espessuras variáveis, cujas vesículas são preenchidas por material secundário, formando

amígdalas de quartzo, calcita, zeólitas, fluorita e comumente argilas de coloração esverdeada, provavelmente do grupo da celadonita (MACHADO, 2007).

Datações ^{40}Ar - ^{39}Ar das rochas básicas, apontam para idades entre $138,4 \pm 1,3$ e $126,8 \pm 2$ Ma, indicando que o evento magmático durou cerca de 10 a 12 Ma, migrando de noroeste para sudeste (TURNER et al, 1994 e STEWART et al, 1996). Por outro lado, resultados geocronológicos, obtidos em associação com dados paleomagnéticos, indicam que a atividade magmática extrusiva ocorreu em cerca de 3 milhões de anos, concentrada por volta de 133 e 132 Ma (RENNE et al, 1992).

São reconhecidas inúmeras rochas intrusivas associadas a Formação Serra Geral, representadas por soleiras e diques de diabásio intrudidos nos sedimentos paleozóicos, especialmente nas formações Irati e Itararé, com espessuras que variam, normalmente, de 2 a 200 metros, tendo sido descritas seções de até 1.000 metros (ALMEIDA, 1986)

Datações ^{40}Ar - ^{39}Ar dessas rochas intrusivas, em diferente localidades, forneceram idades entre $127,7 \pm 4,6$ (TURNER et al, 1994) e $131,9 \pm 0,4$ (ERNESTO et al, 1999). Dados paleomagnéticos indicaram um intervalo de duração de atividade magmática na geração das soleiras menor que 2 Ma (ERNESTO et al, 1999).

3.1.4 FORMAÇÃO ADAMANTINA

Assentados de maneira discordante sobre os basaltos da Formação Serra Geral, encontram-se os sedimentos da Formação Adamantina, pertencente ao Grupo Bauru, constituído por uma sequência sedimentar de rochas siliclásticas de origem continental, depositadas no Cretáceo Superior (SOARES, 1975).

A Formação Adamantina é constituída por arenitos finos a muito finos que podem conter cimentação e nódulos carbonáticos, além de lentes de siltitos arenosos e argilitos, na forma de bancos maciços. Exibem grande variedade de estruturas sedimentares, caracterizadas pela presença de estratificações plano-paralela e cruzada de pequeno porte. A existência de variações regionais significativas, fez com que muitos estudiosos dividissem a formação Adamantina em sub-unidades de mapeamento, baseadas em diferenças petrográficas e estruturais (ALMEIDA, 1986)

Dentre as unidades do Grupo Bauru, a Formação Adamantina é aquela que apresenta a maior distribuição espacial, sendo encontrada nos níveis mais elevados do relevo, uma vez que foi totalmente removida pela erosão nos baixos vales dos principais rios. Suas rochas são em

geral pouco alteradas, destacando-se pela coloração bege ou creme, por vezes amarronzada clara, sendo por isto de fácil distinção das demais unidades do Grupo Bauru (SOARES, 1975).

3.1.5 FORMAÇÃO ITAQUERI

A Formação Itaqueri foi definida por Almeida & Barbosa (1953), a partir dos estudos de Setzer (1943), que distinguiu na região noroeste do Estado de São Paulo, uma divisão na série Bauru, que denominaram de Formação Itaqueri, constituída por camadas alternadas de arenitos com cimento argiloso, folhelhos e conglomerados.

Ponçano et al, (1981), descreve esta unidade como constituída por intercalações de arenitos, folhelhos e conglomerados. Os arenitos, têm granulometria variável, de muito fina e siltítica até grossa, são eventualmente silicificados, podendo ser arcoseanos, com grande variedade mineralógica. A matriz é argilosa e em pequena quantidade, o cimento de calcedônia, incluindo ainda óxido de ferro. Os conglomerados, constituem camadas com espessuras de até 5 metros, apresentam clastos bem classificados, com até 30 centímetros de diâmetro; compostos principalmente por basalto, tendo ainda quartzo, calcedônia, granito, quartzito, argilito, filito, pegmatito, sílex e folhelhos. As estruturas sedimentares, eventualmente caracterizadas, são a estratificação plano-paralela ou cruzada nos arenitos; disposição caótica dos clastos nos conglomerados e estratificação de corrente nos mais finos. Conforme Ponçano et al (1981), o ambiente é fluvial, com a deposição realizada em meio de alta energia, sujeito a bruscas mudanças de velocidade de transporte, sugestivo de conglomerados.

Sem registro fóssil, os elementos cronológicos seguros para a seu posicionamento estratigráfico são a escavação da Depressão Periférica - e eventos sincrônicos como a escavação do Vale do Rio Grande – como limite superior, e as rochas basálticas como limite inferior, situando a Formação Itaqueri entre o Cretáceo e o Paleógeno. Argilas para refratários são os principais recursos encontrados, sendo ainda referenciada a ocorrência de diamantes em depósitos aluvionares de rios que drenam esta unidade (PONÇANO et al, 1981).

3.2 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEOS

A UGRHI-13, com seus 15.918,33 km² possui como principais rios: Tietê, Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, e como reservatórios principais: Bariri, Ibitinga e Lobo. De acordo com Relatório da Situação da Bacia (2013), a vazão média ($Q_{\text{médio}}$) é de 97 m³/s, a vazão média mínima ($Q_{7,10}$) é de 40 m³/s e a vazão $Q_{95\%}$ é de 50 m³/s.

Também deve ser observado que as relações de demanda superficial vs $Q_{7,10}$ e demanda subterrânea vs reserva explotável, apresentaram valores muito próximos ao limite de criticidade (>50%). A demanda outorgada para água subterrânea tem sido bastante significativa na UGRHI 13 (em torno de 20% da demanda total) em comparação às demais UGRHIs do Estado.

Os dados de disponibilidade de água superficial da UGRHI-13 foram retirados do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), dos anos de 2004 a 2007, os quais foram obtidos pela metodologia de regionalização de vazões adotada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e usa os dados do ano base de 1987 (Relatório da Situação da Bacia, 2013).

A disponibilidade de água per capita apresenta tendência de redução ao longo dos anos principalmente devido ao crescimento populacional, já que a demanda que mais cresceu foi a urbana, motivo pelo qual a disponibilidade de água subterrânea sofreu maior impacto, ainda assim, existe uma grande diferença entre a demanda urbana outorgada e a estimada (Relatório da Situação da Bacia, 2013).

Os dados de disponibilidade de água subterrânea são obtidos através do seguinte cálculo (Equação 1):

$$\text{Reserva Explotável/População: } (Q_{95\%} - Q_{7,10})/n^{\circ} \text{ habitantes} \quad (1)$$

A área da UGRHI-13 está inserida na área de recarga do Sistema Aquífero Guarani, associada aos afloramentos das unidades geológicas que constituem essa importante unidade hidroestratigráfica do continente Sul Americano. Além dessa unidade são reconhecidos os seguintes aquíferos: Cenozóico, Sistema Aquífero Bauru, Aquífero Serra Geral (IPT, 2010).

3.2.1 AQUÍFERO CENOZÓICO

O Aquífero Cenozóico compreende os depósitos de idade cenozóica indiferenciados, englobando na área da UGRHI, as coberturas da Serra de São Carlos e a Formação Itaqueri. Caracteriza-se como uma unidade hidrogeológica de extensão limitada, sedimentar, permeável por porosidade granular, livre e descontínua. Como não possui caráter regional, suas características associam-se às formas de ocorrência e natureza locais dos sedimentos que a compõe, não havendo relatos de parâmetros hidráulicos do aquífero (IPT, 2010).

Apesar de alcançar espessura de até 150 m, as unidades cenozoicas, são exploradas apenas por poços rasos tipo cacimba, ou poços tubulares até 50 m de profundidade. São utilizados para demandas domésticas, uma vez que fornecem vazões de pequena ordem, entre 1,5 e 3,3 m³/h (IPT, 2010).

3.2.2 SISTEMA AQUÍFERO BAURU

O Sistema Aquífero Bauru caracteriza-se como uma unidade hidrogeológica sedimentar, permeável por porosidade granular, destacando-se pela sua extensa área de afloramento no Estado de São Paulo. Na área da UGRHI-13, compreende os sedimentos da Formação Adamantina, apresentando regionalmente comportamento de aquífero livre, com recarga natural diretamente de infiltração de água das chuvas. Os níveis d'água são relativamente rasos, acompanhando o relevo e com sentidos de fluxo principais rumo às drenagens (IPT, 2010). Segundo a CETESB (2010), a área aflorante do Aquífero Bauru na UGRHI-13 corresponde a 37% do total.

3.2.3 AQUÍFERO SERRA GERAL

Os basaltos da Formação Serra Geral constituem um aquífero de extensão regional. Os basaltos da Formação Serra Geral constituem um aquífero de extensão regional, porém com condições aquíferas restritas, definidas em função de descontinuidades (juntas, fraturas e falhas), e/ou pela presença de pacotes de arenitos inter-derrames. Como o fluxo das águas subterrâneas ocorre, essencialmente, nas fraturas das rochas, as quais são usualmente descontínuas, os parâmetros hidráulicos do aquífero (transmissividade, permeabilidade, porosidade) não possuem o mesmo significado que nos aquíferos granulares, não servindo, portanto, para previsões de disponibilidade hídrica. A vazão específica média é de 1,171 m³/h/m (0,063 a 13,365 m³/h/m) e as profundidades variam entre 45 e 202 m, com média de 99,2 m (IPT, 2010).

3.2.4 SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG)

O SAG é constituído pelas formações Botucatu e Pirambóia, e pode alcançar espessuras de até 450 metros nas áreas centrais da Bacia do Paraná. Na área da UGRHI-13, o SAG ocorre livre e confinado, com as áreas aflorantes ocupando 3.682,55 km² ou 31,20% da área total da UGRHI-13. Em relação à área total de afloramento no Estado de São Paulo corresponde à 15,67 % (IPT, 2010), denotando significativa expressão territorial proporcional (IPT, 2010).

O SAG também encontra-se confinado pelos basaltos da Formação Serra Geral. Apresenta características de unidade hidrogeológica sedimentar, permeável por porosidade granular, com substrato formado pelas camadas argilosas do Grupo Passa Dois e mergulhos

suaves no sentido oeste. Os poços do SAG cadastrados na UGRHI-13, localizados em suas porções livres, apresentam vazões entre 1,3 e 377 m³/h, com média de 75,7 m³/h. As vazões específicas resultantes variam de 0,184 a 8,314 m³/h/m, com média de 2,316 m³/h/m. As profundidades dos poços variam de 50 a 371 m (IPT, 2010).

3.3 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA

A UGRHI-13 é considerada em Industrialização, possui uma economia diversificada baseada na agricultura, indústrias em geral e no setor de serviços. Também possui vocação agrícola destinando grande parte da demanda de água para o setor rural (agroindústria), sendo considerada a quinta maior criadora de gado e suínos do Estado de São Paulo (IPT, 2010). Essas características são reforçadas com a avaliação da utilização e ocupação que se faz do terreno na área (Figura 3.5).

A UGRHI-13 apresenta 1.106 km² de vegetação natural remanescente que ocupa, aproximadamente, 9% da área da UGRHI. As categorias de maior ocorrência são Savana, Savana Florestada, Floresta Estacional Semidecidual e sua formação de vegetação secundária, e Formação Arbórea/Arbustiva-Herbácea em Região de Várzea. Na UGRHI-13 há ainda um total de 7 Unidades de Conservação, sendo 4 Áreas de Proteção Integral e 3 Estações Ecológicas (IPT, 2010).

De acordo com a figura 3.5, observa-se que a área da sub-bacia é predominantemente ocupada por campos antrópicos, na qual se sobressai em relação aos demais usos da terra, acompanhado da cultura perene e das áreas de mata. As áreas reflorestadas são escassas na sub-bacia, estando mais presentes na porção de montante.

A área urbana é representada pelas cidades de Torrinha e Brotas, ocupando uma pequena área da sub-bacia, entretanto a cidade de Brotas exerce grande influência no rio Jacaré-Pepira, uma vez que atravessa a cidade. A cultura de cana-de-açúcar é a mais significativa entre as demais culturas perenes da região, se sobressaindo sobre a cultura de *citrus* (laranja, tangerina e outros).

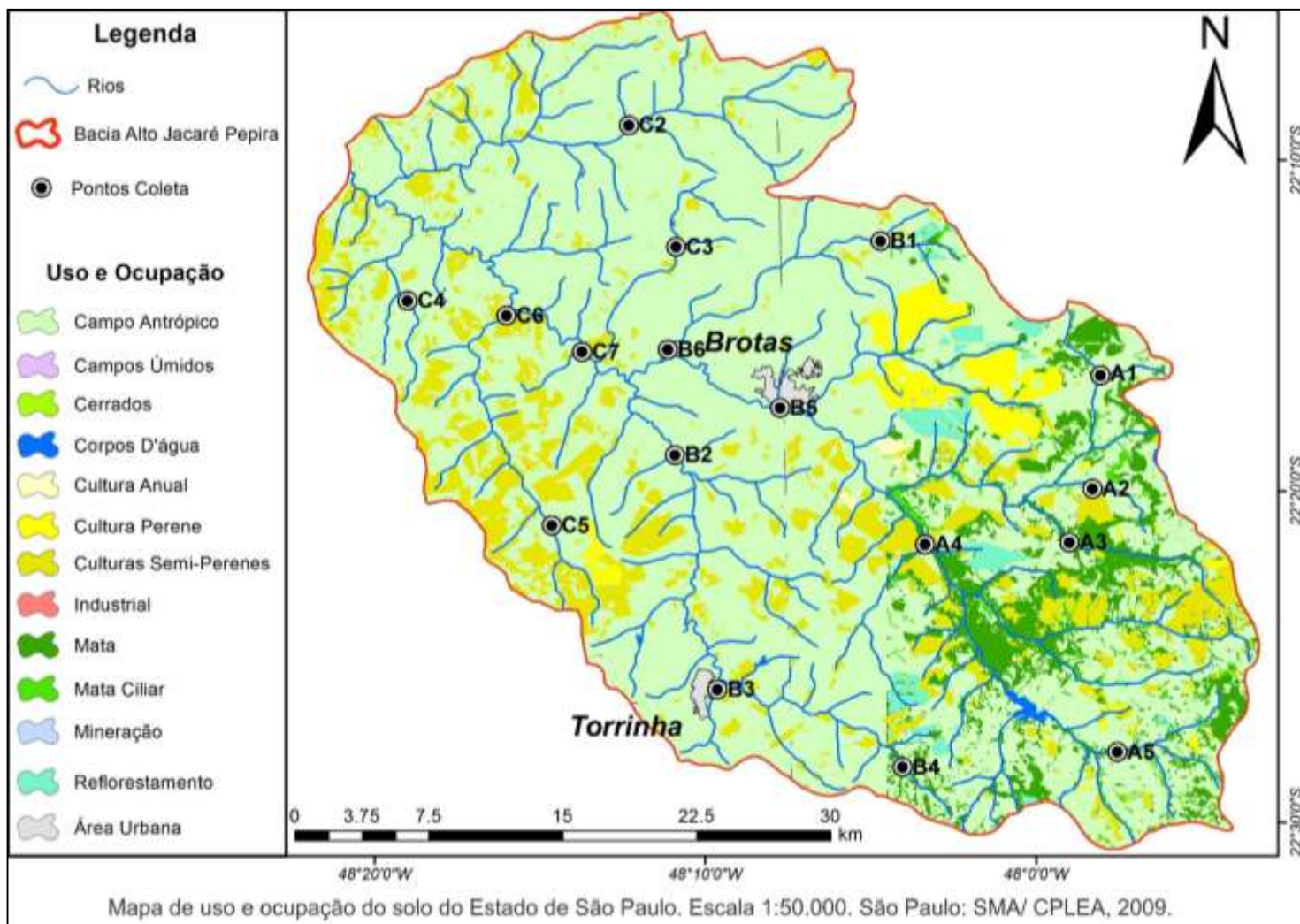


Figura 3.5. Mapa de uso e ocupação da terra na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira, com a indicação dos pontos amostrados.
Fonte: Adaptado de SMA (2009)

4. COMPOSIÇÃO E QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

Segundo Meybeck & Helmer (1992), a qualidade das águas superficiais está relacionada à geologia, ao tipo de solo, ao clima, ao tipo e quantidade de cobertura vegetal e a influência antrópica. A qualidade da água de um corpo hídrico pode ser definida em função da presença de substâncias inorgânicas ou orgânicas, em diferentes concentrações e especiações, e, conseqüentemente, pode sofrer variações espaciais e temporais, devido a processos internos e externos aos corpos d'água. Programas de monitoramento da qualidade da água de rios e corpos d'água vem sendo implantados gradativamente, especialmente devido a pressão de organizações nacionais e internacionais, entre elas a Organização Mundial da Saúde (OMS), que estabelece uma série de padrões e critérios para a potabilidade (ANA, 2005).

O Brasil vem produzindo, desde o início do século passado, legislação e políticas que buscam consolidar uma forma de valorização dos recursos hídricos (CETESB, 2010), dos quais destacam-se: a lei Federal nº 9.433 de 08/01/1997 da Política Nacional de Recursos Hídricos, que define os instrumentos para a gestão das águas; a Resolução CONAMA nº 357/2005, que fixa os padrões de qualidade para diferentes usos e classes e a Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde, que define os padrões de potabilidade para a água ser consumida pela população.

Segundo Branco (1991), a expressão “qualidade da água” não se refere a um grau de pureza absoluto, ou mesmo próximo do absoluto, mas sim a um padrão tão próximo quanto possível do “natural”, isto é, tal como se encontra nas nascentes, antes de sofrer influência antrópica. Além disso, há um grau de pureza desejável, o qual depende do seu uso, que inclui abastecimento, irrigação, dessetentação animal, industrial, pesca, lazer, entre outros.

As análises químicas das águas tiveram início com o estudo do Lago Léman, feitas por Tingry em 1808. Em 1924, com o compêndio CLARKE'S, de Geoquímica, nasce a era moderna da química das águas em escala mundial. A caracterização das águas tem continuamente evoluído, devido ao desenvolvimento, além da química analítica, de muitas outras ciências relacionadas com a água. Atualmente os estudos de qualidade da água são multidisciplinares e relacionam-se com diversos campos de pesquisa, entre eles a geociências, biociências e ciências da engenharia, como pode ser observado na Tabela 4.1.

De acordo com Toledo & Nicolella (2002) “*O uso de indicadores de qualidade de água consiste no emprego de variáveis, que se correlacionam com as alterações ocorridas na microbacia, sejam estas de origem antrópicas ou naturais*”. A resolução normativa do CONAMA nº 357 de 17 de Março de 2005 (BRASIL, 2005), estabelece a classificação das

águas superficiais, segundo a sua utilização, definindo os parâmetros de qualidade a serem atendidos, para cada classe de uso pretendido.

Tabela 4.1. Qualidade da água de um rio e maiores campos científicos de estudo

	Campo	Tópicos	Ponto de convergência
GEOCIÊNCIAS	Geoquímica	Origens/processos	Influências do pH e do potencial redox
			Especiação de compostos traços
	Geografia Física	Taxas de transporte	Dissolvidos vs. Particulados
			Variações de elementos maiores; Fluxos anuais, distribuição espacial
			Erosão química vs. mecânica
Hidrologia	Decomposição hidrográfica	Variações no regime de transporte de traço químicos	
BIOCIÊNCIAS	Oceanografia	Entrada aos oceanos e mares	Nutrientes; contaminantes; matéria orgânica; fluxos regionais e globais
	Biogeoquímica	Ciclagem de nutrientes	Entradas de C, N, P, Si
		Interação biológica	Deterioração da matéria orgânica
	Hidrobiologia	Qualidade do ambiente	Ciclos do Fe, Mn e S
		Qualidade externa	Faixas de concentrações
Ecotoxicologia	Bioacumulação	Qualidade externa	Estrutura: tempo/espacial
		Biomagnificação	Contaminantes; entradas e especiações; Concentrações extremas
ENGENHARIA	Engenharia Ambiental	Padrões de qualidade da água	Estrutura tempo/espacial
		Inventário de poluentes	Fontes difusas/pontuais
		Tendências	Fluxos e concentrações
	Engenharia Hidráulica	Taxa de recuperação	Perfis longitudinais
		Erosão em leitos de rios	Níveis de SST
	Assoreamento de reservatórios	Fluxos e regimes	

Fonte: MAYBECK & HELMER (1992), apud CUELBAS (2009)

Devido a importância da água para a sustentação da vida, associada principalmente aos seus múltiplos usos, surge a necessidade de se criar critérios e mecanismos de verificação da

sua qualidade, em função da utilização que será dada a água. Para isso existem diversos parâmetros de qualidade a serem respeitados.

4.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) foi criado em 1970 pelo *National Sanitation Foundation* (NSF), dos Estados Unidos, a partir de uma pesquisa de opinião realizada com especialistas em qualidade de águas. Nessa pesquisa, cada especialista indicou os parâmetros a serem avaliados, seu peso relativo e a condição em que se apresenta cada parâmetro (CETESB, 2010).

No Brasil, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), desde 1975, utiliza uma versão do IQA, adaptada da versão original do NSF. Nessa adequação feita pela CETESB, o parâmetro nitrato foi substituído por nitrogênio total, e o parâmetro fósforo total foi substituído por fósforo total, uma vez que nesse caso os rios se mostram comprometidos por esgotos domésticos, que são ricos em outras formas de nitrogênio, como nitrogênio orgânico e o amoniacal. Porém mantiveram-se os mesmos pesos ($w=0,10$) e curvas de qualidade estabelecidas pela NSF (CETESB, 2010).

Em outros países, o IQA é utilizado tomando como base os pesos e os parâmetros estabelecidos pela NSF, enquanto no Brasil se utilizam os pesos estabelecidos pela CETESB. Nos quase trinta anos que se seguiram, outros estados brasileiros adotaram esse índice como principal indicador da condição de seus corpos d'água.

A avaliação da qualidade da água obtida pelo IQA, apresenta limitações, já que este índice não analisa alguns parâmetros importantes para o abastecimento público, como substâncias tóxicas (como por exemplo, metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos), protozoários patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água (CETESB, 2010).

Pensando nisso, a CETESB propôs outros índices, que são utilizados de acordo com o uso pretendido e com o enfoque do estudo, entre eles podemos citar: IAP (Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público), IET (Índice do Estado Trófico), IVA (Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas), ICTEM (Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município), entre outros. Tais índices foram propostos principalmente a partir das pesquisas de Zagatto et al (1998) e dos grupos de estudo criados em 1998 pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Para o cálculo do IQA, inicialmente foram propostos 35 parâmetros indicadores de qualidade de água, que foram reduzidos posteriormente para a composição do atual IQA, constituído por apenas 9 parâmetros, sendo esses: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes (*E. coli*), nitrogênio total, fósforo total, sólidos (resíduos) totais e turbidez (APHA, 1998).

A partir da integração das nove variáveis, foi possível realizar o cálculo cujo resultado é um valor numérico de fácil interpretação, obtido pelo produto ponderado da *i*-ésima variável de qualidade, um número entre 0 e 100 (Equação 2), definido pela curva de variação da qualidade em função de sua concentração elevada ao peso (w_i) (Tabela 4.2) correspondente ao *i*-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1 (Equação 3), atribuído pela sua importância (CETESB, 2010).

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (2)$$

O Somatório dos pesos de todos os parâmetros é igual a 1, ou seja:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (3)$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

q_i : qualidade do *i*-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

w_i : peso correspondente ao *i*-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade

***i*:** número do parâmetro, variando de 1 a 9 ($n=9$, ou seja, o número de parâmetros que compõem o IQA).

O cálculo de IQA foi realizado em planilhas e a partir dos resultados foram definidas as classes de qualidade (Tabela 4.3), onde se determina a qualidade das águas brutas e as classifica numa escala de 0 a 100.

Tabela 4.2. Peso dos parâmetros n cálculo do IQA

Parâmetro	Peso (w_i)
Temperatura	0,10
pH	0,15
Oxigênio dissolvido	0,17
Demanda bioquímica de oxigênio	0,10
Coliformes termotolerantes	0,15
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Sólidos totais	0,08
Turbidez	0,08

Fonte: CETESB, 2010

Tabela 4.3. Classificação das águas segundo IQA

Categorias	Ponderação
Ótima	$79 < \text{IQA} \leq 100$
Boa	$51 < \text{IQA} \leq 79$
Regular	$36 < \text{IQA} \leq 51$
Ruim	$19 < \text{IQA} \leq 36$
Péssima	$\text{IQA} \leq 19$

Fonte: CETESB, 2010

A qualidade hídrica do corpo d'água varia com o tempo, exigindo, para seu diagnóstico, uma análise periódica de variáveis físicas, químicas, biológicas e toxicológicas. O monitoramento da qualidade requer a avaliação integrada, sendo as amostras submetidas a exames laboratoriais, utilizando-se parâmetros internacionais elaborados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), e aceitos pelo Ministério da Saúde, com algumas restrições a valores máximos permitidos (RICHTER & AZEVEDO, 1991).

Dentre as mais relevantes vantagens do IQA, podemos destacar a facilidade de comunicação com o público não técnico, o status maior que os parâmetros individuais e o fato

de representar uma média de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade. Porém, esta técnica apresenta uma considerável desvantagem, que consiste na perda de informação das variáveis individuais e da interação entre as mesmas (CETESB, 2010).

House & Ellis (1980) destacam a importância dos índices de qualidade, como ferramenta de informação ao público, promovendo um melhor entendimento entre a população leiga e as pessoas que gerenciam o ambiente. Desde trabalhos pioneiros, como o de Horton (1965), índices de qualidade da água tem servido como base para diversos autores, sob diversas formas e abordagens.

Neste aspecto, o uso de índices de qualidade da água é uma forma que os programas de monitoramento das águas superficiais encontram para acompanhar, por meio de informações detalhadas, a possível deterioração ou a melhoria na qualidade dos recursos hídricos, além de permitir uma comparação entre diferentes cursos d'água.

No meio acadêmico, o Índice de Qualidade da Água (IQA) passou a ser uma ferramenta nos estudos de qualidade de água como forma de se conhecer os efeitos produzidos pela ação antrópica em determinada bacia hidrográfica (CARVALHO et al, 2004).

Diversos trabalhos realizados em território nacional têm utilizado o IQA para retratar, por meio de um índice global, a qualidade das águas superficiais em um determinado ponto de monitoramento. Dentre os trabalhos mais relevantes utilizados neste estudo podemos citar: Battalha & Parlatore, 1977; Esteves, 1998; Martos, 1999; Carvalho et al, 2000; Rodríguez, 2001; Merten & Minella, 2002; Carvalho et al, 2004; Molina, 2006; Oppa, 2007; Von Sperling, 2007; Rodrigues, 2008; Tauk-Tornisielo et al, 2008; Morais, 2010, entre outros.

Carvalho et al (2000), por meio do IQA, avaliou os riscos da intensa atividade pecuária e agrícola na potabilidade de corpos aquáticos, nas microbacias do Ribeirão da Onça e do Feijão (SP). As coletas de água foram feitas durante as estações de verão e inverno, revelando melhor qualidade da água no período de inverno, associando a precipitação como principal fator de alteração da qualidade da água nos ribeirões monitorados.

Molina et al (2006), realizou um diagnóstico da qualidade da água no Córrego Água da Bomba no município de Regente Feijó (SP), e concluiu que a redução do valor do IQA, ocorre em razão dos lançamentos de esgoto e da água de drenagem urbana, principalmente no período seco do ano (inverno), e erosão nas áreas rurais ocorre principalmente no período chuvoso do ano (verão), condicionado pelo uso indevido dos solos e a degradação das matas ciliares.

O Índice de Qualidade da Água também foi utilizado para avaliar o grau de poluição hídrica do ribeirão Ubá, localizado na cidade de Ubá (MG), causada pelas indústrias de móveis.

Carvalho et al (2004) constatou que a água do ribeirão Ubá é deteriorada a partir da entrada da cidade (na parte de montante), onde sofre intenso despejo de esgotos domésticos e de efluentes industriais, que afeta significativamente os valores do IQA.

Águas naturais podem ter a sua qualidade modificada por fontes externas de poluição ou contaminação. No entanto, a contaminação também pode estar associada a fatores naturais ou ambientais, especialmente relacionados aos fluxos provenientes das águas subterrâneas, nos quais a dissolução de minerais pode introduzir determinados elementos na água em concentrações elevadas, tornando-a imprópria para diversos tipos de uso (RODRIGUES, 2008).

Por esta razão, é importante complementar os índices de qualidade da água com estudos hidrogeoquímicos, para se conhecer a composição da água a partir da interação que o contato água/rocha produz na mesma.

4.2 GEOQUÍMICA DE ÁGUAS SUPERFICIAIS

A geoquímica teve seu início possibilitado no século XIX, quando foram estabelecidas as bases das análises químicas quantitativas. Com a evolução dos métodos analíticos, técnicas de processamento de dados, o uso de informações químicas em águas, tornou-se cada vez mais frequente e confiável (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983).

O conhecimento da composição química das águas superficiais é imprescindível para se avaliar quais os tipos de usos são adequados para os recursos hídricos, bem como a forma de se avaliar a qualidade dessas águas e identificar as causas de diferenciações hidroquímicas observadas, e suas relações com causas naturais ou antrópicas (CUSTÓDIO & LLAMAS, 2001).

Atualmente, pesquisas científicas envolvendo características físico-químicas das águas têm sido empregadas em estudos hidroquímicos por diversos pesquisadores, entre eles: Bertachinni, 1994; Silva et al, 1994; Laaksoharju et al, 1999; Chang et al, 2003 e Bonotto et al, 2008.

Os parâmetros físico-químicos são úteis para informar sobre as transformações sofridas pela água durante a interação água-rocha, e constituem uma ferramenta importante no auxílio de estudos hidrogeoquímicos e isotópicos de corpos hídricos superficiais e subterrâneos.

A concentração dos elementos nas águas superficiais, bem como sua classificação, pode variar de acordo com as características litológicas da bacia de drenagem. Ao longo da bacia, a água interage com diferentes formações litológicas, resultando na dissolução de minerais presentes nessas rochas. Assim, cada formação geológica confere uma composição diferente à

química das águas (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983). A Tabela 4.4 sugere as características dessas marcas litológicas.

Tabela 4.4. Marcas litológicas em composições de água

Rocha	Composição da água
Arenito	Baixa salinidade (300-500 mg L ⁻¹); ânion principal: HCO ₃ ⁻ , Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ em quantidades similares; bom gosto.
Calcário	Baixa salinidade (500-800 mg L ⁻¹ ; ânion principal: HCO ₃ ⁻ , Ca ²⁺ cátion dominante; bom gosto.
Dolomita	Baixa salinidade (500-800 mg L ⁻¹ ; ânion principal: HCO ₃ ⁻ , Mg ²⁺ Igual a Ca ²⁺ ; bom gosto.
Granito	Muito baixa salinidade (300 mg L ⁻¹); ânion principal: HCO ₃ ⁻ ; cátions principais: Ca ²⁺ e Na ⁺ ; muito bom gosto.
Basalto	Baixa salinidade (400 mg L ⁻¹); ânion principal: HCO ₃ ⁻ , Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ de igual importância, bom gosto.
Xisto	Baixa salinidade (300 mg L ⁻¹); ânion principal: HNO ₃ ⁻ , cátions principais: Ca ²⁺ e Na ⁺ ; gosto agradável.
Marga	Salinidade média (1200 mg L ⁻¹); ânions principais: HNO ₃ e Cl ⁻ ;cátions principais: Na ⁺ e Ca ²⁺ . Gosto um pouco inferior, porem potável.
Argila e xisto	Frequentemente contidos em sal-gema e gipsita. Alta salinidade: 900- 2000 mg L ⁻¹ . Ânion dominante: Cl ⁻ , seguido por SO ₄ ²⁻ ; cátion principal: Na ⁺ . Gosto um pouco inferior, ocasionalmente não-potável.
Gipsita	Salinidade alta (2000 - 4000 mg L ⁻¹); ânion dominante: SO ₄ ²⁻ ; cátion dominante: Ca ²⁺ , seguido de Mg ²⁺ ou Na ⁺ ; gosto amargo e não potável.

Fonte: MAZOR, 2004

4.2.1 PROCESSOS HIDROGEOQUÍMICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

A água é considerada um solvente quimicamente ativo, capaz de reagir com o meio percolado, absorvendo substâncias orgânicas e inorgânicas. Desta forma, quando são considerados unicamente os processos naturais, a composição principal das águas está relacionada aos processos físicos e químicos de intemperismo de rochas, respectivamente associados à fragmentação das rochas e a processos de alteração da rocha por meio de reações

de precipitação, dissolução, oxi-redução, hidratação/hidrólise e complexação (FAUST & ALY, 1981).

A área de drenagem de uma bacia hidrográfica é definida como sendo a área plana entre os divisores topográficos. De uma maneira geral, as águas do escoamento superficial rápido carregam mecanicamente partículas de solos e rochas, já por meio da lixiviação, as águas liberam elementos químicos oriundos das interações geoquímicas com a rocha (MORTATTI, 1998).

A vazão de um rio é mantida por duas componentes principais originadas a partir da precipitação, mas que percorrem caminhos distintos até alcançar o canal. A parte da água da precipitação, que se infiltra no solo, e transita lentamente pelo lençol freático em direção à saída da bacia de drenagem, é conhecida como fluxo de base (*baseflow*). É esse fluxo de base que irá alimentar os cursos d'água durante os períodos de estiagem. Já a parte da água precipitada, que escoar superficialmente em direção à saída da bacia, é chamada de escoamento superficial rápido (*surface runoff*). Tal escoamento é constituído pelo escoamento de uma lâmina d'água que se movimenta sobre o solo e abaixo da película de solo temporariamente saturado (MORTATTI, 1998).

O escoamento superficial rápido está relacionado com as águas geradas imediatamente após as chuvas, de rápida circulação, de forte poder erosivo mecânico, enquanto que a componente subterrânea, de circulação mais lenta, é parte integrante do processo químico erosivo do perfil rochoso do embasamento.

Segundo Martinelli (1993), em uma bacia de drenagem, a redução da espessura dos solos e das rochas é controlada fisicamente pela erosão mecânica, desagregando partículas sólidas, que são transportadas em suspensão por meio do escoamento superficial rápido para os rios, indo sedimentar os oceanos. Os sedimentos finos são transportados rio abaixo, na mesma velocidade das águas, enquanto que os sedimentos mais grosseiros são mais lentos, permanecendo no local por mais tempo.

De acordo com Kattan e Probst (1986), nas regiões temperadas, as variações das concentrações dos sedimentos em suspensão medidos nos rios seguem, de uma forma geral, as variações da vazão. Dessa forma, observa-se maiores concentrações de sólidos em suspensão durante os períodos de cheia, diminuindo à medida que a vazão diminui, ou seja, quanto maior a vazão, maior a concentração dos sedimentos em suspensão.

A composição natural das águas superficiais em uma bacia hidrográfica também é controlada por diversos processos naturais, tais como: processos geológicos e pedológicos (tipos de solos e espécies minerais), geomorfológicos (altitude e declividade), climáticos

(evaporação, precipitação e temperatura), biológicos (cobertura vegetal, presença de organismos) e químicos (solubilidade mineralógica) (KATTAN & PROBST, 1986)

A composição mineralógica e química do material em suspensão é diretamente relacionada com a composição mineralógica do substrato geológico da bacia hidrográfica. Visto que as rochas apresentam condições de instabilidade na presença de água, o intemperismo químico pode ser interpretado como a tendência do sistema água/rocha a alcançar o equilíbrio físico-químico. Normalmente, a erosão química antecede a erosão mecânica, por meio da dissolução ou hidrólise dos minerais primários das rochas, liberando em solução diversas espécies químicas, as quais são transportadas pelas águas de drenagem até os rios, e posteriormente aos oceanos (KATTAN & PROBST, 1986).

Diferentes formas de escoamento podem ocorrer em uma bacia hidrográfica (rios, córregos, lagos, etc.), os quais estão diretamente ligados às características de drenagem da bacia. No caso em que, o nível da água subterrânea é maior que a cota do nível do rio, esse é abastecido ou alimentado pelo lençol freático. Uma segunda situação, ou a situação inversa, ocorre quando o nível do lençol freático está abaixo do nível do rio, fazendo com que o sentido do fluxo aponte do rio para o solo e o abastecimento do curso d'água ocorra através da precipitação pluvial (SAWYER, 1994).

O ponto central no processo de interação entre água superficial e subterrânea é o fenômeno de infiltração, que pode ser definida como o processo de penetração de água no estado líquido da superfície do solo para seu interior (Figura 4.1). Muitos fatores influenciam sua taxa, incluindo as condições da superfície do solo, o tipo de solo, a geologia, cobertura vegetal, e suas propriedades hidráulicas, a porosidade das rochas, entre outros (CHOW et al, 1988).

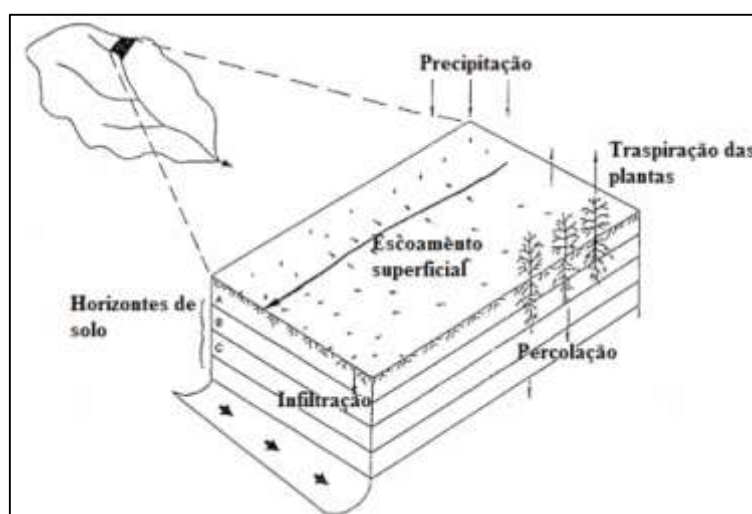


Figura 4.1. Representação do processo de infiltração da água no solo em uma bacia hidrográfica
Fonte: Modificado de Chow et al (1998)

As águas dos rios são compostas por diversos constituintes dissolvidos, que podem ser oriundos tanto das precipitações pluviais, como herdados das águas subterrâneas ou da interação entre água-rocha, que promovem a diluição ou a concentração dos constituintes iônicos nas águas subterrâneas. De acordo com BERNER & BERNER (2012), entre os componentes encontrados nos rios, podemos citar:

- 1) água;
- 2) a matéria inorgânica em suspensão, os principais elementos incluem Al, Fe, Si, Ca, K, Mg, Na e P;
- 3) elementos principais dissolvidos: HCO_3^- , Ca^{+2} , SO_4^{-2} , H_4SiO_4 , Cl^- , Na^+ , Mg^{+2} e K^+ , que podem ser ainda divididas em:
 - a) elementos sem fases gasosas na atmosfera (para o qual um equilíbrio de entrada e saída dentro do ciclo da água pode ser feito mais facilmente); estes incluem Ca^{+2} , Cl^- , H_4SiO_4 , Na^+ , Mg^{+2} e K^+ ;
 - b) elementos com as fases gasosas, SO_4^{-2} e HCO_3^- , que são derivados de gases atmosféricos (por exemplo, SO_2 e CO_2 , respectivamente) e das rochas;
- 4) nutrientes dissolvidos, N e P (ou Si), que são utilizados biologicamente e cujas concentrações variam;
- 5) sólidos suspensos e matéria orgânica dissolvida.

4.3 ISÓTOPOS AMBIENTAIS

Uma importante contribuição da ciência moderna para o conhecimento dos recursos hídricos é o aprimoramento de técnicas nucleares aplicadas, utilizadas na determinação das razões dos isótopos ambientais constituintes da molécula da água ($\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$). A utilização desses isótopos aliadas aos dados hidroquímicos convencionais, permite obter informações que não são concebíveis por outros métodos, ou são difíceis de serem obtidas. Elas se aplicam tanto aos recursos hídricos superficiais quanto aos subterrâneos e às interações que ocorrem entre eles (SANTOS et al, 2010).

4.3.1 USO DE ISÓTOPOS AMBIENTAIS EM ESTUDOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Os isótopos estáveis, $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$, vem sendo, desde muito, utilizados como traçadores do ciclo hidrológico. Por serem constituintes da molécula da água são considerados traçadores ideais para a definição das fontes de origem da água e seu movimento, incluindo a definição de

misturas, possibilitando a determinação de contribuições distintas a água de um rio, dentro de uma bacia hidrográfica.

Variações naturais da composição química e isotópica dos componentes de fluxo dentro de uma bacia hidrográfica, vem sendo utilizados como complementação de estudos a respeito do balanço hidrológico, uma vez que o comportamento desses componentes apresenta estreita relação com sua origem, sendo utilizado para a compreensão da dinâmica do ciclo hidrológico em diversas escalas de bacias hidrográficas (10^0 até 10^2 km²) e com diferentes tipos de usos da terra. (TURNER & BARNES, 1998).

A utilização de isótopos ambientais aplicados ao ciclo hidrológico teve início com os trabalhos pioneiros de Urey et al e Epstein & Mayeda na década de 50 (*in* CLARK & FRITZ, 1997), tornando-se técnica difundida a nível mundial, sendo atualmente uma ferramenta que pode ser considerada tradicional no meio técnico hidrogeológico (FRITZ & FONTES, 1980).

No contexto hidrogeológico e hidrológico, os isótopos ambientais são utilizados como traçadores (de águas superficiais e subterrâneas) de recarga e de idade, ou tempo de residência da água em um corpo hídrico. A hidrologia isotópica e os isótopos ambientais são particularmente indicados para este tipo de trabalho, pois representam os melhores traçadores uma vez que, no caso do ³H, ²H e ¹⁸O constituem as próprias moléculas de água (CARVALHO, 2012).

As propriedades dos isótopos que tornam atrativo o seu uso são: o fracionamento e o decaimento radiativo, esse último permite, através da taxa de decaimento, estimar as idades. As quantidades absolutas de isótopos presentes em uma amostra são difíceis de serem determinadas.

Em função das baixas concentrações a abundância dos isótopos estáveis é expressa em termos da razão do isótopo menos abundante em relação ao mais abundante. Para o oxigênio, por exemplo, a razão isotópica é representada pela relação entre ¹⁸O/¹⁶O, resultando numa razão de aproximadamente 0,00204. Para o hidrogênio a razão isotópica é representada pela relação entre o ²H/¹H = 0,015.

Como a medida das razões isotópicas absolutas é relativamente complexa, exigindo espectrômetros de massas sofisticados, essas razões ao invés de serem expressas como a relação isotópica (R), são expressos como valores da notação delta (δ), que representa a razão de uma espécie em relação a um padrão internacional, o VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water), utilizado nas relações isotópicas do hidrogênio (²H/¹H) e do oxigênio (¹⁸O/¹⁶O).

Como os valores do (δ) são numericamente muito pequenos convencionou-se que os resultados encontrados devam ser multiplicados por mil passando a ser expresso pelo símbolo

(‰ – partes por mil) (MARTINELLI, 1989). Para o oxigênio, essa razão isotópica pode ser expressa da seguinte forma (Equação 4):

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{amostra}} = \left[\frac{m \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{amostra}}}{m \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{referência}}} - 1 \right] \times 1000 \text{‰ VSMOW} \quad (4)$$

Onde $\delta^{18}\text{O}$ amostra é a concentração isotópica em partes por mil de ^{18}O na amostra:

$m(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{amostra}}$ é a razão entre ^{18}O e ^{16}O na amostra

$m(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{referência}}$ é a razão relativa entre ^{18}O e ^{16}O na amostra de referência.

Até a chuva alcançar o lençol freático e mesmo depois, no fluxo da água subterrânea na zona saturada, a água tem sua composição modificada pelo fracionamento gerado pelo processo de evaporação, uso pelas plantas, mudanças climáticas e reações com o solo/rocha (CLARK & FRITZ, 1997). Neste contexto a caracterização isotópica das entradas atmosféricas serve de base para a compreensão dos processos atuantes em subsuperfície.

Segundo Clark & Fritz (1997), para ^{18}O e ^2H , estudos intensivos da precipitação em todo o mundo, realizados por Craig (1961), que avaliou amostras de águas meteóricas coletadas em diversas partes do globo, observando uma relação linear entre as razões isotópicas de ^2H e ^{18}O . Essa relação linear foi denominada por ele de Reta Meteórica Mundial ou Global Meteoric Water Line (GMWL).

Com o objetivo de monitorar o conteúdo isotópico das águas da precipitação ao redor do planeta, a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA – International Atomic Energy Agency), em parceria com a Organização Meteorológica Mundial (WMO – *World Meteorological Organization*), vem desde 1961, coordenando um amplo programa de monitoramento mensal e global da composição isotópica da água nas precipitações, denominado GNIP (*Global Network of Isotopes in Precipitation*), por meio da coleta regular de precipitação e análise do seu conteúdo nos denominados isótopos ambientais (oxigênio (^{18}O), deutério (^2H) e trítio (^3H)), buscando, dessa maneira, a criação de um banco de dados aberto e disponível no site da IAEA (http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/IHS_resources_gnip.html), capaz de fornecer informações importantes para estudos e pesquisas em hidrologia, e mais recentemente em climatologia, oceanografia e hidrometeorologia (ROZANSKI et al, 1993).

A análise desse monitoramento contínuo possibilitou a identificação de alguns fatores ambientais que influenciam diretamente nos processos de fracionamento, conseqüentemente na composição isotópica das águas meteóricas no globo. Esses fatores foram avaliados por Dansgaard (1964), com revisões posteriores por Rozanski et al (1993) e estão relacionados: à latitude do ponto de coleta, temperatura média do local, localização do ponto em relação à linha de costa (continentalidade), altitude e efeitos relacionados à sazonalidade e a quantidade de precipitação.

Os primeiros estudos sobre a composição isotópica de águas naturais no Brasil iniciaram-se na década de 1960, a partir de um projeto internacional patrocinado pela IAEA e WMO. Foram instaladas, a partir de 1961, estações coletoras de precipitação nas cidades de Cuiabá - MT, Natal - RN, Rio de Janeiro - RJ e Uaupês - AM. A partir de 1965, estações foram instaladas nas cidades de Belém - PA, Brasília - DF, Fortaleza - RE, Manaus - AM, Porto Alegre - RS, Porto Velho - ES e Salvador - BA. Essa rede de estações funcionou regularmente até meados da década de 1980.

Em estudos hidrológicos e hidrogeológicos, os isótopos estáveis mais utilizados como ferramenta são aqueles que compõem a molécula de água: oxigênio e hidrogênio, cujas razões são calculadas entre os isótopos mais pesado e mais comum, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ e $^2\text{H}/^1\text{H}$ (ou D/ ^1H), respectivamente (CLARK & FRITZ, 1997).

Ao padrão de referência é atribuído o valor 0‰, ou seja, este é o referencial, pois é a base do ciclo hidrológico (Figura 4.2), e, a partir dele, pode-se mensurar os valores em cada etapa do ciclo. Já os isótopos com diferentes massas sofrerão processos de evaporação e condensação com taxas distintas, o que resulta em um fracionamento dos isótopos hidrogênio e oxigênio.

O fracionamento dos isótopos no ciclo hidrogeológico deve-se à diferença de pressão de vapor das moléculas com diferentes massas (CARVALHO, 2012). Mazor (2004) cita quatro principais fatores que influenciam o fracionamento isotópico nas precipitações ao redor do globo: efeito temperatura, efeito quantidade, efeito continental e efeito altitude.

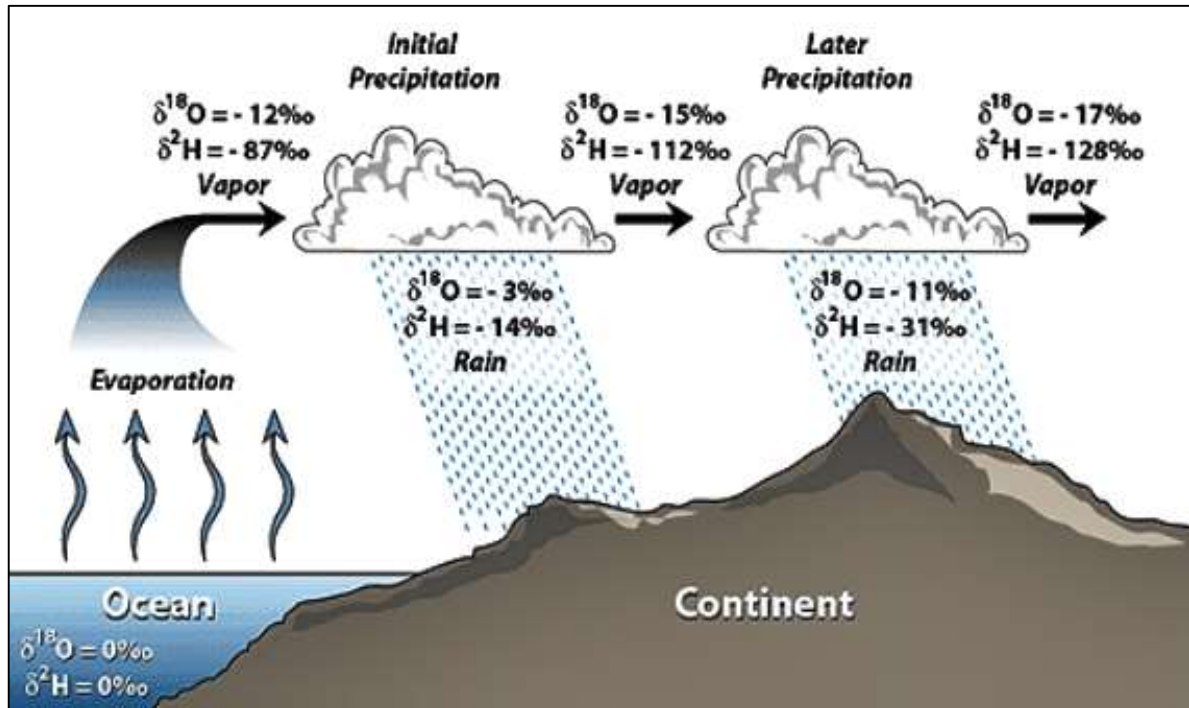


Figura 4.2. Diversas fases do ciclo hidrológico
Fonte: IAEA, 2008

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Os resultados de estudos científicos dependem principalmente da base teórico-metodológica a respeito do tema a ser desenvolvido. No caso de estudos ambientais e hidrogeoquímicos, para os quais a principal fonte de informações são os dados primários levantados em campo, torna-se imprescindível concentrar maior atenção na escolha dos métodos e das técnicas a serem empregadas durante a execução dos trabalhos de campo. O fluxograma da figura 5.1 apresenta de maneira sintética as etapas desenvolvidas neste estudo.

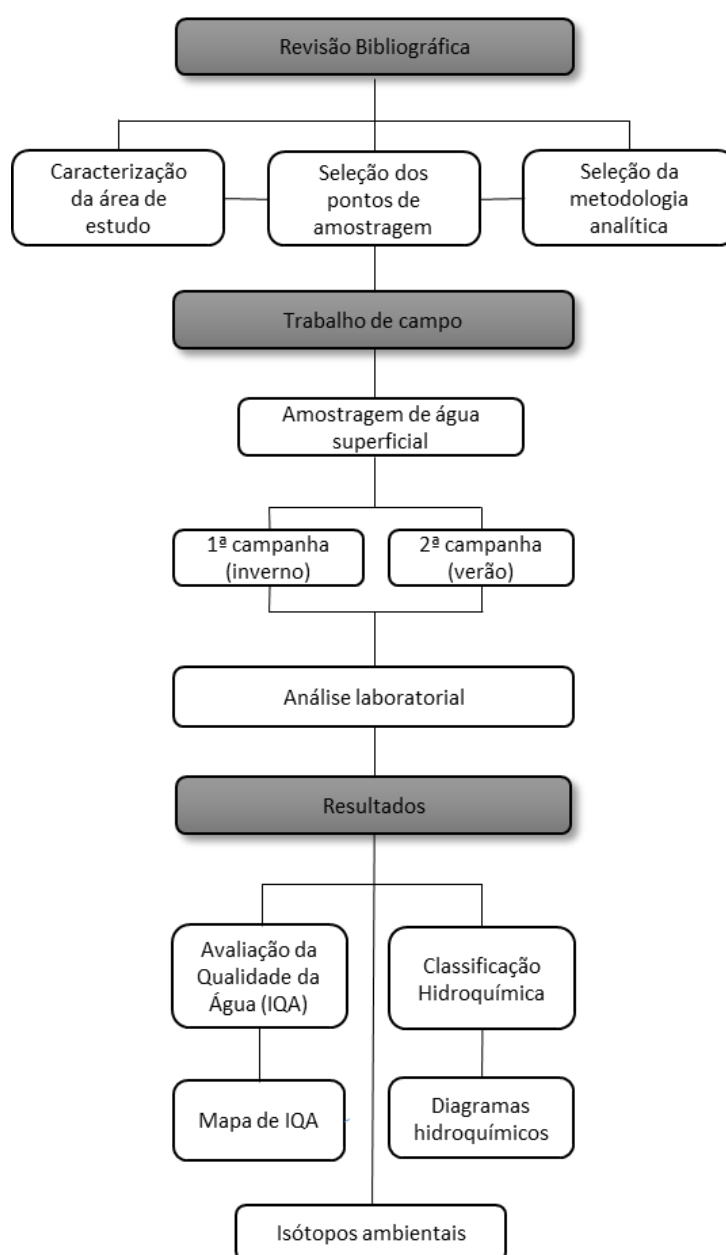


Figura 5.1. Fluxograma com as etapas desenvolvidas

5.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Esta etapa compreendeu o levantamento de material bibliográfico disponível sobre a área de estudo, incluindo publicações, teses, relatórios, mapas e outros documentos sobre geologia, hidrologia, hidrogeologia e hidroquímica.

As bases dos dados existentes, como informações a respeito da qualidade de água e aspectos hidrometeorológicos, utilizados na pesquisa, foram consultadas junto a diversos órgãos, a saber: CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental); SIGRH (Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo); FEHIDRO (Fundo Estadual de Recursos Hídricos); CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), entre outros.

5.2 LEVANTAMENTOS DE CAMPO

A definição da distribuição dos pontos de amostragem teve como critério principal, o estabelecimento de uma malha regular de amostragem ao longo da bacia hidrográfica, levando-se em consideração aspectos geológicos e a rede de drenagem da área, para tanto, foi realizado o cruzamento de mapas geológicos (DAEE/UNESP, 1980, IPT, 2000; CPRM, 2006), mapas de drenagem e imagens atuais da área de estudo (Google Earth, 2014).

Foram selecionados dezessete pontos de amostragem, distribuídos espacialmente por toda sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira-SP, cuja condição de acesso foi verificada posteriormente em campo. A figura 5.2 mostra o mapa com os pontos de amostragem na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira, além de dois pontos de monitoramento da CETESB (JPEP03600 e PPEP03500), e cujas informações servirão como critério de avaliação e comparação dos resultados obtidos.

A sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira foi dividida inicialmente em parte alta (pontos A1 a A5), média (pontos B1 a B6) e baixa (pontos C2 a C7), apenas com o objetivo de facilitar a distribuição da malha de amostragem e organização das campanhas de coleta.

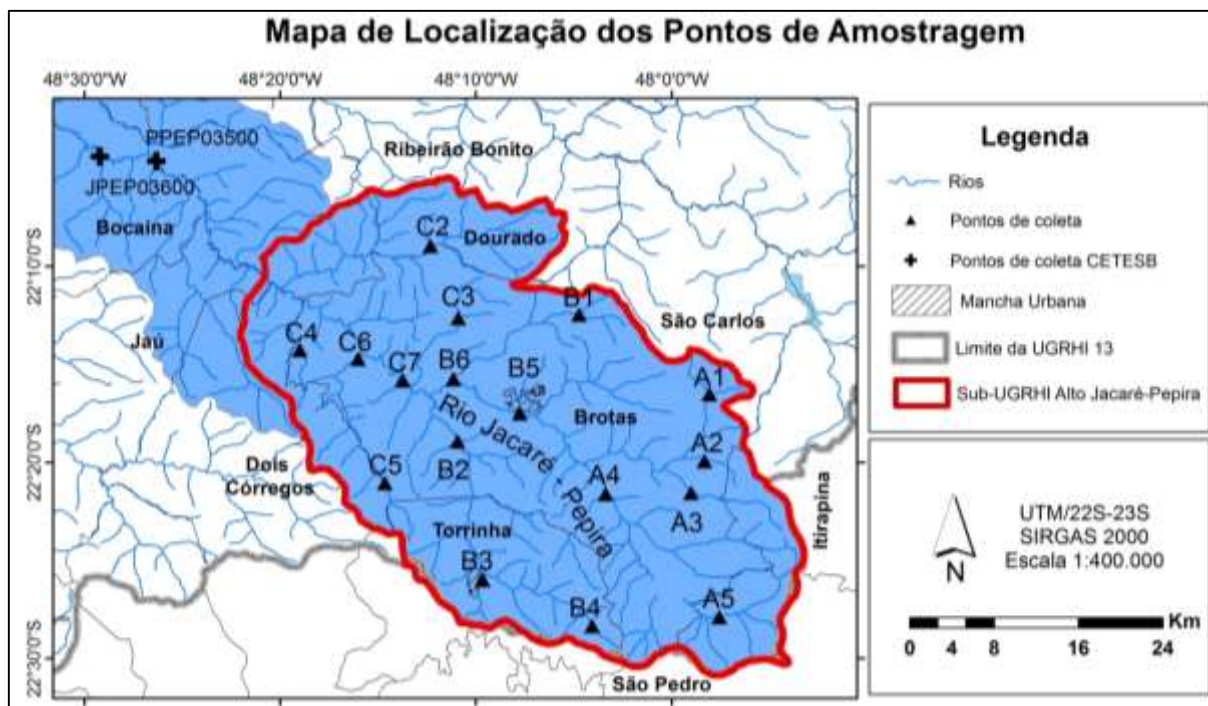


Figura 5.2. Localização dos pontos de amostragem na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira-SP

A Tabela 5.1 apresenta, de forma sucinta, o tipo de classe de uso da terra em cada ponto de amostragem, apresentado no mapa de uso e ocupação da terra da figura 3.5, e a Tabela 5.2 apresenta a caracterização visual encontrada no entorno de cada ponto de amostragem durante a etapa de trabalho de campo.

Tabela 5.1. Tabela dos tipos de cobertura da terra em cada ponto de amostragem segundo mapa de uso e ocupação da terra (Figura 3.5)

Tipo de uso e ocupação (mapa)	Pontos de amostragem
Campo antrópico	A1, A2, A5, B2, B6, C2, C3, C4, C5
Cultura semi-perene	B1, C6 e C7
Área urbana	B3 e B5
Mata	A1 e A4

A tabela 5.2 permitiu comparar os dados coletados em campo com aqueles presentes no mapa de ocupação da terra (Figura 3.5), evidenciando que, devido a escala do mapa (1:50.000), o mapa não é totalmente preciso em relação aos detalhes do tipo de ocupação presente no entorno de cada ponto estudado, porém a combinação do mapa com os dados de campo, torna os resultados satisfatórios, atendendo as necessidades propostas no estudo.

Tabela 5.2. Tabela de caracterização visual do entorno de cada ponto de amostragem

Ponto	Caracterização visual do entorno
A1	Campo aberto, reflorestamento (eucalipto)
A2	Pastagem, vegetação baixa
A3	Pastagem e vegetação nativa
A4	Mata ciliar, campo aberto
A5	Cultura de cana-de-açúcar, vegetação de baixo porte, pastagem e área de reflorestamento (eucalipto)
B1	Predomínio de pastagem
B2	Mata ciliar, cultivo de cana-de-açúcar
B3	Perímetro urbano da cidade de Torrinha, vegetação de baixo porte
B4	Campo aberto, reflorestamento (eucalipto)
B5	Perímetro urbano da cidade de Brotas
B6	Mata ciliar preservada, campo aberto
C2	Campo limpo, vegetação de baixo porte
C3	Pastagem
C4	Pastagem, vegetação de pequeno porte
C5	Vegetação de médio porte, pastagem, cultivo de cana-de-açúcar
C6	Mata ciliar, cultivo de cana-de-açúcar
C7	Mata ciliar, cultura de cana-de-açúcar

5.2.1 CAMPANHAS DE AMOSTRAGEM

Foi realizada uma etapa de reconhecimento prévio da área, antes de se iniciarem as etapas de coleta, com o intuito de se levantar as características do meio físico, verificar as vias de acesso aos pontos de amostragem, checagem em campo do uso e ocupação do solo da sub-bacia, bem como calibrar os equipamentos que seriam usados posteriormente nos levantamentos de campo.

As campanhas de amostragem foram realizadas em diferentes estações climáticas, de modo a contemplar possíveis variações sazonais na composição química da água. A primeira campanha (julho/2013) refere-se à estação seca (inverno). A segunda amostragem (março/2014) refere-se à estação chuvosa (verão). A data prevista para a realização da segunda campanha de amostragem era janeiro (2014), porém devido à falta de chuva que ocorreu no verão de 2014, a data foi alterada para o mês de março (2014). As atividades de campo foram distribuídas de acordo com o Quadro 5.1.

Período	Data da Coleta	Período de Coleta	Período de Análise
1ª Campanha de Amostragem	Julho/2013	Manhã	Tarde
2ª Campanha de Amostragem	Março/2014	Manhã	Tarde

Quadro 5.1. Atividades de campo

As coordenadas dos pontos amostrados foram obtidas com um aparelho GPS manual, marca Garmin, modelo Etrex Vista, sendo as coordenadas anotadas em uma planilha de campo. O quadro 5.2 apresenta a localização geográfica dos pontos de amostragem, assim como a sua cota, enquanto as figuras 5.3 a 5.7 mostram as fotografias tiradas em campo de alguns dos pontos de coleta nas duas campanhas de amostragem.

Pontos	Coordenadas UTM			Altitude (m)
	Zona	Longitude	Latitude	
A1	23K	194170	7533721	700
A2	23K	193872	7527390	686
A3	23K	192750	7524374	680
A4	22K	803197	7524356	628
A5	23K	195455	7512741	843
B1	22K	801215	7541300	829
B2	22K	790311	7529574	775
B3	22K	792274	7516464	736
B4	22K	801788	7511949	535
B5	22K	795811	7532099	610
B6	22K	790048	7535458	624
C2	22K	788258	7548003	493
C3	22K	790590	7541173	465
C4	22K	776593	7538426	476
C5	22K	783850	7525761	529
C6	22K	781682	7537497	599
C7	22K	785596	7535423	524

Quadro 5.2. Pontos de coleta e suas coordenadas em UTM



Figura 5.3. Pontos de amostragem na campanha de inverno: **a)** Ponto A1; **b)** Ponto A2



Figura 5.4. Pontos de amostragem na campanha de inverno: **c)** Ponto A4 e **d)** Ponto A5



Figura 5.5. Pontos de amostragem na campanha de verão: **e)** Ponto B2 e **f)** Ponto B5



Figura 5.6. Pontos de amostragem na campanha de verão: **g)** Ponto C2 e **h)** Ponto C6

As amostras foram coletadas diretamente nos cursos d'água, com o auxílio de uma garrafa de Van Dorn, específica para a amostragem de águas superficiais (Figura 5.7). Anteriormente à coleta, todos frascos foram enxaguados com água da própria amostra. Foram coletados 2 litros de água em cada ponto, armazenados em vasilhames de polietileno de 1 litro, sendo que as amostras para análises microbiológicas foram coletadas em frascos de polietileno de 50 ml, previamente esterilizados.



Figura 5.7. Garrafa de Van Dorn utilizada na coleta das amostras de águas superficiais

As técnicas de coleta e preservação das amostras têm como objetivo principal evitar, ao máximo, as variações que possam ocorrer entre o período da coleta e da análise em laboratórios.

Estas técnicas seguem especificações da CETESB (2010); APPELO & POSTMA (2005) e ABNT (1987) NBR 9898.

Nos locais de coleta das amostras de água foram determinados *in situ* os parâmetros relacionados à temperatura do ar, temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, salinidade e sólidos totais dissolvidos, através do método automatizado e com o auxílio de uma sonda Multiparâmetros da marca YSI, modelo 556 MPS (Figura 5.8).



Figura 5.8. Sonda Multiparâmetros YSI, modelo 556 MP

5.2.2 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA ANÁLISE

Os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos analisados, foram definidos em função dos objetivos do projeto, ou seja, a necessidade de determinar a qualidade da água superficial na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira (SP), bem como as características que a interação água/rocha imprimem na mesma, para isto, foram selecionados os parâmetros utilizados pela CETESB para o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA), assim como a determinação das concentrações de cátions e ânions dissolvidos, para a avaliação hidroquímica das águas. Os parâmetros analisados são apresentados abaixo:

- **Físico-Químicos:** temperatura, cor, turbidez, sólidos suspensos totais (SST), condutividade elétrica (CE) e salinidade, pH, sólidos totais dissolvidos (STD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD);
- **Biológicos:** coliformes fecais e *Escherichia coli* (*E. Coli*);
- **Íons principais dissolvidos:** Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Fe, Sr⁺², HCO₃⁻, CO₃⁻², Cl⁻, NO₃⁻, Si, SO₄⁻²;
- **Isótopos estáveis:** δ²H e δ¹⁸O.

5.3 ATIVIDADES LABORATORIAIS

As amostras de água superficial, coletadas em campo, foram encaminhadas ao laboratório do CEA (Centro de Estudos Ambientais – UNESP - Rio Claro), para as análises dos parâmetros turbidez, cor, sólidos suspensos totais (SST), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes totais, coliformes termotolerantes (*E. Coli*) e nitrogênio total, para a determinação dos valores de IQA. Todas as determinações foram baseadas na metodologia proposta por APHA (1998). A figura 5.9 mostra alguns dos equipamentos utilizados nas análises dos parâmetros do IQA.



Figura 5.9. Equipamentos utilizados na determinação dos parâmetros para o IQA **a)** amostras sendo preparadas para análise dos Coliformes Totais e *E. Coli*; **b)** equipamento BonkTrack utilizado para medir a DBO_{5,20}; **c)** aparelho turbidímetro da marca Hach; **d)** balança de precisão utilizada na pesagem dos resíduos de sólidos suspensos totais

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é um teste padrão, realizado a uma temperatura constante de 20°C e durante um período de incubação, também fixos de 5 dias (DBO_{5,20}). Os valores de salinidade e STD (sólidos totais dissolvidos) foram medidos pelo método automatizado com o auxílio da sonda Multiparâmetros YSI, modelo 556 MP, porém os

dados utilizados para STD foram determinados a partir da somatória total das concentrações de íons.

O nitrogênio total foi medido por meio da técnica de digestão ácida (H_2SO_4 e 0,02N), pelo método de determinação do N por nesslerização e titulação, conforme a metodologia proposta por Mackereth (1978) (Figura 5.10).



Figura 5.10. Processo de medição do nitrogênio total: a) digestão; b) destilação e c) titulação

As concentrações de fósforo foram determinadas por espectrofotometria, no Laboratório de Hidrogeologia e Hidroquímica do Departamento de Geologia Aplicada do IGCE/UNESP-Rio Claro. As amostras foram previamente preparadas, por meio do método de digestão em ácido sulfúrico (H_2SO_4), sendo utilizado kit de testes da Merk, e a leitura feita em espectrofotômetro SPEKOL 1500 (Figura 5.11). As metodologias analíticas utilizadas assim como as técnicas, os equipamentos e as referências estão descritas no Quadro 5.3 e 5.4.

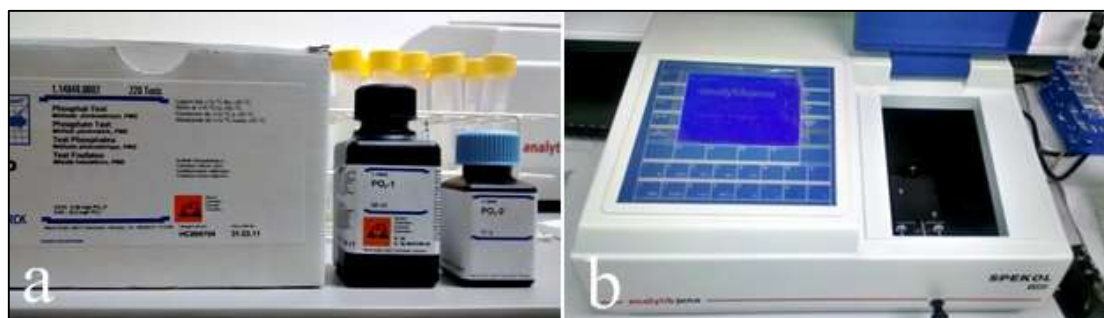


Figura 5.11. Equipamentos para análise do fósforo total a) Kit de análise do fósforo da Merk b) Espectrofotômetro SPEKOL-1500

Parâmetro	Técnica	Método Analítico	Equipamento	Referência
pH	Método automatizado – leitura direta	Potenciometria	Sonda sistemamulti-parâmetros YSI, modelo 556 MPS	AWWWA; 1970
Condutividade Elétrica (CE)	Método automatizado – leitura direta	Condutivímetro	Sonda sistemamulti-parâmetros YSI, modelo 556 MPS	APHA, 1998
Turbidez	Método automatizado – leitura direta	Nefelométrico	Turbidímetro Hach, modelo 2100P (precisão de $\pm 0,01$ UNT)	APHA, 1998
Cor	Método automatizado – leitura direta	Colorímetro	Espectrofotômetro Hach, modelo DR 2000	SMEWW, 2120C: 2005
Oxigênio Dissolvido (OD)	Método automatizado – leitura direta	Iodométrico	Sonda sistemamulti-parâmetros YSI, modelo 556 MPS	SMEWW 4500B; 2005, NBR 10559
Salinidade	Método automatizado – leitura direta	-	Sonda sistemamulti-parâmetros YSI, modelo 556 MPS	SMEWW 4500B; 2005
Totais de Sólidos Dissolvidos e Sólidos Suspensos Totais	Filtragem, secagem à 105° por 2 horas	Gravimetria	Filtro 0,45 μm , estufa de secagem e esterilização Modelo 315-SE e balança analítica	APHA, 1998
Coliformes totais e <i>E. Coli</i>	NMP.100mL ⁻¹	Técnica do substrato enzimático, colorimetria	Seladora INDEXX, cartela Quanti-Tray (97 células)	APHA, 1998
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Oxidação da matéria orgânica por bactéria por 5 dias à 20°C	Incubação 20°C, 5 dias	Incubadora Hach, modelo BOD TrakTM	SMEWW 5210B: 2005, NBR 12614. APHA, 1998
Fósforo Total	Digestão em ácido sulfúrico	Espectofotometria	Spectroquant® Merk, aparelho SPEKOL 1500	SMEWW, 4500C: 2005. Mackereth et al, 1978.
Nitrogênio Total	Digestão ácida, destilação e titulação	Método de determinação do N e titulação	Bloco digestor TECNAL	SMEWW 4500C; 2005. Mackereth et al, 1978.

Quadro 5.3. Métodos dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos

As amostras de águas superficiais foram filtradas, em membranas de acetato de celulose, abertura de 0,45 µm e com o auxílio de uma bomba de vácuo elétrica. A seguir foram separadas duas alíquotas dessa amostra para o envio ao laboratório. A primeira alíquota, utilizada para a determinação de cátions, foi preservada com a adição de ácido nítrico (solução 2N) até pH inferior a 2, enquanto a segunda alíquota, utilizada para a determinação de ânions, foi enviada ao laboratório sem a adição de preservantes, apenas mantida sob refrigeração.

As determinações de cátions e ânions foram efetuadas no Laboratório de Hidrogeoquímica do Departamento de Geologia Aplicada do IGCE-UNESP, e os elementos sódio, potássio, lítio, amônia, flúor, brometo, cloreto, clorito, nitrito, bromo, fosfato e sulfato foram determinados por Cromatografia de Iônica (IC), enquanto cálcio, ferro, magnésio, manganês, estrôncio, bário, zinco, chumbo, sílica, alumínio, níquel, cromo, fósforo e cádmio foram determinadas por meio de Espectrometria de Emissão Óptica com Fonte de Plasma de Argônio Indutivo (ICP-OES). A condutividade elétrica e o pH foram medidas tanto em campo quanto no laboratório, porém nos resultados foram utilizadas as medições realizadas em campo.

Parâmetro Analítico	Método Analítico
Alumínio, Bário, Berílio, Cálcio, Cádmio, Cobalto, Crômio, Cobre, Ferro, Magnésio, Manganês, Níquel, Fósforo, Chumbo, Silício, Estrôncio, Zinco	SMWEWW 3120B
Fluoreto, Cloreto, Nitrito, Nitrato, Fosfato, Sulfato, Brometo	EPA 300.0 – 300.1
pH (a 25°C)	SMEWW 4500 H B
Alcalinidade	SMEWW2320B
Condutividade	SMEWW 2510B

Quadro 5.4. Métodos das análises químicas

Embora a espectrometria de massa da razão isotópica (IRMS) seja a forma mais tradicional de medir as razões de hidrogênio e oxigênio ($\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$) em análises de água, desde 2007, a sua medição para estudos hidrológicos vem sendo substituído por espectrometria de absorção laser (LAS). A tecnologia LAS mede as concentrações de águas isotópicas estáveis usando espectrometria de cavidade do laser ring-down (CRDS) ou espectrometria laser (OA-ICOS).

Para a análise isotópica foram coletadas alíquotas de 50 mL, armazenadas em frascos de vidro âmbar com tampa e batoque, preenchidos até a boca para evitar a evaporação. A determinação das razões isotópicas foi feita por meio do método de Espectrometria Laser

(*Cavity Ring Laser Spectroscopy*), com um espectrômetro da marca Los Gatos Research INC, no Laboratório de Hidrogeoquímica do Departamento de Geologia Aplicada do IGCE-UNESP.

5.4 BALANÇO IÔNICO

A qualidade de uma análise química pode ser estimada com base no balanço iônico da amostra, que se baseia na neutralidade da água, ou seja, espera-se que a carga total (soma de cátions e ânions) nula. O balanço iônico consiste em calcular a razão da diferença entre as somatórias das concentrações iônicas de ânions e cátions (expressas como r ou meq/L). Custódio e Llamas (2001), explicam que essa diferença é devida à acumulação de erros na determinação de cada variável e por desprezar as contribuições iônicas menores.

Para Custódio e Llamas (2001), a percentagem da diferença ou erro do balanço iônico se define como (Equação 5):

$$\text{Erro do balanço iônico (\%)} = \frac{\sum \hat{\text{Anions}} - \sum \hat{\text{Cations}}}{\sum \hat{\text{Anions}} + \sum \hat{\text{Cations}}} \times 100 \quad (5)$$

5.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS DE CAMPO

Sistemas de Informação Geográfica (SIG) vem sendo utilizados como forma de gerenciamento de grandes quantidades de dados hidrológicos, por dispor de bons recursos de armazenamento, processamento e visualização. Ao mesmo tempo, em que dispõe de possibilidades de exportação e importação de arquivos em diversos formatos, que permitem compartilhar dados e recursos entre diferentes programas (ESRI, 2002).

Neste trabalho, o software ArcGis (versão 10.1 da ESRI) foi utilizado na etapa de tratamento dos dados, na elaboração de um banco de dados georreferenciado, e na confecção dos mapas. Foram utilizadas imagens de alta definição do Google Earth (versão 7.1 de 2013, Google Inc.) para determinação dos pontos de amostragem e checagem do uso e ocupação do solo no entorno de cada ponto.

Para o cálculo do IQA, utilizou-se o programa desenvolvido por Von Sperling (Modelo de Qualidade da Água De Rios, 2007), que utiliza as curvas de ponderação das variáveis da qualidade da água, de acordo com o estado ou condição de cada parâmetro, conforme proposto pela CETESB (2007). As curvas de variação são utilizadas para os nove parâmetros que compõe o IQA (Figura 5.12).

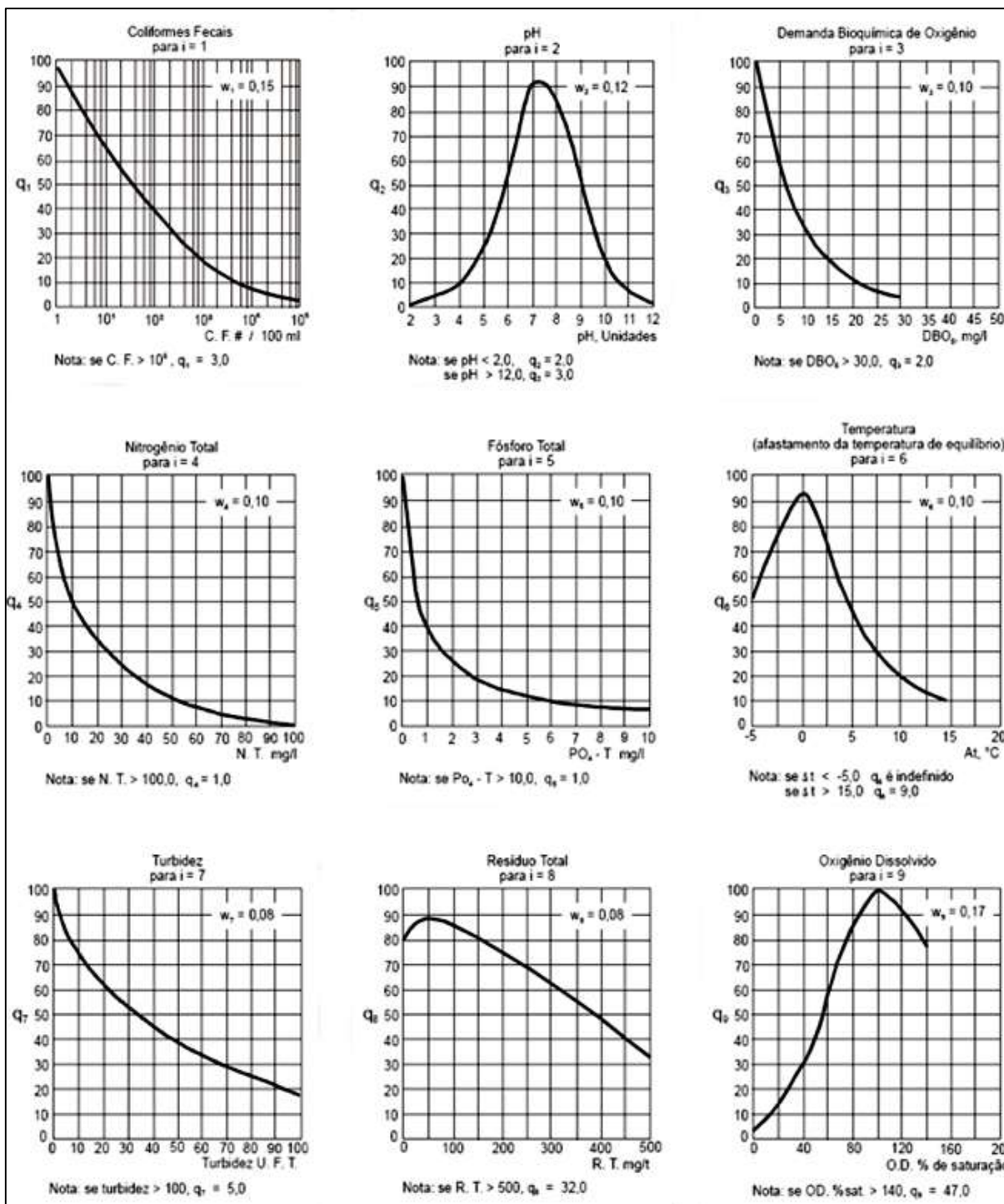


Figura 5.12. Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas

Fonte: CETESB, 2010.

A determinação dos tipos hidroquímicos foi realizada por meio do diagrama de Piper utilizando o software *RockWorks* (versão 15, de 2009). O Diagrama de Piper, proposto por Piper (1944), é utilizado frequentemente quando se trabalha com um número significativo de

análises químicas de água, servindo para classificar e comparar os distintos grupos de água quanto aos íons dominantes.

Este diagrama combina três diferentes campos para a plotagem, sendo dois campos triangulares e um romboédrico. Os triangulares estão situados na parte inferior, onde são plotados os cátions, à esquerda, e os ânions, à direita. Os resultados das análises são plotados em porcentagem. Os pontos são marcados nos triângulos, indicando as concentrações relativas dos diversos constituintes dissolvidos na amostra de água (Figura 5.13).

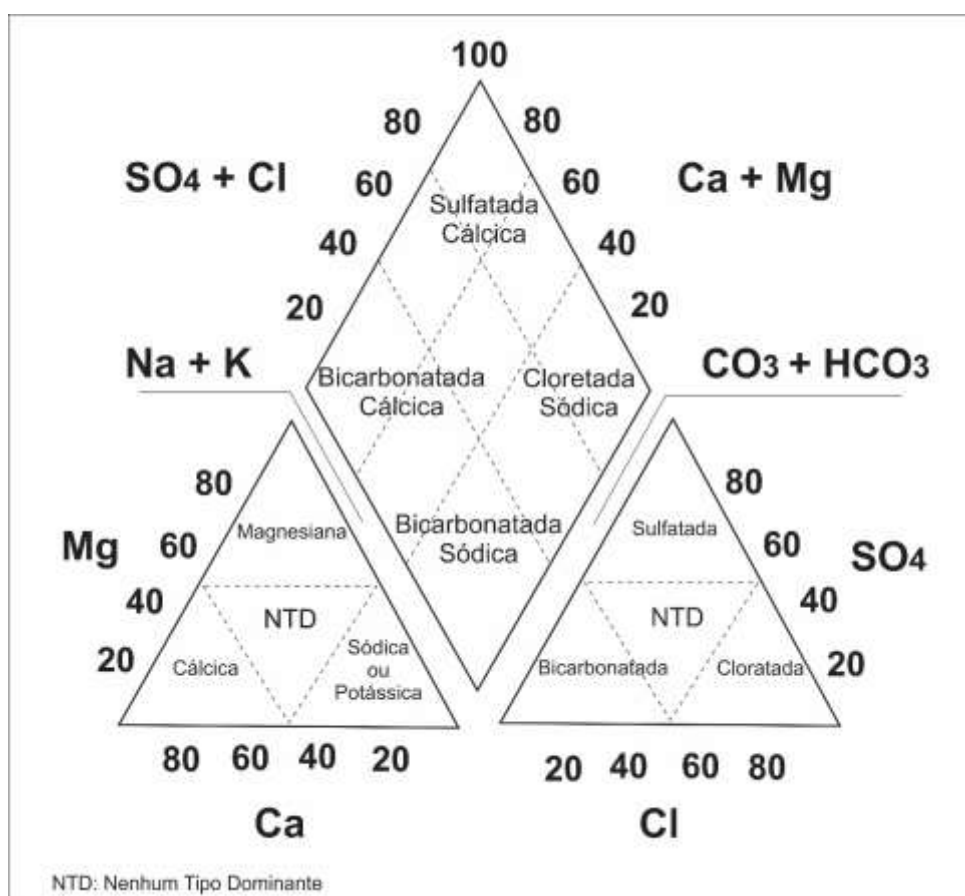


Figura 5.13. Classificação das águas pelo Diagrama de Piper

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados levantados neste estudo serão avaliados e discutidos neste capítulo, com a apresentação dos resultados relativos aos dois principais objetivos dessa pesquisa, que são: (i) Índice de Qualidade da Água (IQA); (ii) Hidroquímica de Águas Superficiais e (iii) Isótopos Ambientais.

6.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

A resolução normativa do CONAMA nº357/2005 (BRASIL, 2005) estabelece a classificação das águas superficiais segundo a sua utilização, definindo os parâmetros de qualidade a serem atendidos para cada classe, de acordo com o uso pretendido. Neste trabalho, foram analisadas as águas da Bacia Hidrográfica do Alto Jacaré-Pepira (SP), que de acordo com a resolução CONAMA nº357/2005, se enquadram como rios de classe 2 (IPT, 2000). Os limites estabelecidos para esta classe, são apresentados nas tabelas 6.1 (resultados da campanha de inverno) e 6.2 (resultados da campanha de verão), e serão discutidos e comparados com os resultados do estudo.

A avaliação da qualidade das águas superficiais na Bacia do Rio Jacaré-Pepira foi realizada por meio do cálculo do Índice de Qualidade da Água (Equação 2), realizado para tentar simplificar a interpretação dos valores encontrados das variáveis analisadas. A partir da determinação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, nos dezessete pontos de amostragem da área estudada, efetuou-se inicialmente análise dos parâmetros que compõem o IQA, cujos resultados são apresentados na Tabela 6.1 e 6.2, e posteriormente a determinação a classificação do IQA (classificação adotada pela CETESB, exibida no Quadro 4.3).

Para a composição do IQA, foram analisados os seguintes parâmetros: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), turbidez, sólidos totais dissolvidos (STD), sólidos suspensos totais (STS), cor, fósforo, nitrogênio, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) coliformes totais, coliformes termotolerantes (*E. Coli*).

Tabela 6.1. Resultados dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e IQA (inverno)

Ponto	Hora Coleta	T _{ar}	T _{água}	pH campo	OD	OD	CE campo	Turb.	STD	SST	DBO	Coli. Total	E. Coli	Sal.	Cor	P	N	IQA
		°C	°C	-	%	mg L ⁻¹	µS/cm	UNT	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	NMP.100 ml ⁻¹	NMP.100 ml ⁻¹	mg L ⁻¹	mgPtCo L ⁻¹	mg L ⁻¹	
A1	08:20	15,00	17,52	5,26	87,70	8,39	12,00	5,18	10,02	6,20	2,90	4569,00	86,00	0,00	64	0,0074	1,46	70
A2	09:17	17,80	18,17	6,27	97,00	8,86	36,00	10,10	34,94	3,80	1,50	7555,00	249,00	0,01	68	0,0116	1,54	75
A3	10:25	27,00	17,30	6,53	125,50	12,00	47,00	9,15	38,24	3,40	3,30	5247,00	42,00	0,02	59	0,0616	0,76	76
A4	09:50	23,80	16,50	6,44	92,80	9,05	31,00	10,40	23,78	3,20	2,60	5012,00	121,00	0,01	76	0,0000	1,02	78
A5	11:20	27,00	17,00	6,15	126,00	12,20	16,00	5,93	13,45	3,40	2,50	2035,00	31,00	0,01	41	0,0063	0,88	77
B1	11:45	23,00	19,08	6,90	127,30	11,76	17,00	6,35	12,07	3,00	3,10	3784,00	487,00	0,01	39	0,0000	0,52	71
B2	10:10	19,80	16,80	6,79	136,30	13,06	36,00	12,20	31,40	7,00	1,90	8297,00	1296,00	0,01	82	0,0329	0,62	63
B3	12:25	22,00	19,00	6,53	103,80	9,57	30,00	7,87	23,01	4,60	1,40	5492,00	31,00	0,02	61	0,0000	1,28	82
B4	11:58	22,50	16,80	6,70	70,00	7,00	46,00	2,46	37,72	1,60	2,50	2987,00	122,00	0,02	19	0,0047	1,52	78
B5	10:55	19,90	16,20	7,20	132,00	13,40	24,00	9,44	21,11	2,40	0,30	5247,00	399,00	0,01	78	0,0000	1,72	69
B6	11:15	22,50	16,60	5,09	132,80	12,95	14,00	10,00	10,86	1,60	2,70	2924,00	368,00	0,01	68	0,0029	0,68	58
C2	12:10	24,10	14,60	6,28	98,90	10,00	30,00	16,80	23,90	10,40	2,30	5748,00	298,00	0,01	105	0,0823	0,72	72
C3	11:40	23,50	16,62	5,59	96,00	9,07	12,00	2,96	9,02	1,60	3,50	1529,00	41,00	0,01	24	0,0164	1,08	75
C4	13:32	25,90	20,56	7,23	109,30	9,70	82,60	7,96	70,43	2,60	3,60	8704,00	163,00	0,04	58	0,0103	1,52	77
C5	09:06	15,00	16,58	6,02	126,30	12,25	21,00	22,40	17,29	11,00	1,00	3968,00	364,00	0,01	129	0,0111	1,26	68
C6	14:25	23,26	19,61	7,23	107,90	9,89	45,00	15,10	37,04	9,20	3,60	5492,00	161,00	0,02	98	0,0349	1,02	75
C7	09:40	13,40	14,40	7,06	121,20	12,52	29,00	10,80	23,61	1,40	4,80	7915,00	1313,00	0,01	68	0,0038	0,56	67
Média	-	21,50	17,26	6,43	111,22	10,69	31,09	9,71	25,76	4,49	2,56	5088,53	327,76	0,01	66,88	0,0168	1,07	72,41
VMP*	-	-	< 40	6 a 9	-	> 5	-	< 100	< 500	-	< 5	< 5000	< 1000	-	75	0,1	< 2,18	-

Legenda: T_{ar} – Temperatura do ar; T_{água} – Temperatura da água; pH – Potencial Hidrogeniônico; OD – Oxigênio Dissolvido; CE – Condutividade Elétrica; Turb. – Turbidez; STD – Sólidos Totais dissolvidos; SST – Sólidos Suspensos Totais; DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio; Coli. Total – Coliformes Totais; E. Coli – *Escherichia Coli*; Sal – Salinidade; P – Fósforo Total; N – Nitrogênio Total; IQA – Índice de Qualidade da Água; os valores em negrito representam aqueles que estão fora dos limites definidos pela Resolução CONAMA n°357/2005

VMP* - Valores Máximos Permitidos de acordo com a Resolução CONAMA n°357/2005

Tabela 6.2. Resultados dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e IQA (verão)

Ponto	Hora Coleta	T _{ar}	T _{água}	pH campo	OD	OD	CE campo	Turb.	STD	SST	DBO	Coli. Total	E. Coli	Sal.	Cor	P	N	IQA
		°C	°C	-	%	mg L ⁻¹	µS/cm	UNT	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	NMP.100 ml ⁻¹	NMP.100 ml ⁻¹	mg L ⁻¹	mgPtCo L ⁻¹	mg L ⁻¹	
A1	08:02	24,00	22,94	4,20	98,30	8,56	16,99	9,12	10,79	15,00	2,40	6586,00	288,00	0,00	109	0,0088	1,54	59
A2	08:35	19,80	20,33	5,95	189,30	17,10	38,00	7,68	32,49	3,60	7,30	>24192	173,00	0,02	75	0,0168	1,68	66
A3	09:27	21,75	20,36	6,71	74,10	6,20	54,00	11,60	47,57	4,40	6,40	24192,00	171,00	0,03	103	0,0322	0,84	74
A4	09:56	23,00	20,60	6,62	72,30	6,06	35,00	12,80	27,50	4,60	7,00	11199,00	228,00	0,02	140	0,0220	1,12	73
A5	10:24	23,00	20,20	6,60	69,10	5,69	17,00	8,09	15,10	3,20	7,20	8164,00	109,00	0,00	102	0,0105	0,98	75
B1	11:30	25,10	25,50	5,51	123,00	9,38	14,00	4,59	10,67	1,80	4,30	7915,00	1169,00	0,01	72	0,0154	0,56	66
B2	10:32	22,00	22,19	6,42	161,80	13,30	45,00	11,10	35,60	8,40	3,80	24192,00	776,00	0,02	77	0,0137	0,56	72
B3	11:28	25,00	23,50	7,00	56,70	4,42	35,00	7,71	25,74	4,20	6,50	3609,00	86,00	0,02	81	0,0102	1,40	63
B4	10:55	23,00	21,53	6,40	50,80	4,08	52,00	7,19	41,30	7,00	9,10	8164,00	160,00	0,02	92	0,0203	1,68	62
B5	10:49	24,11	22,45	6,20	102,40	8,85	33,30	11,60	10,06	7,50	0,30	8297,00	238,00	0,02	148	0,0291	1,68	75
B6	10:25	25,50	21,60	5,60	111,10	9,79	15,57	8,39	10,62	19,00	1,80	7915,00	880,00	0,01	105	0,0203	0,56	62
C2	13:23	21,30	22,30	6,03	104,70	8,60	26,00	22,90	19,84	10,80	5,90	24192,00	1119,00	0,01	209	0,0090	0,84	72
C3	13:55	26,30	24,70	4,93	81,00	6,30	11,00	5,02	8,56	7,60	8,90	7915,00	240,00	0,01	47	0,0203	1,26	72
C4	09:17	23,40	21,51	7,25	132,70	11,70	88,80	8,81	78,44	4,50	1,00	9606,00	496,00	0,03	72	0,0078	1,54	72
C5	09:56	20,70	22,20	5,35	129,70	10,40	21,00	15,30	16,99	11,80	1,00	12997,00	780,00	0,01	114	0,0154	1,54	66
C6	08:42	23,30	20,40	6,10	112,60	10,00	50,30	17,20	42,60	10,50	0,20	9606,00	364,00	0,02	194	0,0177	1,26	64
C7	09:58	29,30	23,00	6,89	110,50	9,45	37,60	13,80	28,25	7,00	6,90	8704,00	573,00	0,02	175	0,0132	0,84	67
Média	-	23,56	22,08	6,10	104,71	8,82	34,74	10,76	27,18	7,70	4,71	11453,31	461,76	0,02	112,65	0,0166	1,17	68,24
VMP*	-	-	< 40	6 a 9	-	> 5	-	<100	< 500	-	< 5	< 5000	< 1000	-	75	0,1	< 2,18	-

Legenda: T_{ar} – Temperatura do ar; T_{água} – Temperatura da água; pH – Potencial Hidrogeniônico; OD – Oxigênio Dissolvido; CE – Condutividade Elétrica; Turb. – Turbidez; STD – Sólidos Totais dissolvidos; SST – Sólidos Suspensos Totais; DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio; Coli. Total – Coliformes Totais; E. Coli – *Escherichia Coli*; Sal – Salinidade; P – Fósforo Total; N – Nitrogênio Total; IQA – Índice de Qualidade da Água; os valores em negrito representam aqueles que estão fora dos limites definidos pela Resolução CONAMA n°357/2005

VMP* - Valores Máximos Permitidos de acordo com a Resolução CONAMA n°357/2005

6.1.1 TEMPERATURA

Na figura 6.1 são mostradas as variações sazonais com os valores da temperatura da água registrada nas duas campanhas de amostragem. Durante a campanha de inverno a variação da temperatura foi de 14,4 °C a 20,6 °C, e durante a campanha de verão foi de 20,2 °C a 25,5 °C.

Para a temperatura, o limite estabelecido, de acordo com a Resolução CONAMA nº357/05 para rios de classe 2, é de até 40 °C, portanto nenhum ponto de amostragem ultrapassou o limite permitido.

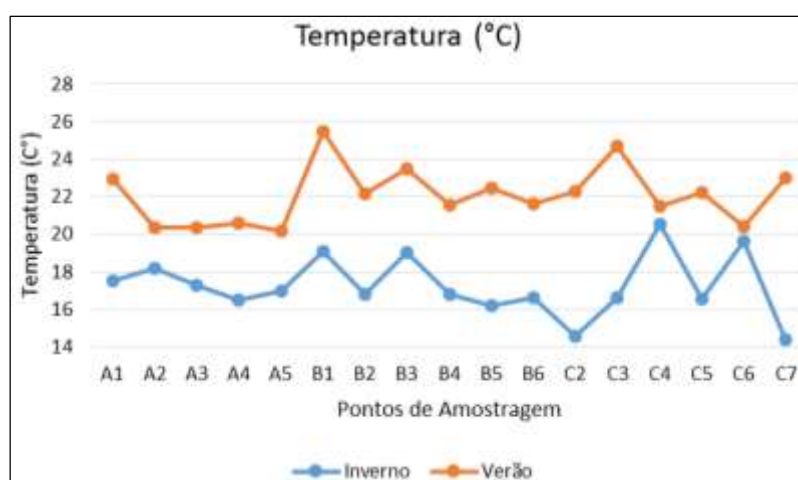


Figura 6.1. Comparação da temperatura da água nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno)

6.1.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

O pH é governado pelo equilíbrio químico no sistema carbonático, composto por ácido carbônico-bicarbonato e carbonatos. Verificou-se que o pH durante a campanha de inverno variou de 5,09 a 7,23, enquanto na campanha de verão a variação foi de 4,20 e 7,25 (Figura 6.2).

Nas amostragens realizadas, os valores de pH indicam que as águas da sub-bacia estão ligeiramente neutras, encontrando-se dentro da faixa de proteção da vida aquática, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe 2, que estabelece um limite de pH entre 6 e 9.

Algumas amostras apresentaram valor de pH pouco abaixo do limite da Resolução CONAMA nº 357/2005, sendo elas: A1, B6 e C3 durante a campanha de inverno, e A1, A2, B1, B6, C3 e C5 durante a campanha de verão, provavelmente em função da dissolução de ácido carbônico, ou a presença de ácidos húmicos, que tornam o pH ácido.

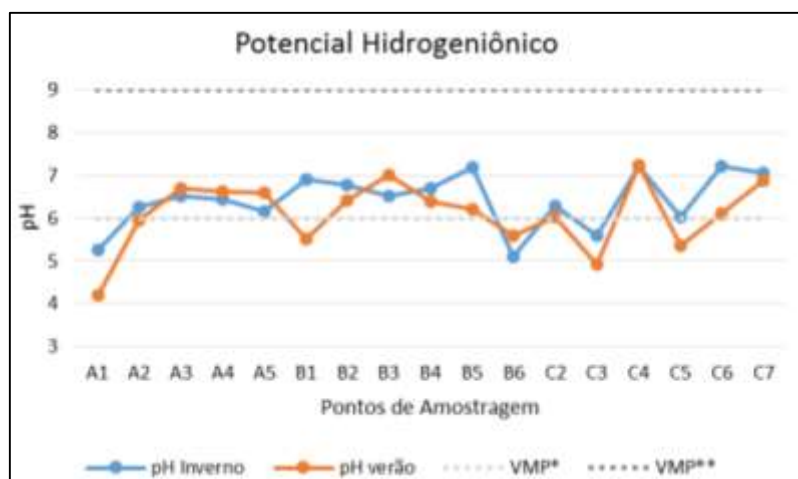


Figura 6.2. Comparação do pH nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno) VPM*-Valor Mínimo Permitido e VMP**-Valor Máximo Permitido, de acordo com a Resolução CONAMA n°357/2005

6.1.3 OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

As concentrações de oxigênio dissolvido variaram de 7,00 mg L⁻¹ a 13,40 mg L⁻¹ durante a campanha de inverno, e de 4,08 mg L⁻¹ a 17,10 mg L⁻¹ durante a campanha de verão. As concentrações médias foram de 10,69 mg L⁻¹ para as amostras coletadas na campanha de inverno, e 8,82 mg L⁻¹ para as amostras coletadas na campanha de verão (Figura 6.3).

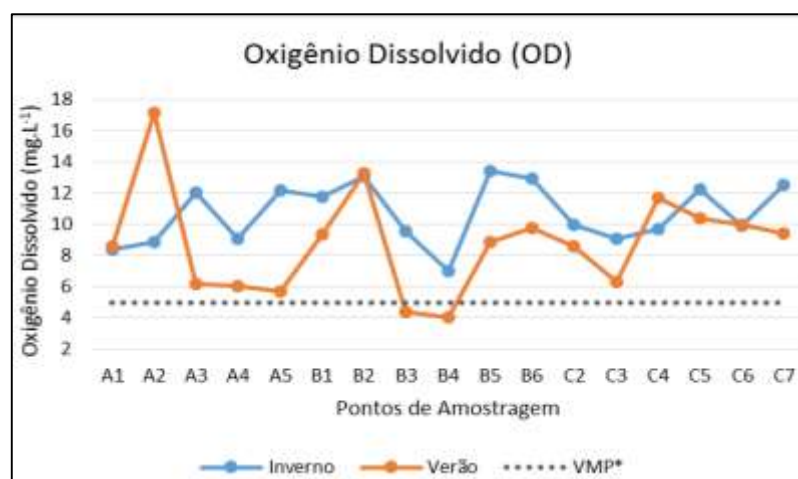


Figura 6.3. Comparação do oxigênio dissolvido nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno) VPM*-Valor Mínimo Permitido e VMP**-Valor Máximo Permitido, de acordo com a Resolução CONAMA n°357/2005

A menor concentração de oxigênio dissolvido foi encontrada no ponto B4, tanto na campanha de inverno (7,00 mg L⁻¹) quanto na campanha de verão (4,08 mg L⁻¹), fato que pode estar associado a quantidade de matéria orgânica no ponto coletado, uma vez que, durante a degradação da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos

respiratórios, podendo causar uma redução de sua concentração. A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece uma concentração mínima de 5 mg L⁻¹ de oxigênio dissolvido para rios de classe 2.

6.1.4 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE)

A condutividade elétrica variou de 12,00 $\mu\text{S cm}^{-1}$ até 82,60 $\mu\text{S cm}^{-1}$ na campanha de inverno, e de 11,00 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 88,80 $\mu\text{S cm}^{-1}$ na campanha de verão.

A amostra do ponto C4 apresentou valor de condutividade elétrica bastante elevado em comparação as demais, fato que está diretamente relacionado com a alta concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) neste ponto da bacia. O rio onde foi realizada a coleta apresentava sinais de assoreamento e proximidade com área de pastagem, o que pode influenciar no aumento da concentração de STD e conseqüentemente, aumento da condutividade elétrica.

As variações observadas na CE das amostras coletadas nas duas campanhas, foram pouco significativas, observando-se boa correlação entre os valores medidos tanto para verão quanto para inverno (Figura 6.4).

Os valores de condutividade elétrica, em geral, aumentam em direção a jusante da bacia hidrográfica, devido ao aumento da carga de sólidos dissolvidos, entretanto, alguns pontos de amostragem apresentaram comportamento diferente do esperado, como é o caso dos pontos A2, A3, B4 e C4, em ambas as campanhas de amostragem, sendo estes pontos os que apresentaram concentrações mais elevadas de STD.

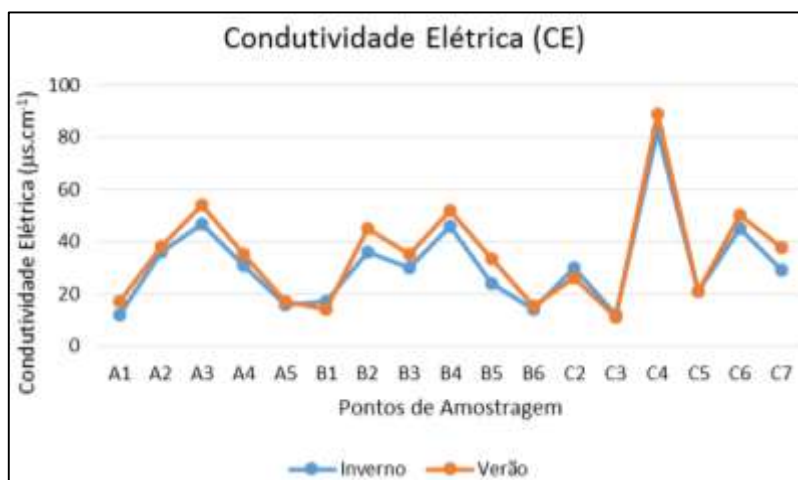


Figura 6.4. Comparação da condutividade elétrica nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno)

6.1.5 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (STD)

As concentrações de sólidos totais dissolvidos apresentaram variação de 9,02 mg L⁻¹ a 70,43 mg L⁻¹ para a campanha de inverno, e de 8,56 mg L⁻¹ até 78,44 mg L⁻¹ para a campanha de verão (Figura 6.5). As concentrações médias dos sólidos totais dissolvidos durante a amostragem de inverno foram de 25,76 mg L⁻¹, enquanto na amostragem de verão foram de 27,18 mg L⁻¹, apresentando pouca variação entre as diferentes campanhas de amostragem.

Os pontos que apresentaram maiores concentrações de sólidos totais dissolvidos foram A2, A3, B4, C4 e C6, em ambas as campanhas de amostragem. Com exceção do ponto C6, que está localizado à jusante de um dos afluentes do Rio Jacaré-Pepira, os demais pontos se encontram à montante da bacia, ou seja, as concentrações de STD deveria ser baixa, já que receberam pouca contribuição dos demais afluentes, apresentando comportamento fora do esperado.

Em todas as amostras coletadas, as concentrações de sólidos totais dissolvidos (STD) não ultrapassaram os limites estabelecidos pela CONAMA n° 357/2005, que estabeleceu um limite de 500 mg L⁻¹ para rios de classe 2.

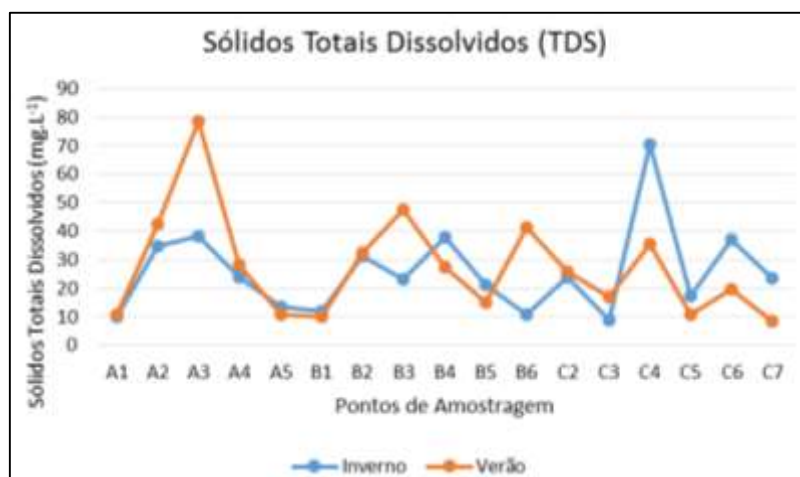


Figura 6.5. Comparação dos sólidos totais dissolvidos nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno)

6.1.6 TURBIDEZ

A figura 6.5 evidencia que a turbidez, manteve-se baixa ao longo das duas campanhas de amostragem, variando de 2,46 UNT a 16,80 UNT durante a campanha de inverno, e de 4,59 UNT a 22,90 UNT na campanha de verão, ficando abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA n°357/05 (Figura 6.6).

A turbidez está diretamente relacionada com a cor da água (medida em mgPtCo.L^{-1}), como pode ser comparado os gráficos das figuras 6.6 e 6.7.

A Resolução CONAMA n°357/05, estabelece o limite de até 100 UNT de turbidez para “água bruta” classe 2 antes de receber tratamento convencional e depois ser distribuída em sistemas de redes urbanos, não devendo ultrapassar o valor de 5,0 UNT conforme estabelece a Portaria n° 2.914 de 12/12/2011 do Ministério da Saúde.

Grande parte das águas dos rios são naturalmente turvas em decorrências das características geológicas da bacia de drenagem, ocorrência de altos índices pluviométricos e uso de práticas agrícolas (CETESB, 2010).

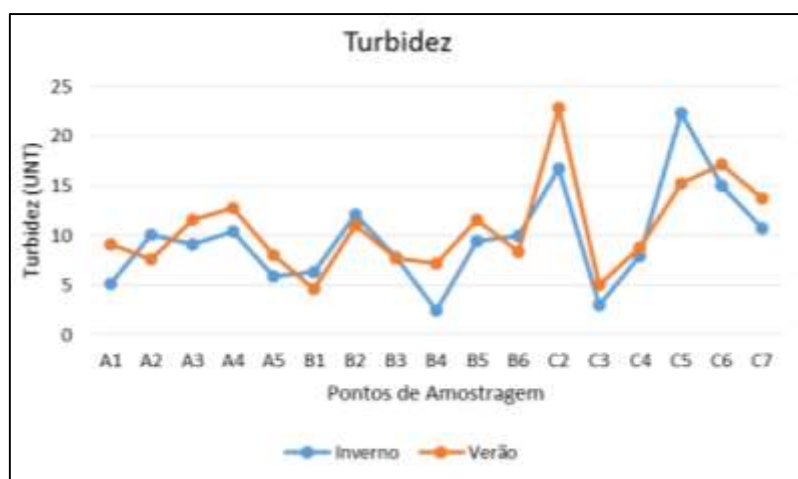


Figura 6.6. Comparação da turbidez nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno)

6.1.7 COR

A figura 6.7 mostra a variação de cor das amostras nas duas campanhas de amostragem, que variou de 19 mgPtCo.L^{-1} a 129 mgPtCo.L^{-1} na campanha de inverno, e de 47 mgPtCo.L^{-1} a 209 mgPtCo.L^{-1} na campanha de verão.

Na campanha de inverno, 6 amostras estavam acima do limite permitido pela CONAMA n°357/05, enquanto na campanha de verão o número foi mais elevado, 12 amostras estavam acima do limite permitido.

Apesar de ser um parâmetro apenas visual e não influenciar na qualidade da água, o valor elevado da cor em alguns pontos de coleta pode estar relacionado com a presença de sólidos em suspensão, ou então estar diretamente relacionada com a elevada turbidez.

A Resolução CONAMA n°357/05, estabelece o limite de até 75 mgPtCo.L^{-1} de cor para “água bruta”, para rio de classe 2, antes de receber tratamento convencional e depois ser

distribuída em sistemas de redes urbanas, não devendo, após tratamento, mostrar cor aparente superior a 15 mgPtCo.L^{-1} , conforme estabelece a Portaria nº 2.914 de 12/12/2011 do Ministério da Saúde.

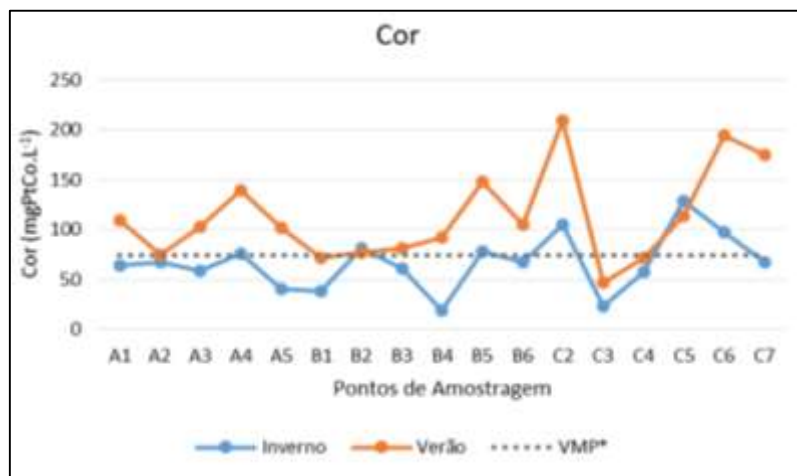


Figura 6.7. Variação da cor nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno)
VPM*-Valor Mínimo Permitido e VMP**-Valor Máximo Permitido, de acordo com a Resolução CONAMA nº357/2005

6.1.8 FÓSFORO TOTAL

A variação das concentrações de fósforo total (expresso em P) foram maiores durante a campanha de inverno, variando de 0 mg L^{-1} a $0,0823 \text{ mg L}^{-1}$, enquanto na campanha de verão variou de $0,0088 \text{ mg L}^{-1}$ a $0,0322 \text{ mg L}^{-1}$. A figura 6.8, mostra que em todos os pontos de amostragem foram observadas variações significativas entre as diferentes campanhas.

As maiores variações foram observadas nos pontos A3 e C7 durante a campanha de inverno, e A3 e B5 durante a campanha de verão. O valor elevado da concentração de fósforo pode estar relacionado com a proximidade destes pontos com drenagem de áreas agrícolas (especialmente nos pontos A3 e C7) e urbanas (especialmente no ponto B5) no entorno da área de coleta, que pode provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais.

A Resolução CONAMA nº357/05, estabeleceu o limite de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ($100 \mu\text{g L}^{-1}$) para ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários pertencentes a classe 2, portanto, nenhum dos pontos de amostragem encontra-se fora dos padrões definidos.

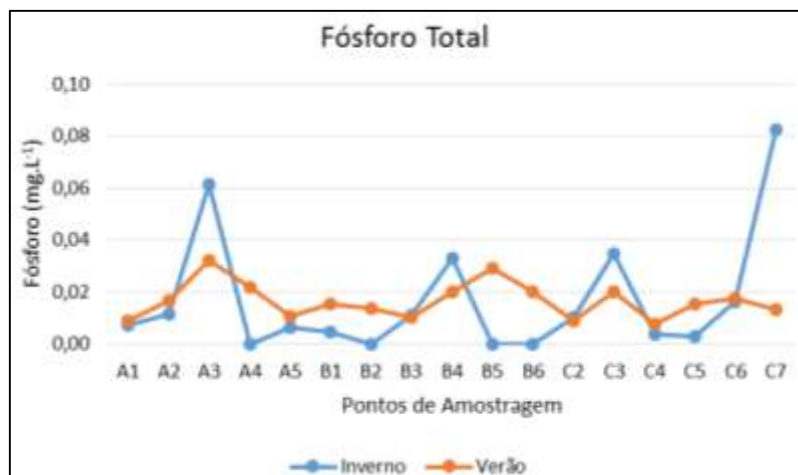


Figura 6.8. Comparação do fósforo total nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno)

6.1.9 NITROGÊNIO TOTAL

As concentrações de nitrogênio (expresso em N), apresentam variações significativas entre os pontos amostrados. Na campanha de inverno as concentrações de nitrogênio variaram de 0,52 mg L⁻¹ a 1,72 mg L⁻¹, enquanto na campanha de verão a variação observada foi de 0,56 mg L⁻¹ a 1,68 mg L⁻¹ (Figura 6.9).

Os pontos que apresentaram maior concentração de nitrogênio foram A2, B5, C4 e C5 em ambas campanhas de amostragem. De acordo com a figura 3.5 (mapa de uso e ocupação do solo), a elevada concentração de nitrogênio nos pontos A2, C4 e C5 pode estar associado com a proximidade de áreas agrícolas, que promovem o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados, e contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio, entre eles, o nitrogênio total. A localização do ponto B5 dentro da cidade de Brotas pode ser a causa da concentração elevada neste ponto, já que, a drenagem das águas pluviais, associada esgotamento sanitário, também constituem uma fonte de nitrogênio total.

No caso da Resolução CONAMA n°357/05, o limite estabelecido para ambiente lótico é de no máximo 2,18 mg L⁻¹, ou seja, nenhum ponto de amostragem apresentou-se fora dos limites permitidos.

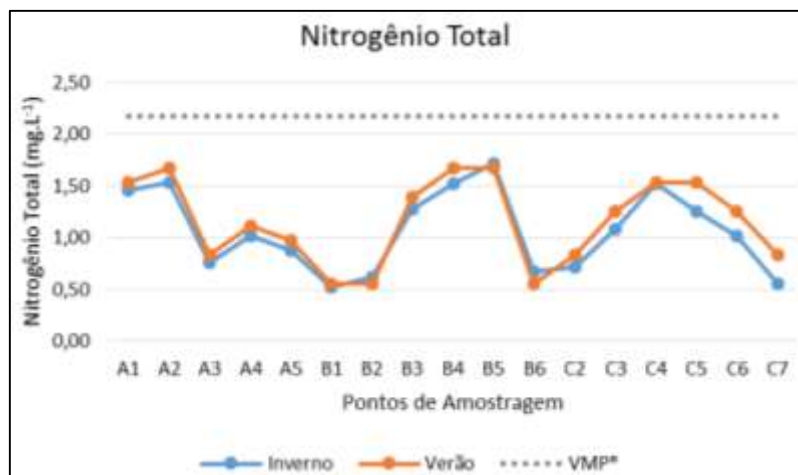


Figura 6.9. Comparação do nitrogênio total nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno) VPM*-Valor Mínimo Permitido e VMP**-Valor Máximo Permitido, de acordo com a Resolução CONAMA n°357/2005

6.1.10 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)

A variação da DBO durante a campanha de inverno foi de 0,3 mg L⁻¹ até 4,8 mg L⁻¹, e de 0,2 mg L⁻¹ até 9,1 mg L⁻¹ na campanha de verão (Figura 6.10)

Nenhuma amostra coletada durante o período de inverno excedeu o limite permitido pela CONAMA n° 357/2005, enquanto em nove amostras coletadas durante o período de verão foram observadas concentrações de DBO acima do limite permitido pela Resolução CONAMA (5 mg L⁻¹ para rios de classe 2).

O ponto de amostragem que sofreu maior variação sazonal foi o ponto B4, que apresentou concentração de 2,5 mg L⁻¹ no inverno, passando para 9 mg L⁻¹ no verão, que pode estar relacionado com o aumento da matéria orgânica no ponto de coleta nas diferentes estações.

O aumento significativo nas concentrações de DBO no período de verão, que é caracterizado por um índice pluviométrico maior, está associado ao escoamento superficial, que carrega para os cursos d'água uma quantidade maior de material orgânico, proveniente da atividade agrícola desenvolvida na área de estudo.

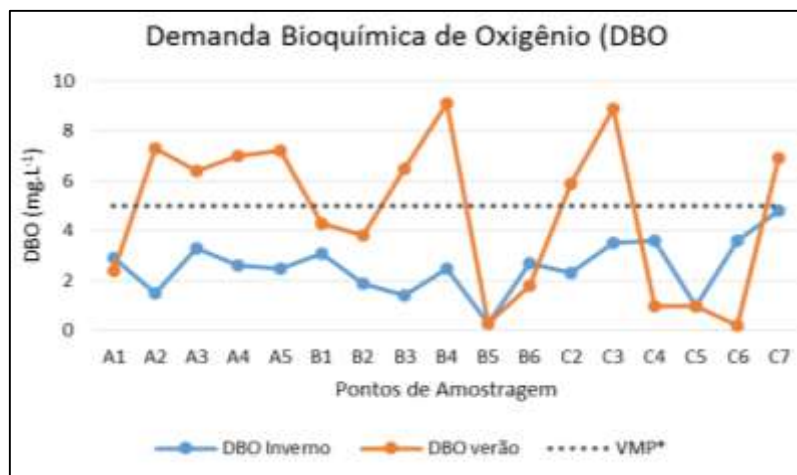


Figura 6.10. Comparação da DBO nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno) **VPM***-Valor Mínimo Permitido e **VMP****-Valor Máximo Permitido, de acordo com a Resolução CONAMA n°357/2005

6.1.11 COLIFORMES TOTAIS

A contagem de coliformes totais variou de 1.529 NMP 100mL⁻¹ até 8.704 NMP 100mL⁻¹, para a campanha de inverno, e de 3.609 NMP 100mL⁻¹ até 24.192 NMP 100mL⁻¹ na campanha de verão (Figura 6.11).

Nas análises realizadas para determinação das contagens de coliformes totais, verificou-se que no inverno, 10 dos 17 pontos de amostragem apresentaram contagens superiores aos limites permitidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005 (5000 NMP 100mL⁻¹), e na campanha de verão, 16 dos 17 pontos apresentaram contagens superiores aos limites estabelecidos.

A distribuição espacial das contagens de coliformes totais durante a campanha de inverno, mostra que os pontos localizados a montante da bacia (A1, A5, B4, C5, B1, B6 e C3), apresentam as menores contagens, não ultrapassando os limites estabelecidos pela CONAMA n° 357/2005. Entretanto na campanha realizada no período de verão, apenas um ponto não extrapolou este limite (B3).

Os maiores valores obtidos para coliformes totais foram na segunda campanha de amostragem (verão), devido ao aumento da temperatura, já que esse grupo de bactérias necessita de altas temperaturas para reproduzir-se, e devido ao carreamento mais intenso de sedimentos para o leito dos rios, uma vez que, este grupo de bactéria pode ter ocorrência natural no solo e na água, sendo este parâmetro um fator determinante da existência de microrganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças.

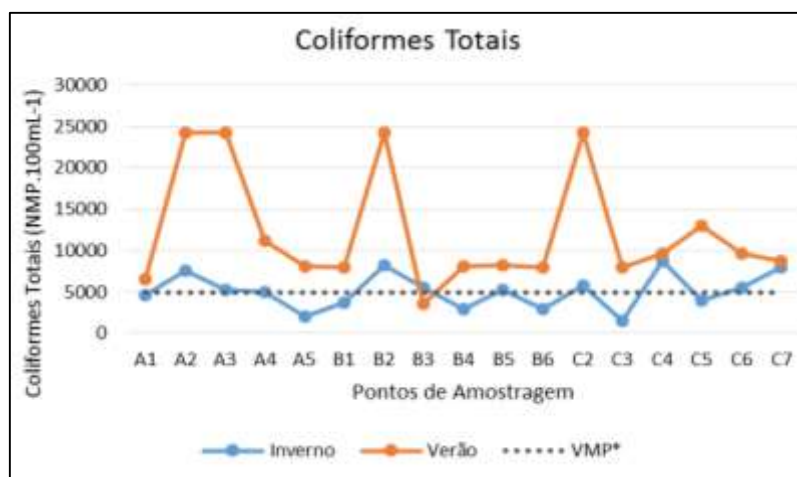


Figura 6.11. Comparação coliformes totais nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno) **VPM***-Valor Mínimo Permitido e **VMP****-Valor Máximo Permitido, de acordo com a Resolução CONAMA n°357/2005

6.1.12 COLIFORMES TERMOTOLERANTES (*E. COLI*)

A contagem de coliformes termotolerantes (*E. Coli.*) apresentou variação de 31 NMP 100mL⁻¹ até 1.313 NMP 100mL⁻¹ para a campanha de inverno, e de 86 NMP 100mL⁻¹ até 1.169 NMP 100mL⁻¹ para a campanha de verão.

Os pontos que sofreram maiores variações nas contagens, entre as duas campanhas de amostragem, foram o B1 (variou de 487 NMP 100mL⁻¹ no inverno para 1.169 NMP 100mL⁻¹ no verão) e o C2 (variou de 298 NMP 100mL⁻¹ no inverno para 1.119 NMP 100mL⁻¹ no verão). A maioria dos pontos apresentaram resultados de contagens superiores durante a campanha de verão, com exceção dos pontos A2, B2, B5 e C7, que apresentaram contagens maiores durante a campanha de inverno (Figura 6.12).

Os resultados de contagem para coliformes termotolerantes (*E. Coli*) indicam que dois pontos (B2 e C7) na campanha de inverno, e dois pontos na campanha de verão (B1 e C2) apresentaram contagens acima do limite permitido pela Resolução CONAMA n° 357/2005, que estabeleceu como limite 1.000 NMP 100ml⁻¹ para termotolerantes (*E. Coli*). Atividades agrícolas e a presença de pastagem na área de estudo podem ser consideradas como possíveis fontes de contaminação das águas da sub-bacia.

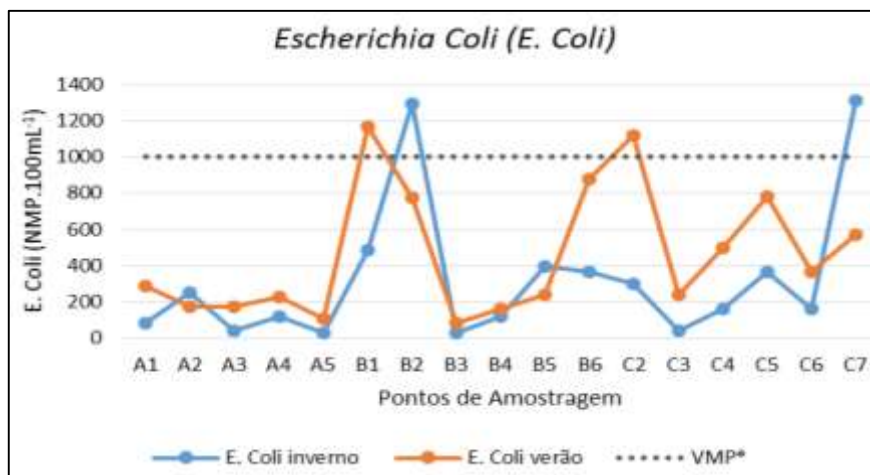


Figura 6.12. Comparação dos *E. Coli* nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno) VPM*-Valor Mínimo Permitido e VPM**-Valor Máximo Permitido, de acordo com a Resolução CONAMA nº357/2005

6.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NA SUB-BACIA DO ALTO JACARÉ-PEPIRA

Na Figura 6.13 encontra-se o gráfico de comparação dos resultados do IQA entre as duas campanhas de amostragem, e na figura 6.14 o mapa da distribuição espacial do IQA ao longo da sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira. Para o cálculo do IQA foram utilizadas as Equações 1 e 2, bem como o programa desenvolvido por Von Sperling (Modelo de Qualidade da Água de Rios, 2007), descrito no subcapítulo 5.5.

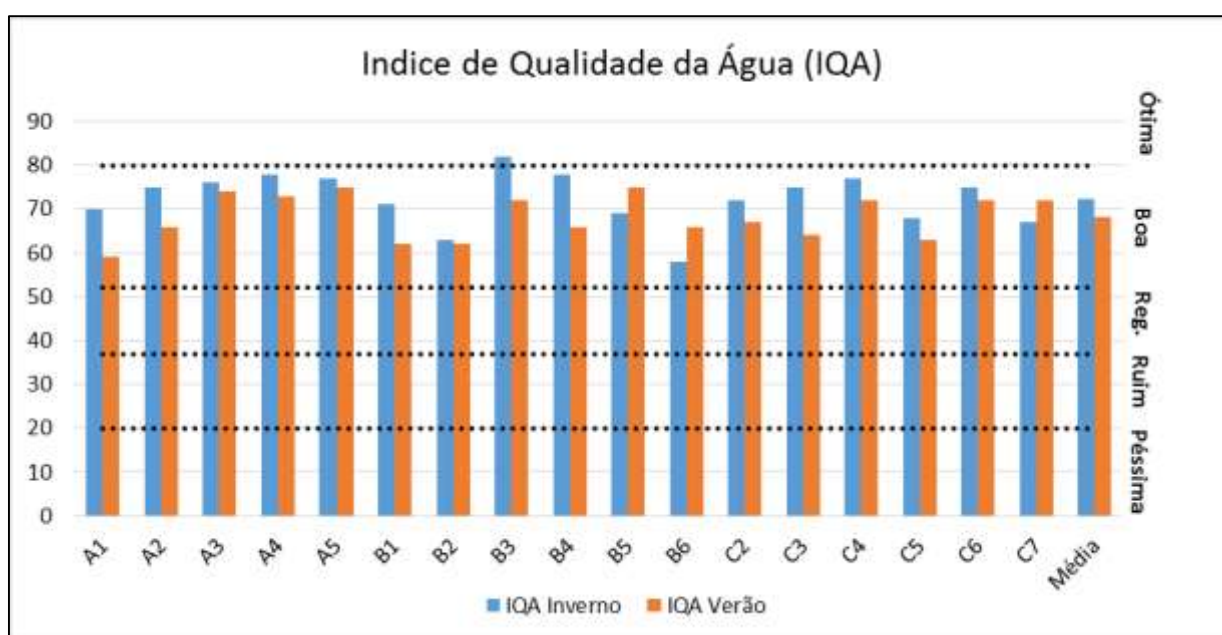


Figura 6.13. Valores do Índice da Qualidade da Água (IQA) nas duas campanhas de amostragem e a classificação adotada pela CETESB

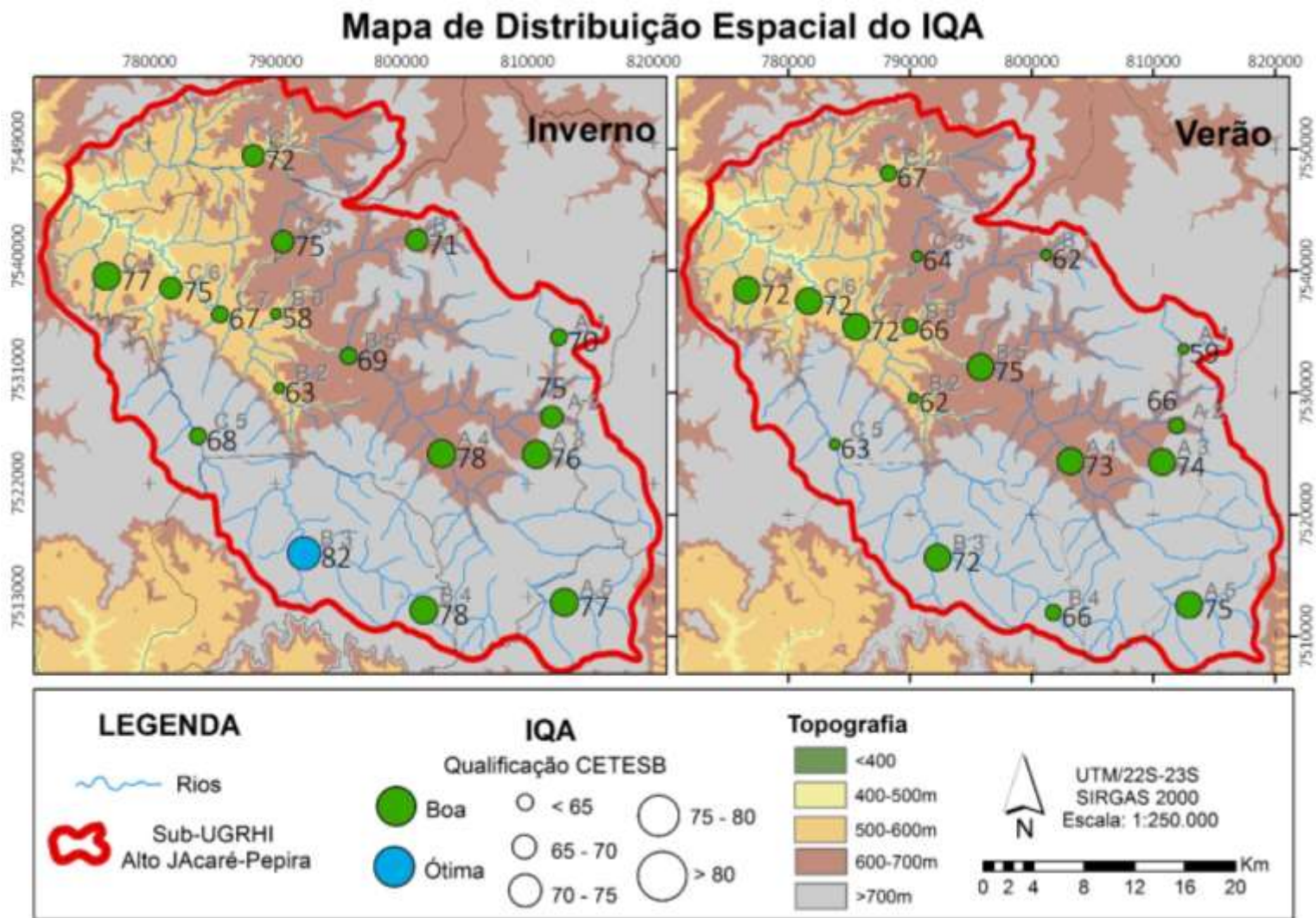


Figura 6.14. Mapa de distribuição espacial do IQA na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira durante as campanhas de inverno e verão

A avaliação dos resultados apresentados nas figuras 6.13 e 6.14, indica que houve pequena variação na qualidade das águas superficiais na área de estudo, evidenciada pelos valores calculados para o IQA, para as duas campanhas de amostragem realizadas.

Os valores de IQA variaram de 63 a 82 durante a campanha de inverno e de 59 a 75 durante a campanha de verão, com os melhores índices observados nos pontos a montante da bacia, e os índices menores a jusante. De acordo com a classificação adotada pela CETESB para o IQA, apenas o ponto B3 se enquadrou na categoria “ótima” durante a campanha de inverno, apresentando valor de IQA de 82. Os demais pontos de amostragem se enquadraram na categoria “boa”.

Os menores valores de IQA estão associados a uma maior presença de coliformes termotolerantes (*E. Coli.*), redução do oxigênio dissolvido (OD) e da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), indicando que os pontos críticos são aqueles próximos as cidades de Brotas (B5, B6 e C7) e o ponto que recebe o aporte de água proveniente da cidade de Torrinha (B2), indicando uma alteração promovida pela ação antrópica, enquanto os maiores valores, e conseqüentemente a melhor classificação, se encontram nas áreas das cabeceiras de drenagem (montante da bacia), associados a menores bacias de contribuição e ausência de fontes de contaminação.

Os pontos de amostragem B5, B6 e C7 apresentaram comportamento inverso para os valores de IQA em relação aos demais pontos avaliados. Enquanto os outros pontos de amostragem apresentaram piora na qualidade das águas superficiais, quando se compara as amostras coletadas no inverno para o verão, esses três pontos apresentaram uma melhora, mesmo que não tenha sido suficiente para alterar sua qualificação na escala proposta pela CETESB. Essa alteração, nos três pontos, deve-se principalmente as concentrações de oxigênio dissolvido (OD) e a contagem dos coliformes termotolerantes, sendo este, o parâmetro que apresentou maior variação entre uma campanha e outra, causada possivelmente pela diferença de volume de água entre as estações e a conseqüente diluição das partículas.

A CETESB vem monitorando desde 1978 a qualidade das águas superficiais na Bacia do Rio Jacaré-Pepira, inicialmente com um ponto de amostragem, até o ano de 2010, quando um segundo ponto de monitoramento foi implantado na sub-bacia. A comparação entre os valores de IQA observados nos pontos monitorados pela CETESB (PPEP03500 e JPEP03600), localizados à jusante da sub-bacia estudada (vide Figura 5.2), de maneira geral, apresentaram valores de IQA semelhantes aos valores médios do IQA na sub-bacia do alto Jacaré-Pepira. Pode-se afirmar que a contribuição de águas provenientes de sub-bacias preservadas, tanto na margem direita, quanto na margem esquerda do Rio Jacaré-Pepira contribui para a melhoria

dos índices de IQA das suas águas à jusante da cidade de Brotas (Pontos B5 e B6), demonstrado pelos valores de IQA observados nos pontos monitorados pela CETESB, no intervalo de tempo de 2003 a 2013, que variam de 67 a 78 durante a campanha de inverno, e de 54 a 72 durante a campanha de verão (Figura 6.15).

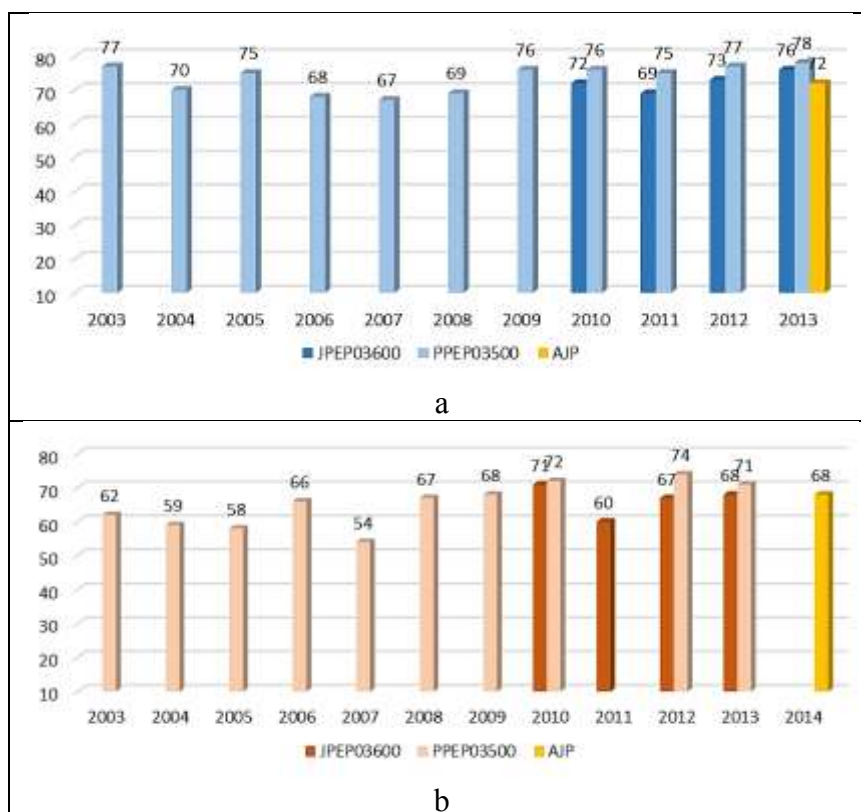


Figura 6.15. Série temporal dos resultados do IQA do monitoramento da CETESB (PPEP03500 e JPEP03600) e resultado das médias do IQA na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira (AJP) na primeira (a) e segunda (b) campanha de amostragem

Fonte: CETESB (dados de 2003 a 2013)

6.3 HIDROQUÍMICA DE ÁGUAS SUPERFICIAIS

As águas superficiais da sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira foram classificadas em função de suas características físico-químicas com a utilização de métodos gráficos (gráficos de correlação e Diagrama de Piper). A avaliação dos possíveis processos geoquímicos relacionados a processos de interação água/rocha, ou a ação antrópica, foi realizada com a utilização de métodos estatísticos (estatística básica) e análise das principais relações iônicas observadas. Os resultados das análises físico-químicas são apresentados nas tabelas 6.3 e 6.4 (1ª campanha de amostragem) e 6.5 e 6.6 (2ª campanha de amostragem).

Tabela 6.3. Resultados das Análises Químicas – Condutividade elétrica (CE), pH, alcalinidade, ânions e erro do balanço iônico (inverno)

Ponto	CE _{Lab.}	CE _{Campo}	pH _{Lab.}	pH _{Campo}	Alcalinidade (mg L ⁻¹)		Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Erro
	μS cm ⁻¹	μS cm ⁻¹			HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻					
A1	13,10	12,00	6,73	5,26	5,42	-	0,60	< 0,02	0,66	0,13	4,70
A2	43,40	36,00	7,23	6,27	21,40	-	1,20	< 0,02	2,06	0,37	6,23
A3	46,10	47,00	7,23	6,53	25,70	-	1,11	< 0,02	0,90	0,25	6,21
A4	29,30	31,00	7,08	6,44	15,60	-	0,94	< 0,02	0,54	0,19	7,02
A5	17,30	16,00	6,83	6,15	8,25	-	0,91	< 0,02	0,47	0,10	5,18
B1	16,80	17,00	6,61	6,90	4,12	-	0,57	< 0,02	4,01	0,09	2,78
B2	39,70	36,00	7,10	6,79	18,70	-	1,85	0,04	1,74	0,32	6,41
B3	28,40	30,00	7,06	6,53	15,10	-	0,97	< 0,02	0,64	0,05	5,44
B4	44,80	46,00	7,23	6,70	25,80	-	1,17	< 0,02	0,23	0,19	7,39
B5	26,10	24,00	6,98	7,20	13,50	-	1,02	< 0,02	0,55	0,17	6,13
B6	14,90	14,00	6,65	5,09	4,40	-	0,53	< 0,02	2,75	0,09	5,17
C2	30,50	30,00	6,95	6,28	12,60	-	1,11	< 0,02	3,30	0,25	4,46
C3	12,50	12,00	6,61	5,59	4,65	-	0,64	< 0,02	0,91	0,11	6,09
C4	84,60	82,60	7,36	7,23	44,50	-	1,83	0,05	4,89	0,44	5,32
C5	21,50	21,00	6,92	6,02	11,20	-	0,65	< 0,02	0,50	0,12	6,17
C6	44,20	45,00	7,20	7,23	24,60	-	1,16	0,03	0,95	0,22	6,46
C7	30,90	29,00	7,01	7,06	13,50	-	1,48	< 0,02	1,72	0,29	5,77
Média	32,01	31,09	6,99	6,43	15,83	-	1,06	0,04	1,58	0,20	5,70

Tabela 6.4. Resultados das Análises Químicas – Cátions e Metais (1ª campanha)

Ponto	Na	NH ₄	K	Al	Ca	Fe	Mg	Mn	Si	Sr
	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
A1	0,53	< 0,02	1,75	0,02	0,38	0,11	0,55	0,01	5,36	0,01
A2	1,01	< 0,02	2,57	< 0,005	4,44	0,08	1,89	0,03	10,80	0,05
A3	1,55	< 0,02	1,42	0,01	5,09	0,44	2,22	0,06	9,38	0,06
A4	1,01	0,02	0,80	< 0,005	3,34	0,07	1,36	0,06	5,81	0,03
A5	0,91	0,04	0,52	< 0,005	1,55	0,12	0,74	0,04	3,76	0,02
B1	0,52	0,07	1,06	0,01	0,94	0,04	0,76	0,02	5,24	0,01
B2	1,78	0,18	1,08	0,01	4,36	0,21	1,57	0,03	6,51	0,04
B3	0,99	0,13	0,88	< 0,005	3,19	0,02	1,19	0,08	4,64	0,04
B4	0,91	0,16	0,75	< 0,005	7,05	0,08	1,62	0,01	4,59	0,03
B5	0,95	0,09	1,01	< 0,005	2,75	0,03	1,16	0,02	5,68	0,03
B6	0,53	0,08	1,03	0,02	0,83	0,06	0,70	0,01	5,29	0,01
C2	0,99	0,18	1,78	0,01	2,49	0,06	1,38	0,03	7,01	0,02
C3	0,57	0,07	0,92	0,02	0,68	0,07	0,54	0,01	4,89	0,01
C4	1,83	0,23	2,14	0,01	11,60	0,14	3,20	0,05	12,00	0,10
C5	0,47	0,15	0,81	0,01	2,76	0,04	0,78	0,03	5,30	0,03
C6	1,16	0,15	1,31	0,01	5,81	0,06	1,83	0,02	8,42	0,04
C7	1,41	< 0,02	1,02	0,02	2,96	0,18	1,23	0,01	6,03	0,03
Média	1,01	0,12	1,23	0,01	3,54	0,08	1,34	0,03	6,08	0,03

Tabela 6.5. Resultados das Análises Químicas – Condutividade elétrica (CE), pH, alcalinidade, ânions e erro do balanço iônico (verão)

Ponto	CE _{Lab.}	CE _{Campo}	pH _{Lab.}	pH _{Campo}	Alcalinidade (mg L ⁻¹)		Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Erro
	μS cm ⁻¹	μS cm ⁻¹			HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻					
A1	15,70	16,99	6,46	4,20	6,00	-	0,68	< 0,02	0,55	0,11	5,92
A2	43,60	38,00	7,07	5,95	20,00	-	1,11	0,03	1,91	0,29	5,40
A3	61,20	54,00	7,29	6,71	33,10	-	1,47	< 0,02	0,44	0,29	3,18
A4	37,00	35,00	7,04	6,62	18,30	-	1,35	0,02	0,31	0,19	4,28
A5	20,30	17,00	6,69	6,60	10,00	-	0,83	< 0,02	0,24	0,06	3,01
B1	15,90	14,00	6,29	5,51	4,07	-	0,52	0,03	2,94	0,05	5,42
B2	49,40	45,00	7,18	6,42	21,80	-	2,86	0,04	0,99	0,29	3,07
B3	34,10	35,00	7,02	7,00	18,00	-	0,88	< 0,02	0,20	0,06	2,93
B4	54,40	52,00	7,17	6,40	29,10	-	1,16	< 0,02	< 0,04	0,08	5,36
B5	15,20	33,30	6,44	6,20	4,75	-	0,46	0,02	1,83	0,05	7,32
B6	16,30	15,57	6,45	5,60	4,80	-	0,57	0,02	2,04	0,06	6,65
C2	28,80	26,00	6,76	6,03	10,60	-	1,87	0,02	0,90	0,21	5,74
C3	13,00	11,00	6,43	4,93	4,79	-	0,74	< 0,02	0,35	0,06	5,61
C4	101,00	88,80	7,51	7,25	51,80	-	1,89	0,11	4,43	0,41	2,91
C5	23,30	21,00	6,67	5,35	11,10	-	0,68	< 0,02	0,42	0,06	5,95
C6	55,60	50,30	7,26	6,10	29,20	-	1,27	0,05	0,81	0,21	4,40
C7	39,50	37,60	7,01	6,89	17,10	-	1,48	0,04	1,27	0,41	6,92
Média	36,72	34,74	6,87	6,10	17,32	-	1,17	0,04	1,23	0,17	4,95

Tabela 6.6. Resultados das Análises Químicas – Cátions e Metais (2ª campanha)

Ponto	Na	NH ₄	K	Al	Ca	Fe	Mg	Mn	Si	Sr
	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
A1	0,56	< 0,05	1,73	0,02	0,55	0,16	0,61	0,03	5,55	0,01
A2	0,96	< 0,05	2,60	< 0,005	3,87	0,10	1,75	0,03	10,40	0,04
A3	1,80	< 0,05	1,92	0,01	5,80	0,24	2,75	0,08	9,66	0,07
A4	1,16	< 0,05	0,98	0,01	3,77	0,25	1,44	0,16	5,38	0,03
A5	0,90	< 0,05	0,52	< 0,005	1,72	0,18	0,83	0,05	3,77	0,02
B1	0,54	< 0,05	1,10	0,01	0,79	0,05	0,66	0,02	5,35	0,01
B2	2,40	< 0,05	1,11	0,01	4,46	0,25	1,69	0,02	6,86	0,04
B3	1,05	0,07	0,67	< 0,005	3,60	< 0,005	1,28	0,14	4,70	0,04
B4	0,83	< 0,05	0,84	< 0,005	7,47	0,14	1,78	0,09	4,54	0,03
B5	0,54	< 0,05	1,00	0,01	0,78	0,06	0,65	0,01	5,36	0,01
B6	0,60	< 0,05	1,09	0,01	0,80	0,06	0,66	0,01	5,37	0,01
C2	0,99	< 0,05	2,50	0,02	1,76	0,16	1,01	0,01	6,36	0,02
C3	0,62	< 0,05	0,90	0,01	0,63	0,08	0,47	0,01	4,95	0,01
C4	1,94	< 0,05	2,22	0,01	11,90	0,11	3,85	0,05	12,80	0,10
C5	0,50	< 0,05	0,79	0,01	2,68	0,04	0,76	0,02	5,58	0,03
C6	1,28	< 0,05	1,23	0,02	6,41	0,29	2,19	0,03	9,19	0,05
C7	1,48	0,10	1,35	0,02	3,59	0,50	1,57	0,02	6,19	0,03
Média	1,07	0,08	1,33	0,01	3,56	0,17	1,41	0,04	6,59	0,03

6.3.1 BALANÇO IÔNICO

O cálculo do balanço iônico, uma das maneiras de se avaliar a qualidade das análises químicas de águas, indica que das 17 amostras analisadas, nenhuma apresentou valores superiores aos limites estabelecidos de <10%, de acordo com a metodologia proposta por Custódio & Llamas (2001), validando os resultados analíticos obtidos, e possibilitando uma avaliação hidroquímica confiável. Os erros variaram de 2,78% a 7,39%, com valores médios de +5,70%, indicando prevalência das concentrações de cátions sobre os ânions nas determinações realizadas (Figura 6.16).

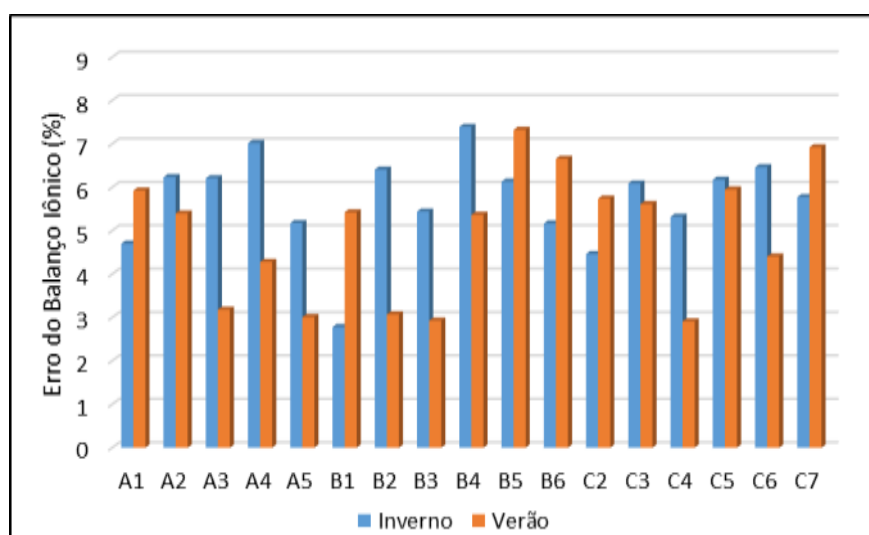


Figura 6.16. Gráfico com os erros do balanço iônico (%) durante as campanhas de verão e inverno

6.3.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

A relação entre algumas das variáveis físico-químicas, medidas em campo e em laboratório, assim como a sua distribuição espacial, devem refletir a mineralização das águas e os processos geoquímicos que ocorrem no interior de uma bacia hidrográfica. Neste sentido, é importante a avaliação das relações existentes entre esses parâmetros, assim como a sua distribuição espacial, pois elas podem indicar alguns processos que ocorrem na bacia hidrográfica, influenciando a composição das águas.

A seguir, serão apresentadas as inter-relações entre alguns parâmetros analisados com as concentrações de cátions e ânions presentes nas águas da sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira.

6.3.2.1 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE), SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (STD) E POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH)

A condutividade elétrica das águas superficiais na área de estudos apresenta valor médio de $31,09 \mu\text{S cm}^{-1}$ para a campanha de inverno, variando de $12,0 \mu\text{S cm}^{-1}$ a $82,6 \mu\text{S cm}^{-1}$, e $34,74 \mu\text{S cm}^{-1}$ para a campanha de verão, variando de $11,0 \mu\text{S cm}^{-1}$ a $88,8 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Os maiores valores de CE foram observados nos pontos situados a jusante da bacia, localizados em áreas de afloramento da Formação Pirambóia, assim como em alguns pontos nas partes altas da bacia (A2 e A3), localizadas em áreas de maior declive. As menores condutividades estão relacionadas as nascentes situadas nas porções mais elevadas da bacia de drenagem, indicando uma menor mineralização nessas áreas, devido ao pouco tempo de contato entre água e rocha (Figura 6.17).

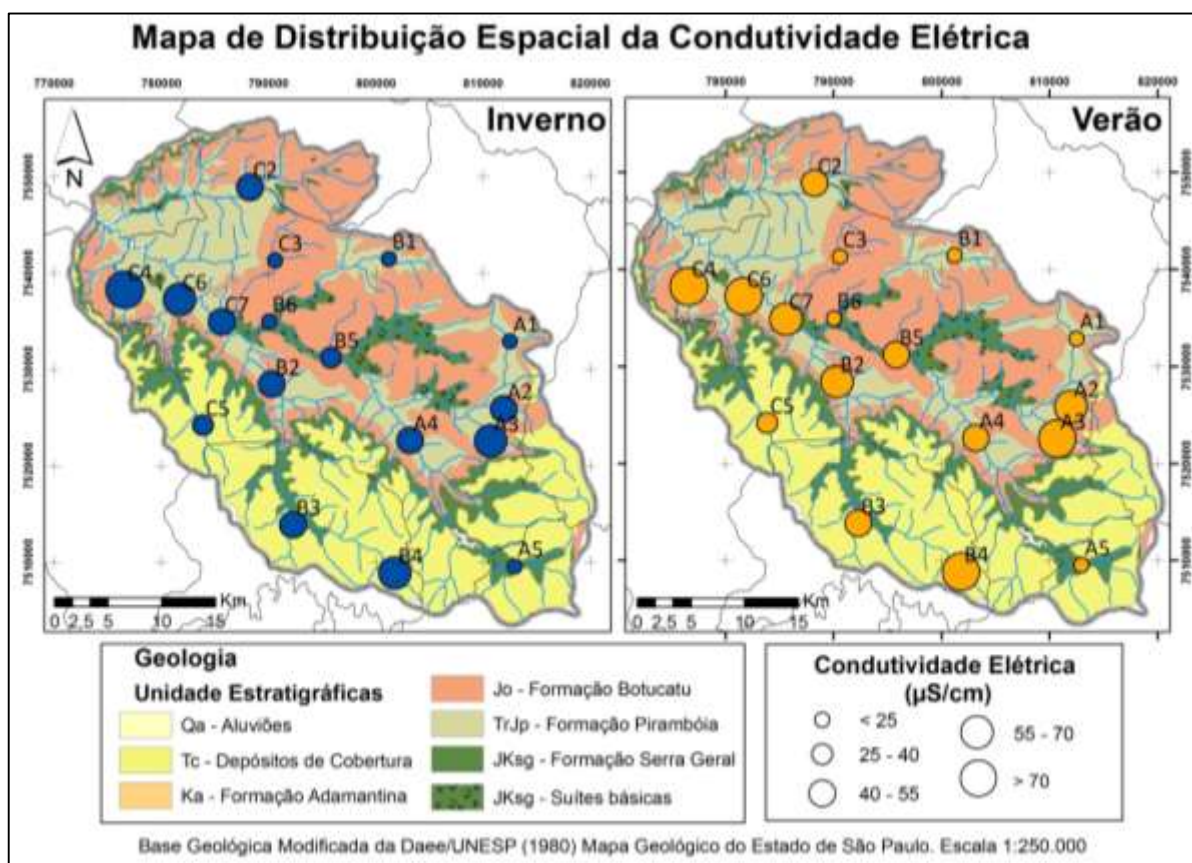


Figura 6.17. Mapa da distribuição espacial da condutividade elétrica (CE) nas duas campanhas de amostragem

As concentrações de STD para cada amostra foram determinadas a partir da somatória total da concentração dos íons, e os STD médio da amostragem de inverno foi de $25,76 \text{ mg L}^{-1}$

¹, enquanto na amostragem de verão foi de 27,18 mg L⁻¹, apresentando pouca variação entre as diferentes campanhas.

A figura 6.18 mostra a correlação entre a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos. Segundo Custódio & Llamas (2001), a condutividade elétrica está relacionada a capacidade da água em conduzir corrente elétrica. Este parâmetro revela a presença de íons dissolvidos na água, pois a quantidade de íons é proporcional a capacidade de conduzir eletricidade.

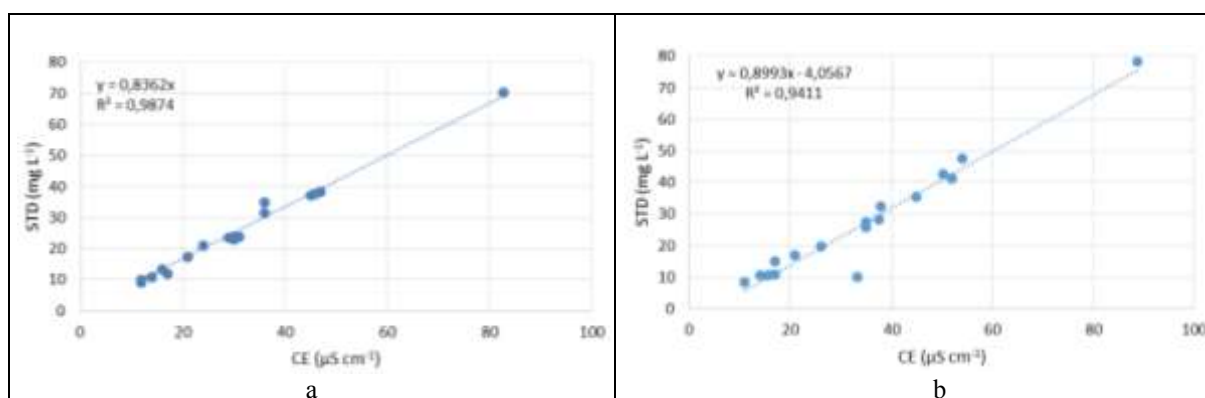


Figura 6.18. Correlação entre condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD) na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b)

Os valores de pH indicam o estado de equilíbrio das reações aquosas, sendo que, grande parte da sua estabilização em águas naturais é controlada pela reação de dissolução do CO_2 (HEM, 1985). Os valores de pH estão entre 5,09 e 7,23 durante a campanha de inverno, e entre 4,20 e 7,25 durante a campanha de verão, indicando um caráter ligeiramente neutro nas amostras coletadas.

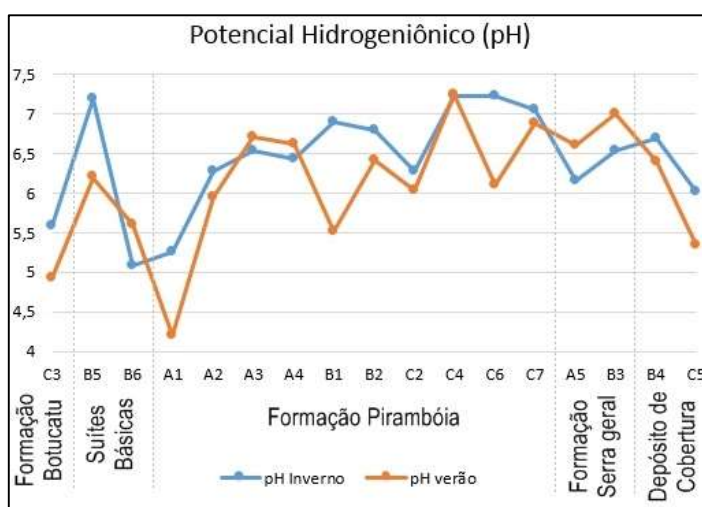


Figura 6.19. Valores de pH e sua respectiva formação geológica nas duas campanhas de amostragem (verão e inverno)

Como mostra a figura 6.19, os pontos com valores mais elevados de pH durante a campanha de inverno foram C6, B5 e C7, respectivamente, e durante a campanha de verão foram os pontos C4, B3 e C7, respectivamente.

Os pontos amostrados que se localizam sobre as formações Serra Geral (Suítes Básicas) e Pirambóia apresentaram pH próximo a neutralidade, enquanto os pontos localizados sobre a Formação Botucatu apresentaram pH levemente ácido. Essa variação dos valores do pH é devida principalmente, a assembleia mineralógica distinta das unidades estratigráficas.

6.3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

A composição química das águas superficiais na sub-bacia do Rio Jacaré-Pepira foi avaliada com base nas concentrações dos principais cátions e ânions dissolvidos, a saber: Cl^- , HCO_3^- , SO_4^- , NO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} e K^+ .

6.3.3.1 CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA

As águas superficiais da sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira, podem ser classificadas como bicarbonatadas cálcio-magnesianas (Figura 6.20), indicando a predominância do bicarbonato (HCO_3^-) sobre os íons cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{2-}), na maioria das amostras, enquanto Ca^{2+} e Mg^{2+} são predominantes entre os cátions, o que pode caracterizar a natureza mais “dura” de algumas amostras, associadas a hidrólise de silicatos em presença de dióxido de carbono, presente na precipitação e no solo, que também controla o pH (CUSTODIO & LLAMAS, 2001).

O cálcio (Ca^{2+}) influencia a ciclagem do fosfato (PO_4^{3-}), além de interferir no pH das águas fluviais e pluviais (WETZEL, 1983). O magnésio (Mg^{2+}) é um constituinte necessário da clorofila (ODUM, 1988). Já o sódio (Na^+) possui as mesmas funções que o potássio (K^+), atuando na troca e transporte de outros íons para os meios intra e extracelulares (ESTEVES, 1988). As concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} estão diretamente associadas a dissolução de minerais presentes nos basaltos e arenitos, como plagioclásios e piroxênios. Entretanto, algumas amostras tem um aumento nas concentrações de Na^+ em detrimento das concentrações de Ca^{2+} ,

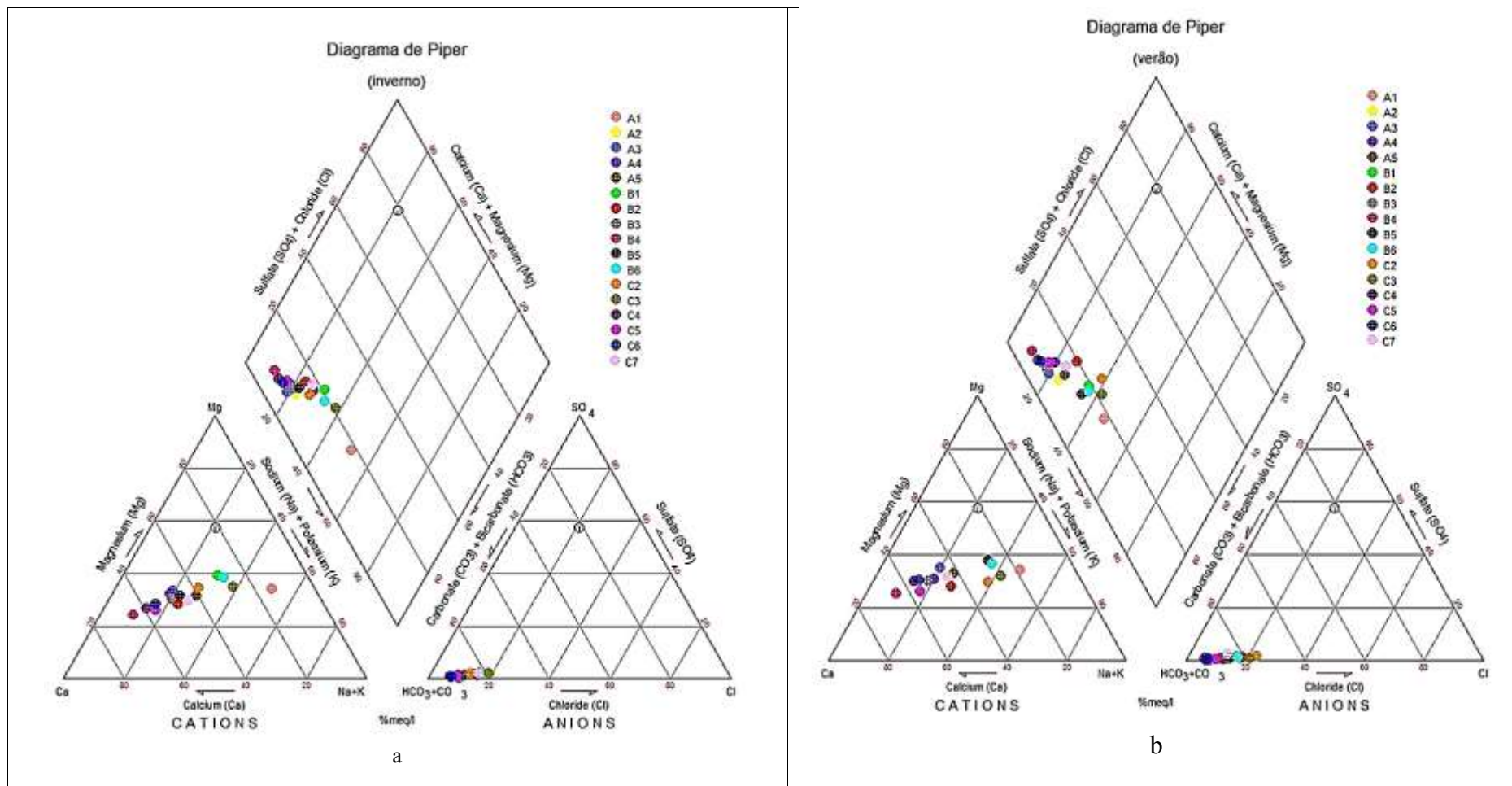


Figura 6.20. Classificação das águas superficiais de acordo com o diagrama de Piper: (a) inverno e (b) verão

que estão associadas a um aumento na concentração de Cl^- , especialmente na segunda campanha de amostragem, sugerindo uma origem antrópica para o Na^+ . Porém não pode ser descartada a possibilidade da ocorrência de troca iônica, já que solos provenientes da alteração de rochas basálticas produzem argilas esmectitas, capazes de funcionar como sítios de troca (CLEMENTE & AZEVEDO, 2007). Entretanto, esta hipótese carece de comprovação.

6.3.3.2. AVALIAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA

As concentrações de cálcio variaram de $0,38 \text{ mg L}^{-1}$ a $11,60 \text{ mg L}^{-1}$, e de $0,55 \text{ mg L}^{-1}$ a $11,90 \text{ mg L}^{-1}$ durante as campanhas de inverno e de verão, respectivamente, com pequenas variações nas concentrações médias, que foram de $3,54 \text{ mg L}^{-1}$ para a campanha de inverno, e de $3,56 \text{ mg L}^{-1}$ para as amostras coletadas durante o verão.

Observa-se que as maiores concentrações de cálcio, para as duas campanhas, foram obtidas nos pontos amostrados em que a rede de drenagem está situada sobre a Formação Pirambóia, localizados nas porções mais baixas da sub-bacia do Alto Jacaré Pepira, com exceção do ponto B4, localizado sobre os Depósitos de Cobertura (Figura 6.21).

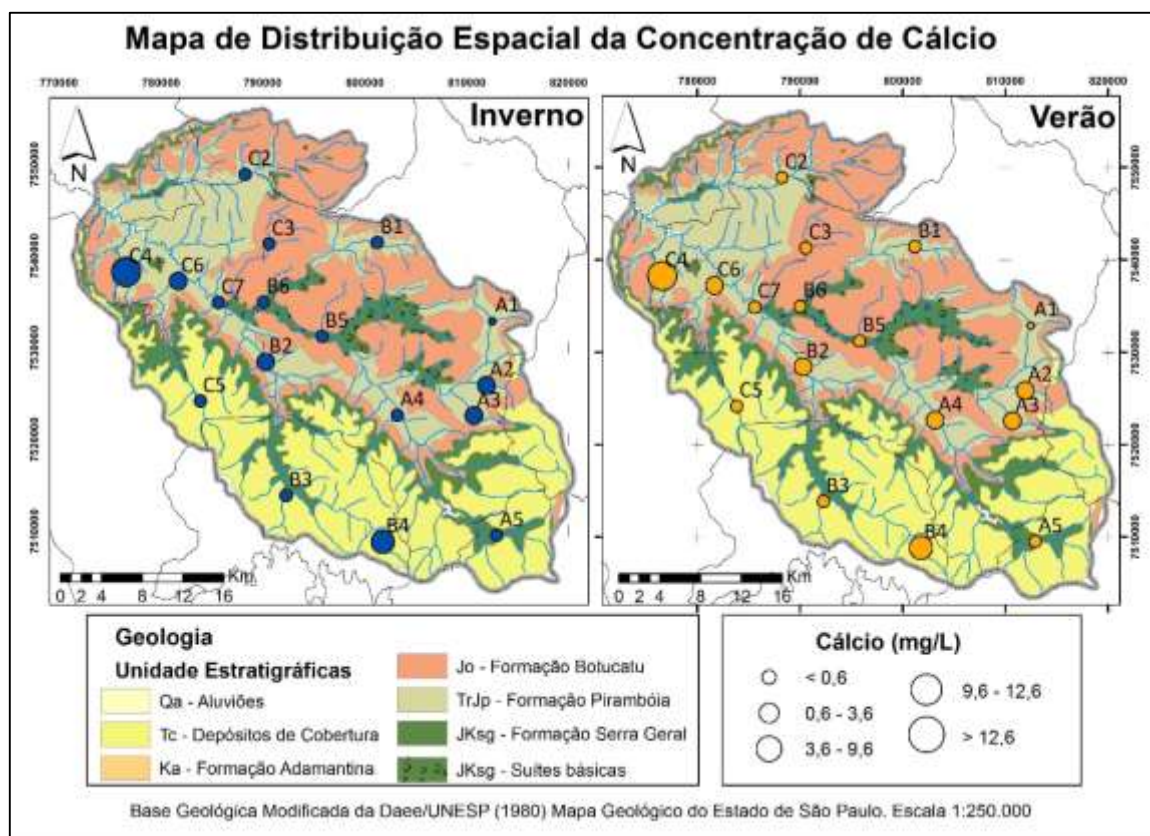


Figura 6.21. Mapa da distribuição espacial do cálcio (Ca^{2+}) na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira

Segundo Custódio & Llamas (2001), este elemento pode precipitar com facilidade e é muito afetado por trocas iônicas. Provém da dissolução de calcitas, dolomitas, anidrita, em rochas calcárias, sendo o plagioclásio e a apatita as maiores fontes de cálcio presentes nas rochas ígneas e sedimentares. O ataque aos feldspatos e aos outros silicatos cálcicos também contribui para a acumulação deste cátion.

Por ser o cátion mais abundante nas águas superficiais da sub-bacia, é esperada uma boa correlação entre a condutividade elétrica e as concentrações de cálcio das águas superficiais ($R^2=0,92$) (Figura 6.22). A origem do cálcio nas águas superficiais está associada a processos intempéricos, como a dissolução dos plagioclásios e de minerais presentes na cimentação dos arenitos, além de minerais secundários presentes nos basaltos, como a calcita, de acordo com as reações abaixo:

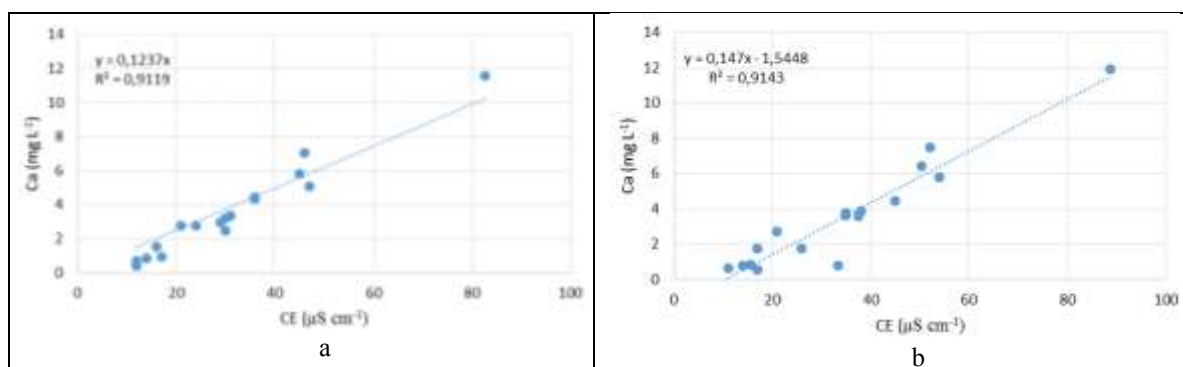
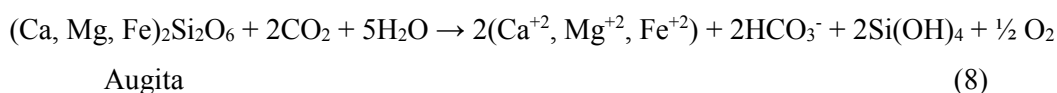
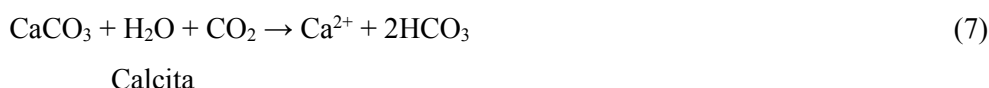
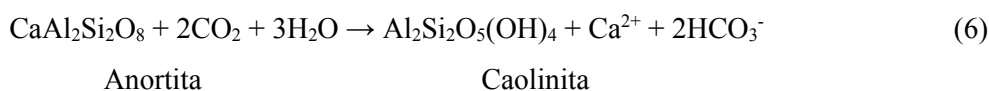


Figura 6.22. Correlação entre condutividade elétrica (CE) e o cálcio (Ca^{2+}) na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b)

As concentrações da alcalinidade nas águas superficiais da sub-bacia do Rio Jacaré Pepira, variaram entre $4,12 \text{ mg L}^{-1}$ a $44,5 \text{ mg L}^{-1}$ para as amostras coletadas durante a campanha de inverno, enquanto na campanha de verão as concentrações variaram de $4,97 \text{ mg L}^{-1}$ a $51,8 \text{ mg L}^{-1}$. Apesar da grande variação entre a concentração observada nos pontos amostrados, a variação dos valores médios foi pequena, a média para a campanha de inverno foi de $15,83 \text{ mg L}^{-1}$, e para a campanha de verão foi de $17,82 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 6.23)

Conforme observado no diagrama de Piper (Figuras 6.20), o bicarbonato é o ânion dissolvido mais abundante nas águas da sub-bacia do Rio Jacaré-Pepira, que pode ser resultado da combinação da dissolução de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico ou do solo, pelas águas superficiais e subterrâneas, associada a dissolução intempérica de rochas e minerais (silicatos e carbonatos) de acordo com as reações das equações 6, 7 e 8, apresentadas anteriormente.

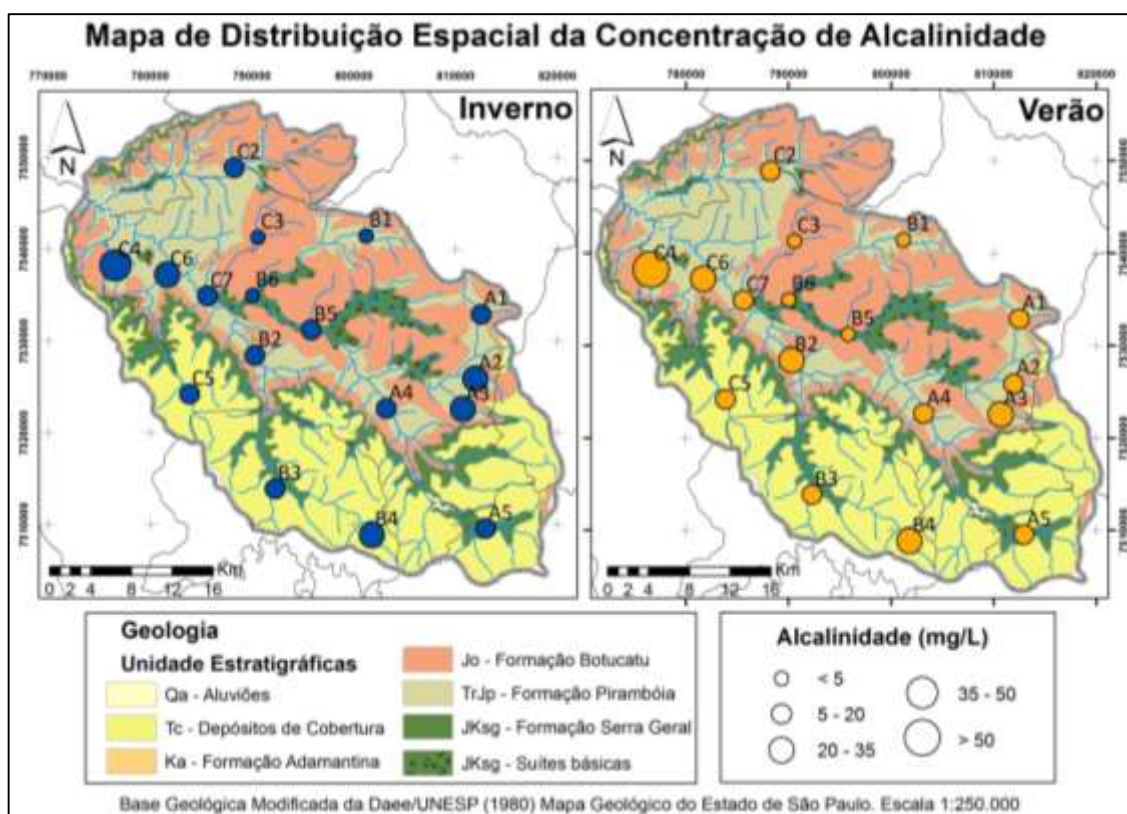


Figura 6.23. Mapa da distribuição espacial da alcalinidade (HCO_3^-) na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira

Observa-se a correlação da alcalinidade das águas superficiais na sub-bacia do Rio Jacaré Pepira e aumento da condutividade elétrica, tanto durante a campanha de inverno ($R^2=0,91$), quanto durante a campanha de verão ($R^2=0,91$) (Figura 6.24).

A significativa correlação entre os parâmetros durante as duas campanhas de amostragem pode estar relacionada com a dissolução dos plagioclásios (anortita) e de minerais secundários do basalto (como a calcita, anfíbólio e piroxênio) via introdução de CO_2 atmosférico, que pode também ser observados nas equações 6, 7 e 8.

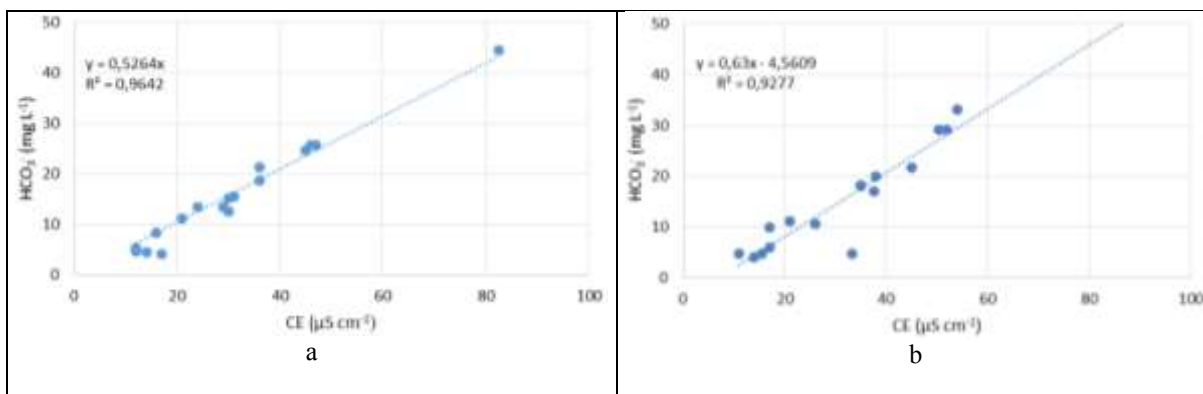


Figura 6.24. Correlação entre condutividade elétrica (CE) e alcalinidade (HCO_3^-) na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b)

Observa-se o aumento da concentração de cálcio em função da concentração do bicarbonato tanto na campanha de inverno ($R^2=0,96$), quanto na campanha de verão ($R^2=0,97$) (Figura 6.25).

O aumento nas concentrações de bicarbonato é acompanhado pelo aumento nas concentrações de cálcio em todos os pontos de amostragem, localizados na área de afloramento da Formação Pirambóia e Suítes Básicas, ou seja, nas porções mais baixas da sub-bacia do Alto Jacaré Pepira.

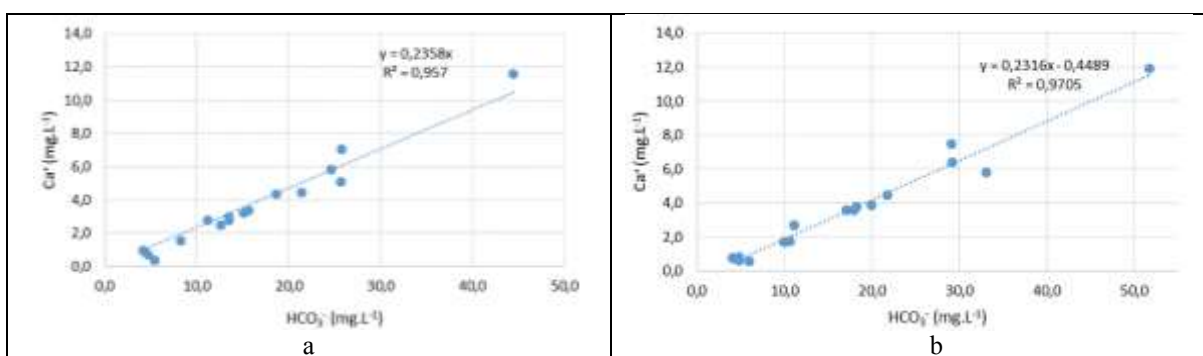


Figura 6.25. Correlação entre cálcio (Ca^{2+}) e bicarbonato (HCO_3^-) na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b)

As concentrações de Mg^{+2} variaram de $0,54 \text{ mg L}^{-1}$ a $3,20 \text{ mg L}^{-1}$, e de $0,47 \text{ mg L}^{-1}$ a $3,85 \text{ mg L}^{-1}$ durante as campanhas de inverno e verão, respectivamente, com pequenas variações nas concentrações médias, que foram de $1,34 \text{ mg L}^{-1}$ na campanha de inverno, e de $1,41 \text{ mg L}^{-1}$ na campanha de verão.

Observa-se que as menores concentrações de Mg^{2+} , para as duas campanhas, foram encontradas nos pontos em que a rede de drenagem está situada sobre a Formação Botucatu, unidade fonte de arenitos e areias quartzosas, que é empobrecida em Mg^{2+} . Entretanto, as maiores concentrações de Mg^{+2} , para as duas campanhas de amostragem (pontos A2, A3, C4 e

C6), recebem contribuição dos basaltos da Formação Serra Geral, que apresentam em sua constituição mineralógica piroxênios (especialmente augita e pigeonita), cuja dissolução disponibiliza Mg^{+2} para as águas, de acordo com a equação 6 (Figura 6.26).

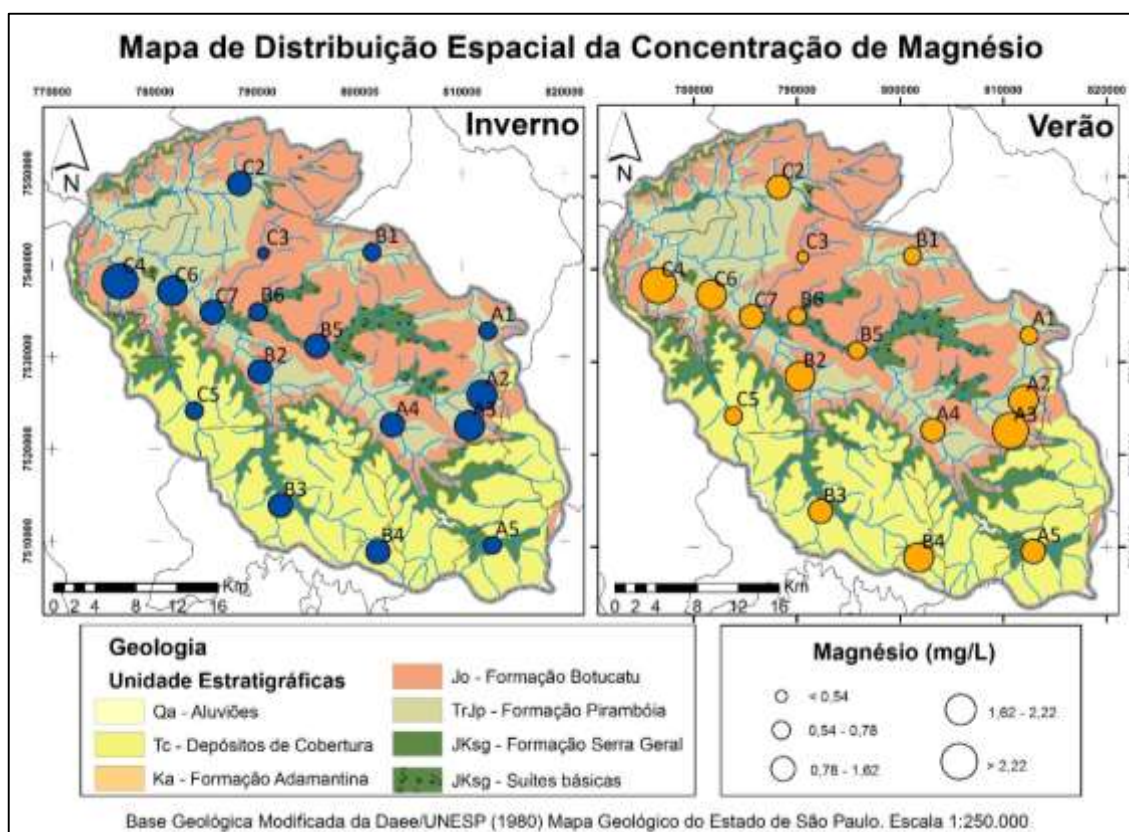


Figura 6.26. Mapa da distribuição espacial do magnésio (Mg^{2+}) na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira

Na figura 6.27, observa-se a existência de uma correlação significativa entre as concentrações de magnésio e da alcalinidade, tanto para as amostras coletadas durante a campanha de inverno ($R^2=0,94$), quanto para aquelas coletadas durante a campanha de verão ($R^2=0,96$), indicando proveniência de Mg^{+2} e HCO_3^- a partir da alteração da augita, conforme se observa na equação 8.

Custódio & Llamas (2001) destacam que o nitrato ocorre em águas subterrâneas e superficiais geralmente em pequenas concentrações. Considerado um elemento muito móvel, ele pode ser facilmente removido das camadas superiores do solo para a água. É produto do estágio final da oxidação de matéria orgânica. Teores acima de 5 mg L^{-1} podem indicar a contaminação da água por atividade humana (esgoto, depósito de lixo, cemitério, fertilizantes, adubos nitrogenados, resíduos de criação de animais, etc.).

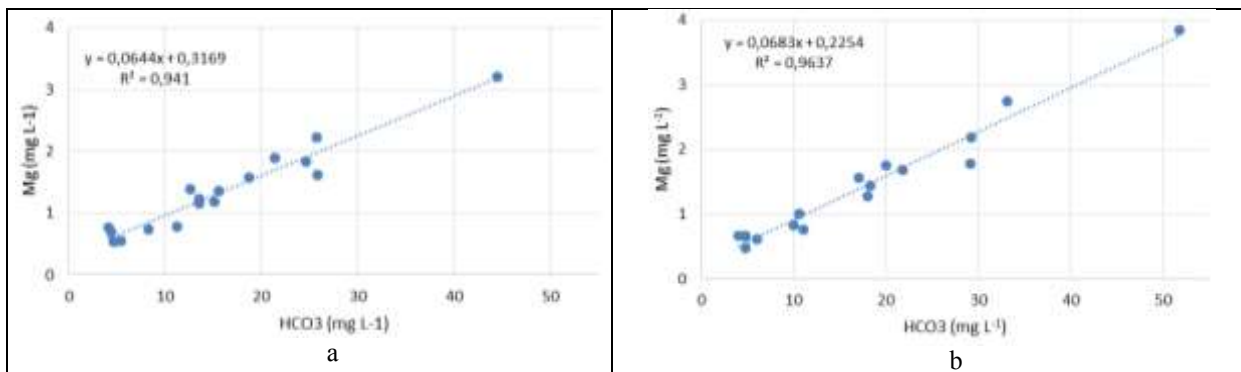


Figura 6.27. Correlação entre magnésio (Mg^{2+}) e alcalinidade (HCO_3^-) na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b)

As concentrações de nitrato nas águas dos rios da área de estudo variaram de 0,23 mg L^{-1} a 4,89 mg L^{-1} e de <0,04 mg L^{-1} a 4,43 mg L^{-1} , para as campanhas de inverno e verão, respectivamente, com concentrações médias de nitrato nas amostras analisadas foi de 1,58 mg L^{-1} durante a amostragem de inverno, e de 1,23 mg L^{-1} durante a amostragem de verão.

A figura 6.28 mostra a distribuição espacial do nitrato na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira, indicando que existe uma relação entre as concentrações de nitrato e o aumento da contribuição do escoamento das águas na bacia, ou seja, de maneira geral ocorre um aumento das concentrações no sentido de montante para a jusante.

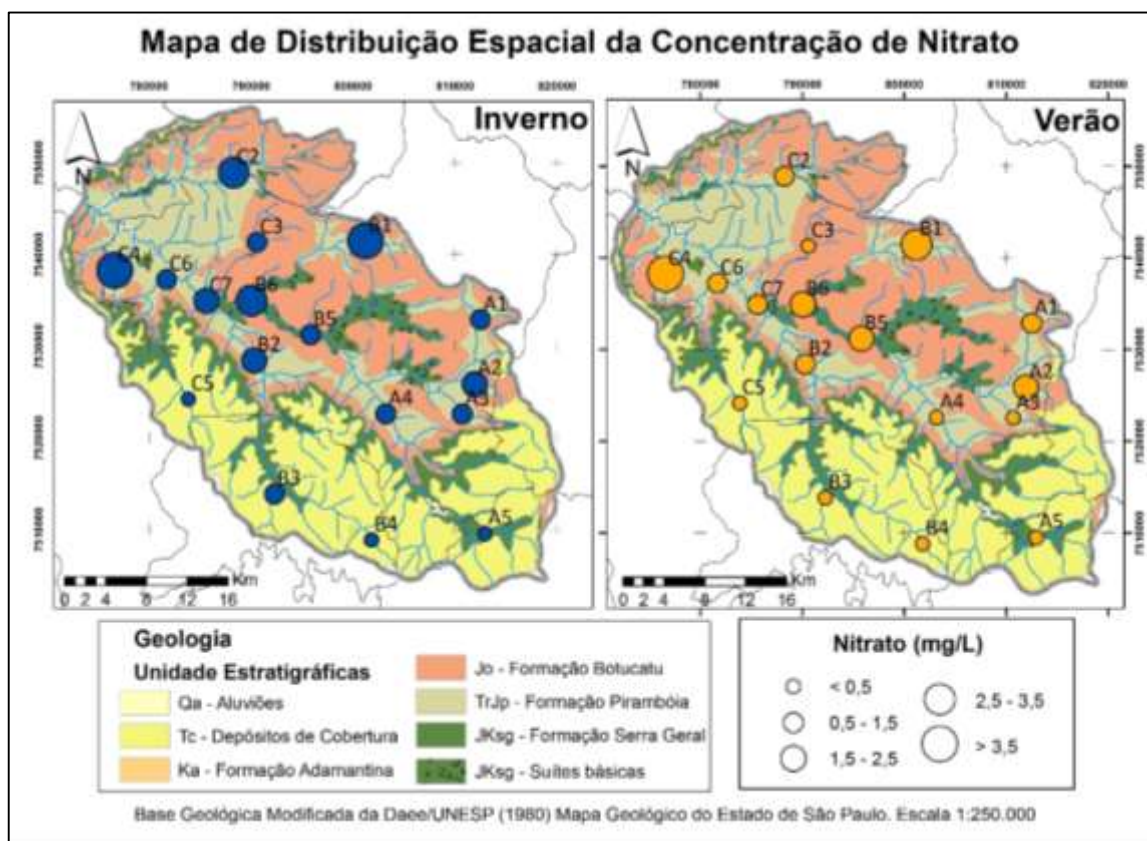


Figura 6.28. Mapa da distribuição espacial do nitrato (NO_3^-) na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira

Os pontos de amostragem que apresentam comportamento diferente do esperado, ocorrem de modo pontual na bacia, como é o caso dos pontos A2, B1 e C4, que apresentaram altas concentrações de nitrato em ambas campanhas de amostragem, respectivamente, fato que pode estar associado a possíveis fontes de contaminação antrópica recente (adubos, resíduos animais, etc.), porém esta ocorrência não afeta a bacia como um todo.

A comparação entre as concentrações de nitrato e a condutividade elétrica (Figura 6.29), demonstra uma baixa correlação, indicando que a introdução desse composto nas águas superficiais não é responsável pela salinização das mesmas, e que as fontes de nitrato possivelmente são difusas ao longo da sub-bacia.

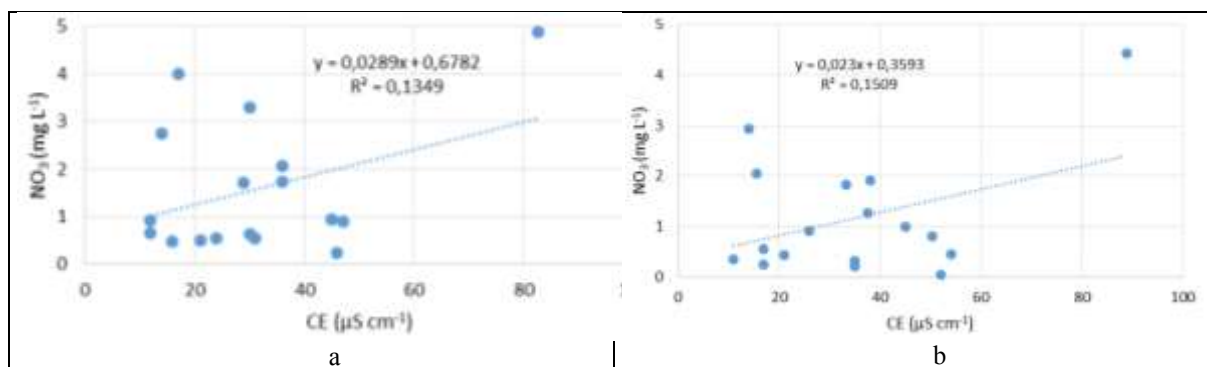


Figura 6.29. Correlação entre condutividade elétrica (CE) e nitrato (NO_3^-) na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b)

Segundo a definição genérica de Custódio & Llamas (2001), o íon cloreto geralmente é muito solúvel e estável, dificilmente se precipita, oxida ou mesmo reduz, podendo ser proveniente da lixiviação de minerais ferromagnesianos ou de rochas sedimentares e sedimentos de ambiente marinho, além de estar associado a precipitação. Quando associado a altas concentrações de nitrato, é indicador de poluição antrópica.

As concentrações de cloreto tiveram pouca variação durante as diferentes campanhas. Durante a campanha de inverno a variação foi de $0,53 \text{ mg L}^{-1}$ a $1,85 \text{ mg L}^{-1}$, enquanto na campanha de verão a variação foi de $0,46 \text{ mg L}^{-1}$ a $2,86 \text{ mg L}^{-1}$. As concentrações mínimas e máximas não apresentaram valores muito distantes da média. A média de concentração de cloreto variou de $1,06 \text{ mg L}^{-1}$ durante a campanha de inverno, e de $1,17 \text{ mg L}^{-1}$ durante a campanha de verão.

A Figura 6.30 mostra a distribuição espacial do cloreto na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira. Os pontos com as maiores concentrações de cloreto durante a amostragem de inverno foram B2, C4 e C7 respectivamente, enquanto na amostragem de verão foram os pontos B2, C4 e C2, respectivamente.

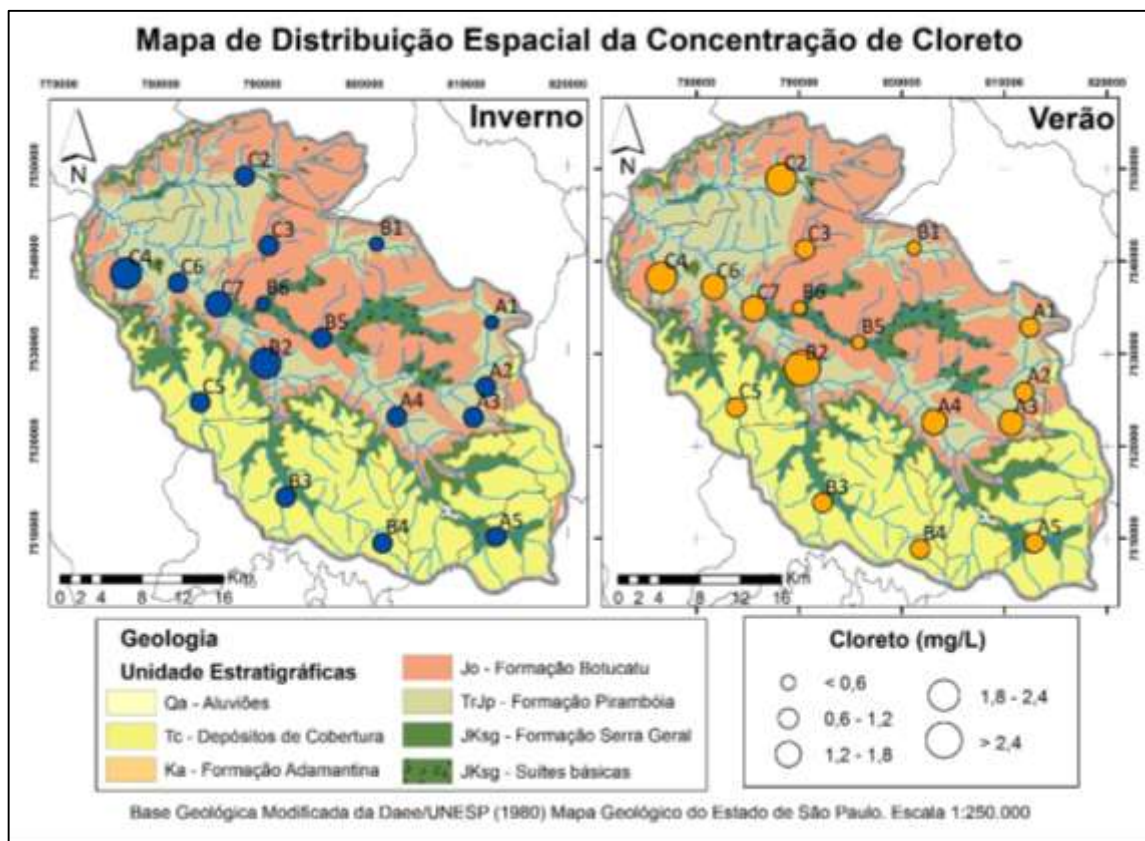


Figura 6.30. Mapa da distribuição espacial do cloreto (Cl^-) na sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira

As concentrações de cloreto apresentam boas correlações com a condutividade elétrica (Figura 6.31), mas baixa correlação com as concentrações de nitrato (Figura 6.32), indicando que a entrada desse íon nas águas da sub-bacia do Rio Jacaré Pepira está associada a processo de dissolução de cloreto, e não as fontes pontuais de contaminação antrópica, observadas a partir da análise das concentrações de nitrato.

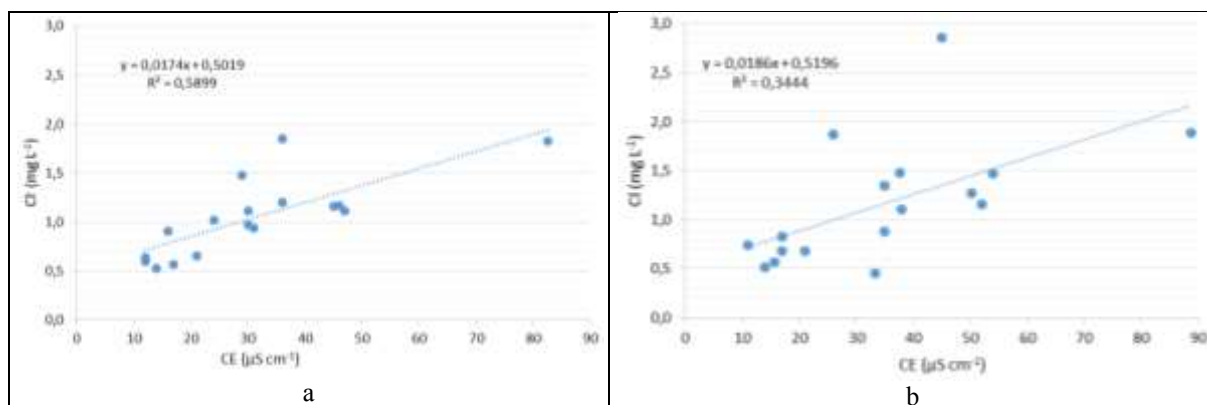


Figura 6.31. Correlação entre condutividade elétrica (CE) e cloreto (Cl^-) na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b)

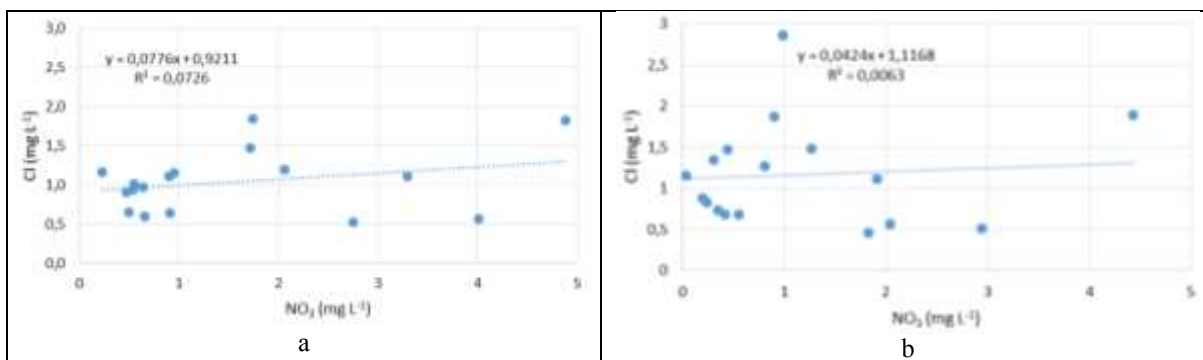


Figura 6.32. Correlação entre nitrato (NO₃⁻) e cloreto (Cl⁻) na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b)

6.3.4 RAZÕES IÔNICAS

As relações entre os íons dissolvidos na água podem guardar certa relação com o terreno como qual a água tem contato, indicando a ação de fenômenos modificadores, ou uma característica específica da água considerada. Para distinção da água segundo sua composição química, são necessárias análises dos principais cátions e ânions e comparações das relações entre eles (CUSTÓDIO & LLAMAS, 2001). É frequente designar estas relações com o nome de índices hidroquímicos, onde todos os valores são expressos em meq L⁻¹, tal como indica o símbolo *r*.

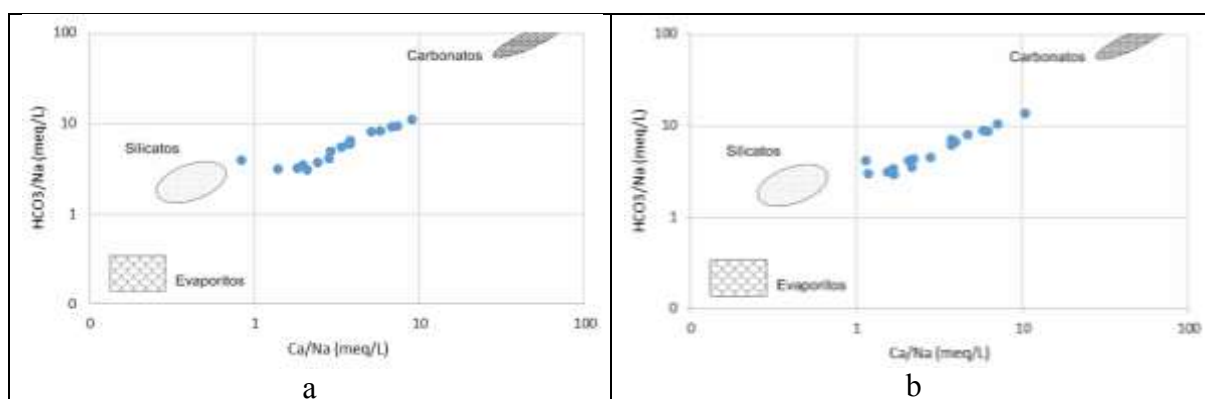
Um estudo realizado por Gaillardet et al (1999), avaliou a composição das águas dos principais rios do mundo (Rio Amazonas, Rio Reno, Rio Sena, Rio Níger, entre outros) e encontrou uma relação entre as razões iônicas e os tipos de rochas mais representativas destas bacias hidrográficas. Utilizando as razões $r\text{HCO}_3^-/r\text{Na}^+$ versus $r\text{Ca}^{2+}/r\text{Na}^+$ e $r\text{Mg}^{2+}/r\text{Na}^+$ versus $r\text{Ca}^{2+}/r\text{Na}^+$, o estudo possibilitou avaliar qual a litologia predominante na drenagem dos rios (carbonatos, silicatos ou evaporitos). Com base nestas relações, as razões calculadas para as águas da sub-bacia do Rio Jacaré-Pepira foram comparadas, indicando o predomínio de carbonatos e silicatos na bacia. Os valores das principais razões hidroquímicas calculadas são apresentados na Tabela 6.7.

A razão $r\text{HCO}_3^-/r\text{Na}^+$ apresenta valores que variam de 3,04 a 10,87 durante a campanha de inverno, e de 2,89 a 13,44 durante a campanha de verão. Todos os pontos de amostragem, em ambas campanhas, apresentaram razão maior que 1, mostrando o predomínio da dissolução de rochas e minerais silicatos e carbonatos.

Tabela 6.7. Tabela com as razões iônicas (meq L⁻¹) nas campanhas de inverno e verão

Razões	Inverno			Verão		
	rCa/Na	rHCO ₃ /Na	rMg/Na	rCa/Na	rHCO ₃ /Na	rMg/Na
	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹
A1	0,82	3,92	1,99	1,13	4,11	2,09
A2	5,06	8,12	3,59	4,64	7,99	3,49
A3	3,78	6,36	2,75	3,71	7,05	2,93
A4	3,80	5,92	2,58	3,74	6,05	2,38
A5	1,96	3,48	1,56	2,20	4,26	1,77
B1	2,08	3,04	2,80	1,68	2,89	2,34
B2	2,82	4,03	1,69	2,14	3,48	1,35
B3	3,71	5,85	2,30	3,94	6,57	2,34
B4	8,91	10,87	3,41	10,35	13,44	4,11
B5	3,33	5,45	2,34	1,66	3,37	2,31
B6	1,80	3,18	2,53	1,53	3,07	2,11
C2	2,89	4,88	2,67	2,04	4,10	1,96
C3	1,37	3,13	1,82	1,17	2,96	1,45
C4	7,29	9,32	3,35	7,05	10,24	3,80
C5	6,75	9,13	3,18	6,16	8,51	2,91
C6	5,76	8,13	3,02	5,76	8,74	3,28
C7	2,41	3,67	1,67	2,79	4,43	2,03
Média	3,80	5,79	2,54	3,63	5,96	2,51

A razão rCa^{2+}/rNa^+ na área de estudo oscilou entre 0,92 a 8,91 durante a campanha de inverno, e de 1,13 a 10,35 durante a campanha de verão, indicando uma grande variação destes elementos nas amostras coletadas, desde amostras com pouco a muito teor de cálcio e sódio, porém de um modo geral, as amostras apresentaram predomínio de cálcio em suas concentrações (Figura 6.33).

**Figura 6.33.** Gráfico de razão $rHCO_3^-/Na^+$ x rCa^{2+}/Na^+ na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b)

A relação rMg^{2+}/rNa^+ varia frequentemente entre 0,3 e 1,5 (CUSTÓDIO & LLAMAS, 2001); os valores abaixo de 1 indicam uma provável influência de compostos contendo sódio lixiviado das rochas ou de origem antrópica (NaCl presente na alimentação fornecida ao gado,

etc.), e valores superiores a 1 sugerem estar em geral relacionados com terrenos ricos em silicatos magnesianos, como gabros e basaltos.

A razão rMg^{2+}/Na^+ apresenta valores que variam de 1,56 a 3,26 durante a campanha de inverno, e de 1,35 a 4,11 durante a campanha de verão. Todos os pontos de amostragem, em ambas campanhas, apresentaram razão maior que 1, indicando a influência de rochas ricas em silicatos magnesianos e carbonato de cálcio, proveniente dos valores também acima da 1 da razão entre rCa^{2+}/rNa^+ , já discutida anteriormente (Figura 6.34).

Se considerada as reações de dissolução dos minerais (feldspatos e piroxênio), a contribuição destes minerais é basicamente cálcio e magnésio, o que se reflete nas razões rCa^{2+}/rNa^+ e rMg^{2+}/Na^+ , quase sempre superiores ou muito superiores a 1.

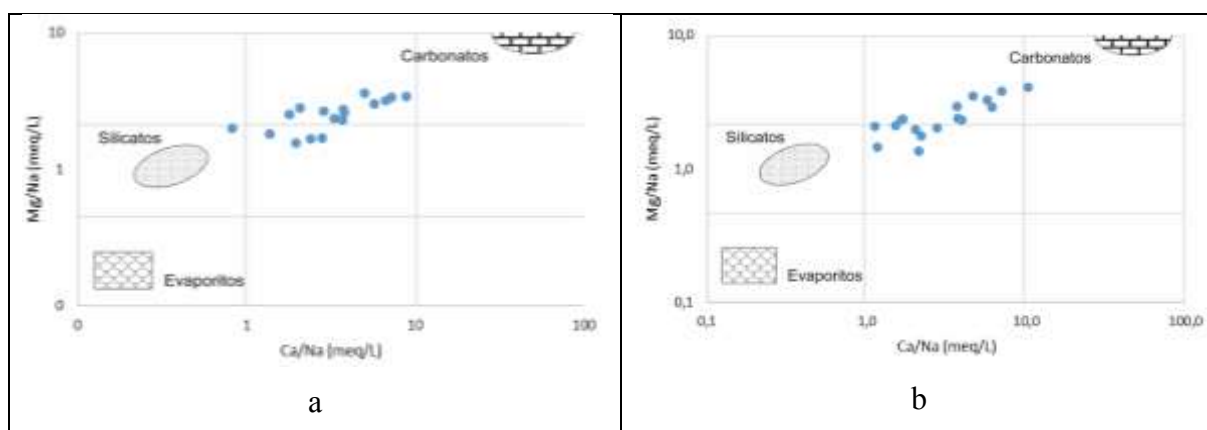


Figura 6.34. Gráfico de razão $rMg^{2+}/Ca^{2+}/rCa^{2+}/Na^+$ na campanha de inverno (a) e na campanha de verão (b)

6.4 ISÓTOPOS AMBIENTAIS

Neste estudo, as amostras de água superficial coletadas para determinação isotópica foram enviadas ao Laboratório de Hidrogeologia e Hidroquímica do Departamento de Geologia Aplicada do IGCE/UNESP - Rio Claro, segundo as normas de preservação e conservação das amostras, como descrito no capítulo de Materiais e Métodos (Capítulo 5).

As razões isotópicas de δ^2H variaram de -36,3‰ a -46,7‰ V-SMOW durante a campanha de inverno, e de -33,3‰ a -46,5‰ V-SMOW durante a campanha de verão, e de $\delta^{18}O$, variaram de -6,06‰ a -7,11‰ V-SMOW durante a campanha de inverno, e de -5,36‰ a -7,11‰ V-SMOW durante a campanha de verão.

Os valores encontrados durante a campanha de verão para $\delta^{18}O$ e δ^2H são mais enriquecidos que os encontrados durante a campanha de inverno. Os valores médios encontrados de δ^2H foram de -42,9‰ e -41,9‰ V-SMOW durante a campanha de inverno e

verão, respectivamente, e os valores médios de $\delta^{18}\text{O}$ foram de $-6,7\text{‰}$ e $-6,3\text{‰}$ V-SMOW durante a campanha de inverno e verão, respectivamente.

Amostras são alinhadas em relação a GMWL – indicando origem relacionada a precipitação.

A comparação entre as razões isotópicas das amostras superficiais coletadas com as águas subterrâneas, foi efetuada a partir de amostras de águas subterrâneas coletadas em um poço perfurado nas áreas de recarga do SAG (Sistema Aquífero Guarani), na cidade de Brotas, durante o período 2013-2014m, coletadas por Gastmans et al (2014). Os autores indicam razões isotópicas médias de $\delta^{18}\text{O}$: $-7,13\text{‰}$ VSMOW e $\delta^2\text{H}$: $-46,58\text{‰}$ VSMOW, conforme ilustrado na figura 6.33 (Gráfico).

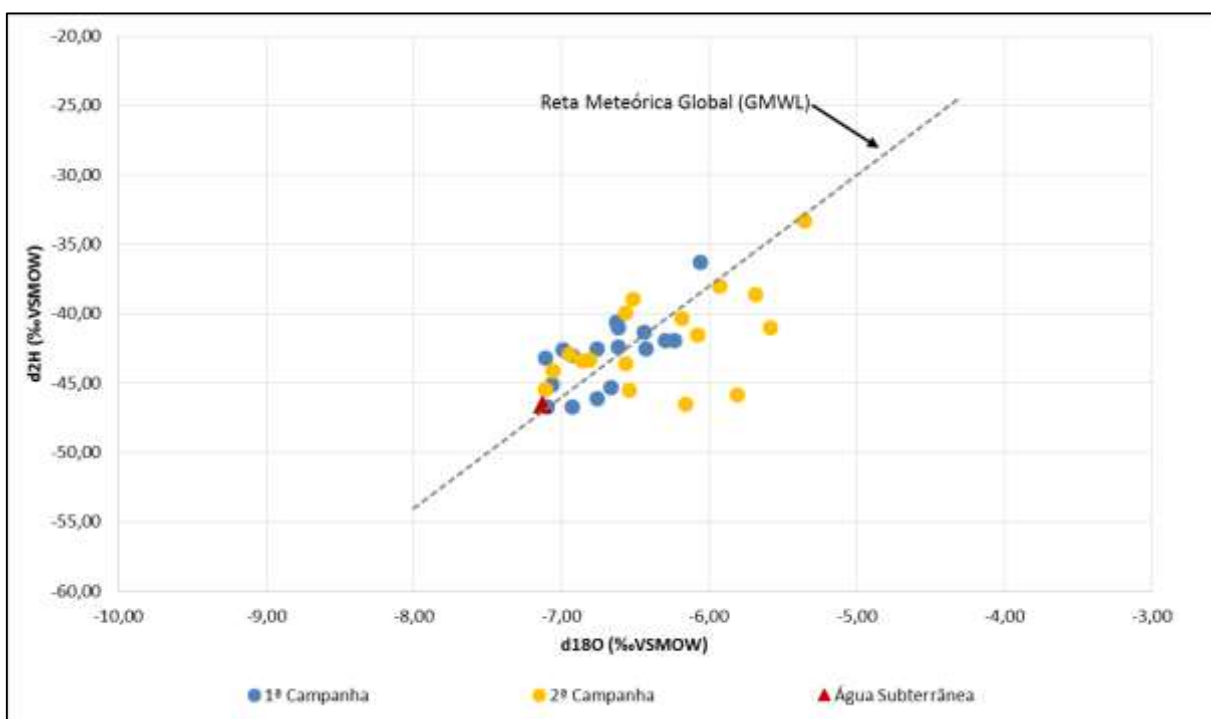


Figura 6.35. Resultados dos isótopos de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ das amostras coletadas e das amostras de água subterrânea

Observa-se que as amostras da primeira campanha possuem razões isotópicas próximas aos valores médios das razões isotópicas das águas subterrâneas, enquanto as amostras da segunda campanha apresentam maior variabilidade, e maior dispersão em relação a reta meteórica global (GMWL).

Essas observações permitem inferir que as amostras da campanha de inverno possuem uma significativa contribuição da descarga das águas subterrâneas para os canais dos rios quando são observados os menores índices pluviométricos observados na área nesse período

(Figura 3.3). Já amostras da campanha de verão, que possuem maior variabilidade, com algumas delas posicionadas abaixo da reta meteórica, indicam a maior influência da precipitação, mesmo que os índices pluviométricos não tenham sido importantes no período, uma vez que pequenas contribuições influenciam diretamente na composição isotópica das águas dos rios. Observa-se também, especialmente na segunda campanha, o efeito da evaporação sobre estas amostras, que estão posicionadas abaixo da reta meteórica global.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Foram avaliadas as propriedades físico-químicas e microbiológicas, as características hidroquímicas e a qualidade das águas da sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira. Os estudos permitiram as seguintes conclusões:

7.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

A avaliação dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e o do cálculo do IQA para as águas superficiais da sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira, permitiram concluir que:

- Os resultados do IQA aferidos nesta pesquisa mostraram que as águas da sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira são predominantemente de boa qualidade, entretanto, a qualidade das águas nos pontos coletados no entorno da cidade de Brotas (SP) apresentaram IQA inferior aos pontos localizados na cabeceira da bacia. O resultado do IQA dos dois pontos monitorados pela CETESB, apresentados no Relatório de Monitoramento de Qualidade das Águas (2003-2013) são semelhantes aos discutidos neste estudo, e também indicam que o aporte de águas “limpas” aumenta consideravelmente o valor do IQA;

- Alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos estiveram em desacordo com a Resolução CONAMA n°357/2005 para rios de classe 2, a saber: pH, coliformes totais, coliformes termotolerantes (*E. Coli*), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e cor. A possível causa pode estar relacionada com a ausência de chuva no período, que acarretou na diminuição da vazão dos rios, diminuindo a dissolução das partículas;

- Houve uma piora no valor médio do IQA da campanha de inverno para a campanha de verão, comportamento que já era esperado, mesmo considerando a ausência de chuva que ocorreu no período de verão, que diminui o carreamento de partículas do solo para dentro dos cursos d'água;

- A anomalia climática que ocorreu no período considerado chuvoso, no ano de 2014, causado pelo excessivo calor associado aos déficits de chuva observados em partes do Brasil e no Estado de São Paulo, não influenciou nos resultados e na qualidade desta pesquisa.

7.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA

Os resultados das análises químicas das águas superficiais apresentaram as seguintes conclusões:

- Os valores de condutividade elétrica oscilaram significativamente de um ponto a outro, entretanto, os maiores valores foram observados nos pontos situados a jusante da bacia, localizados em áreas de afloramento da Formação Pirambóia, assim como em alguns pontos nas partes altas da bacia, localizadas em áreas de maior declive. Em contrapartida, os menores valores de condutividade elétrica estão relacionados com as nascentes situadas nas porções mais elevadas da bacia de drenagem, indicando uma menor mineralização nessas áreas, devido ao pouco tempo de contato entre água/rocha;

- A caracterização hidroquímica das águas superficiais da área de estudo mostrou que, em relação aos cátions dissolvidos, há o predomínio de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), e em relação aos ânions, há o predomínio de bicarbonato (HCO_3^-). As águas analisadas em sua maioria são bicarbonatadas-cálcicas ou magnesianas;

- Os resultados das análises químicas das águas superficiais apresentaram a seguinte ordenação dos teores iônicos principais médios para a sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ (cátions); $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ (ânions). A presença de bicarbonato como ânion predominante, e de cálcio e magnésio como cátions predominantes, é compatível com o intemperismo de rochas basálticas e areníticas presentes na área de estudo;

- Os aspectos relacionados à geoquímica encontrados nas águas, indicam que as águas superficiais da sub-bacia do Alto Jacaré-Pepira/SP, apresentam características similares às descritas para as unidades geológicas onde cada ponto de amostragem se encontra, ou seja, a possibilidade da recarga dos corpos d'água da sub-bacia ocorrerem preferencialmente através das águas subterrâneas, que manteriam o fluxo de base nessa rede de drenagem. Eventos de chuva ocasionariam o aumento instantâneo das vazões nos rios;

- As águas da sub-bacia possuem, de modo geral, baixos valores de condutividade elétrica, associados com baixos valores de turbidez, sólidos totais em suspensão (STS) e sólidos totais dissolvidos (STD);

- A ocorrência difusa de fontes de contaminação de cloreto e nitrato não interferiu na qualidade global das águas da sub-bacia, indicando que a introdução destes compostos na sub-bacia não acarretou a salinização das mesmas;

- Os resultados dos isótopos ambientais permitiram concluir que, as amostras coletadas neste estudo possuem razão isotópica próximas às médias das águas subterrâneas da área de recarga do SAG, sendo que, as amostras da primeira campanha recebem uma contribuição maior das águas subterrâneas em relação a amostras da segunda campanha, evidenciando que a precipitação influencia diretamente na composição isotópica das águas dos rios;

- Isso demonstra a necessidade de proteção das áreas de recarga do SAG nesta sub-bacia, visto que são responsáveis pela manutenção do fluxo de água dos cursos d'água, que ainda apresentam boa qualidade.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ABNT. **Associação Brasileira de Norma Técnicas**. NBR (9898). Rio de Janeiro, 4p., 1987.
- ALMEIDA, F. F. M.; MELO, M. S. **A Bacia do Paraná e o Vulcanismo Mesozóico**. In: ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; MELO, M.S.; BISTRICHI, C.A. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000. São Paulo, IPT, 46-81. (Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais-PRÓ-MINÉRIO), 1986.
- ALMEIDA, F.F.M; BARBOSA, O. **Geologia das Quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo**. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, 143: 1-96, 1953.
- ANA. AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Caderno de Recursos Hídricos, Brasília, Agência Nacional de Águas, SPR, 2005.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Association**. AWWA, WPCF, 1998. 1569p.
- APPELO, C.A.J.; POSTMA, D. **Geochemistry, groundwater and pollution**. 2^a ed. Amsterdam: Balkema Publishers, 2005. 650p.
- BATTALHA, B. L.; PARLATORE, A. C. **Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano: Bases Conceituais e Operacionais**. São Paulo: CETESB, 198p., 1977.
- BERNER, E. K.; BERNER, R. A. **Global Environment: Water, Air, and Geochemical Cycles**. Princeton University Press, 2nd Edition, 444p, 2012.
- BERTACHINI, A. C. **Hidrogeologia e desaguamento da Mina de Águas Claras**. In: Anais do 8º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas - ABAS. Recife, 1994.
- BONOTTO, D.M.; BUENO, T.O. **The natural radioactivity in Guarani aquifer groundwater, Brazil**. Applied Radiation and Isotopes, v. 66, p. 1507– 1522, 2008.
- BRANCO, S. M. **A água e o Homem**. In: PORTO, R. L. L.; BRANCO, S. M.; CLEARY, R.W.; COIMBRA, R. M.; EIGER, S.; LUCA, S. J.; NOGUEIRA, V. P.Q.; PORTO, M. F. A. Hidrologia Ambiental. Editora da Universidade de São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. v3. 414p. 1991.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005**. Brasília: D.O.U., 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 10 de Jun. 2013.
- CAETANO-CHANG, M.R. **A Formação Pirambóia no centro-leste do Estado de São Paulo**. Habilitation Thesis, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Rio Claro, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, 1997.
- CAETANO-CHANG, M.R., Wu, F.T. **Arenitos flúvio-eólicos da porção superior da Formação Pirambóia, na porção centro-leste paulista**. Rev. Brasil. Geol. 36, 296– 304, 2006.

CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. **Relação da atividade agropecuária com parâmetros físico-químicos da água**. Química Nova, v. 23, n. 5, 2000.

CARVALHO, C. F.; FERREIRA, A. L.; STAPELFELDT, F. **Qualidade das águas do ribeirão Ubá- MG**. Revista da Escola de Minas, v.57, p.165-172, 2004.

CARVALHO, J. B. **Avaliação Isotópica e Hidroquímica na Porção Noroeste do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, Brasil**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais. Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 2012.

CASTANY, G. **Tratado Practico de las Aguas Subterraneas**. Barcelona: Omega, 1971.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB

_____. Relatório da Situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas Tietê-Jacaré. 2006/2007.

_____. Relatório da Situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas Tietê-Jacaré. 342p. 2009/2010.

CHANG, H. K.; TEIXEIRA, A. J.; VIDAL, A. C. **Aspectos Hidrogeológicos e Hidroquímicos das Regiões dos Municípios de Mogi Mirim, Mogi Guaçu e Itapira no Estado de São Paulo**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 22, n. especial, p. 63-73, 2003.

CHOW V. T; MAIDMENT D. R.; MAYS L. W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill; 1988.

CLARK, I; FRITZ, P. **Environmental Isotopes in Hydrogeology**. New York, CRC Press. 328p, 1997.

CLEMENTE, C. A.; AZEVEDO, A. C. **Mineral weathering in acid saprolites from Subtropical, Southern Brazil**. Scientia Agricola (Piracicaba, Brazil), v.64(6):601-607, 2007.

CPRM. **Mapa geodiversidade do Brasil**. Escala 1:2.500.000. Legenda expandida. Brasília: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2006. 68 p. CD-ROM.

CRAIG, H. 1961. **Standards for reporting concentration of deuterium and oxygen-18 in natural waters**. *Science*, 113:1833, 1961.

CUELBAS, L. P.; CARVALHO, L. S. **Avaliação da qualidade da água na microbacia do córrego Campestre no município de Lins (SP)**. Holos Environment, v.9, p.14, 2009.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrología subterránea**. 2. ed. Barcelona: Ediciones Omega, 1983. 2v.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterránea**. Barcelona: Ediciones Omega. Segunda Edición corregida, Tomo I, 2001.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo/Universidade Estadual Paulista. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:250.000. São Paulo, 1980.

- DANSGAARD, W. **Stable isotopes in precipitation**. Tellus 16:436-468, 1964.
- ERNESTO, M.; RAPOSO, M. I. B.; MARQUES, L. S.; RENNE, P. R.; DIOGO, L.A.; DEMIN, A. **Paleomagnetism, Geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating of the North-Eastern Parana Magmatic Province: Tectonic Implications**. Journal of Geodynamics, 1999.
- ESRI. **Environmental Systems Research Institute**. ArcGis, versão 10.1: Html help control version 4.74.8702, 2002.
- ESTEVEZ, F. A. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro, Interciências/FINEP, 575p, 1988.
- ESTEVEZ, F.A. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: Interciência, 602p. **Examination of Water and Wastewater**. 20 ed. Washington: American Public Health, 1998.
- FAUST, S. D.; ALY, O. M. (Eds.) **Chemistry of Natural Waters**. Butterworths Publishers, Sydney, 400p., 1981.
- FRITZ, P.; FONTES, J. Ch. (eds.). **Handbook of environmental isotope geochemistry**. Elsevier. Amsterdam. 322 p, 1980.
- GAILLARDET J., DUPRE B., LOUVAT P. AND ALLEGRE C. J. **Global silicate weathering and CO₂ consumption rates deduced from the chemistry of large rivers**. Chem. Geol. 159 (1-4), 3-30, 1999.
- GASTMANS, D.; CHANG, H.K.; SANTOS, V.; ARAGUAS, L.; BELACHEW, D. L.; AGGARWAL, P. **Relationship between stable isotopes composition of groundwater from unconfined aquifers and modern precipitation in southeastern of Brazil: Key to understand past recharge conditions**. In: Anais 41st IAH Congress, 2014. Marrakesh, 2014.
- GONZAGA, G. M.; TOMPKINS, L. A. **Geologia do Diamante**. In: SCHOBENHAUS, C., QUEIROZ, E. T., COELHO, C. E. S (coords.). Principais Depósitos Minerais do Brasil, Departamento Nacional da Produção Mineral-Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. v. IV (A), p. 53-116. Brasília, 1901.
- HEM, J. D. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters**. US Geol. Surv. Water Supply Paper 2254, 1985.
- HORTON, R. **An index number system for rating water quality**. Journal WPCF, vol.37, n°3, p.300-306, 1965.
- HOUSE, M. A.; ELLIS, J. B. **Water quality indices: na additional management tool?** Prog. Wat. Technol, vol.13, p.213-423, 1980.
- IAEA – **International Agency of Atomic Energy**, GNIP DATABASE, 2008. Disponível em:<<http://isohis.iaea.org>>, acesso em 18 fev. 2015.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Populacional 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>. Consultado em: 25 Març. 2013.

IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Comitê de Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré (CBH-TJ). Relatório Zero UGRHI13:

_____. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000. São Paulo, IPT, 46-81. (Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais-PRÓ-MINÉRIO), 1981.

_____. Diagnóstico da Situação Atual dos Recursos Hídricos e Estabelecimento de Diretrizes Técnicas para a Elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré. Araraquara: CBH-TJ, 2000.

_____. Diagnóstico da Situação Atual dos Recursos Hídricos e Estabelecimento de Diretrizes Técnicas para a Elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré. Araraquara: CBH-TJ, 2007.

_____. Diagnóstico da Situação Atual dos Recursos Hídricos e Estabelecimento de Diretrizes Técnicas para a Elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré. Araraquara: CBH-TJ, 2010.

KATTAN, Z.; PROBST, J. L. **Transports en Solution et en Suspension par la Moselle en Périodes de Crues**. In: Journées Dhydrologie, Strasbourg. Crue et Inondations. Actes. Strasbourg, p. 143-167, 1986.

LAAKSOHARJU, M.; SKÅRMAN, C.; SKÅRMAN, E. **Multivariate mixing and mass balance (M3) calculations, a new tool for decoding hydrogeochemical information**. Applied Geochemistry, 1999, v.14, p.861.

MACHADO, J.L.F.; FACCINI, U. **Influência dos Falhamentos Regionais na Estruturação do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13, 2004, Cuiába. Anais.... Cuiába: ABAS, 2007. CD- ROOM.

MACKERETH, F. J. H., HERON, J., TALLING, J. F. **Water analysis: some revised methods for limnologists**. England: Scientific Publication. 121p, 1978.

MARQUES, L. S.; ERNESTO, M. **O Magmatismo Toleítico da Bacia do Paraná**. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITTO-NEVES, B.B.B. (coords.), Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, Editora Beca. São Paulo, 2004.

MARTINELLI, L. A.; DEVOL, A. H.; FORBESBERG, B. R.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E.; RIBEIRO, M. N. G. **Descarga de Sólidos Dissolvidos Totais do Rio Amazonas e seus Principais Tributários**. Geochimica Brasiliensis, Rio de Janeiro, 3(2): 141-148, 1989.

MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R. L.; DEMATTE, J. L.; RICHEY, J.E.; DEVOL, A. H. **Chemical and mineral composition of Amazon River floodplain sediments, Brazil**. Applied Geochemistry, Oxford, 8: 391-402, 1993.

MARTOS, M. Y. H. G. **Análise Temporal da Qualidade da Água em um Trecho do Rio Sorocaba e de seus Afluentes Ipanema e Pirajibu, e Comparação com a Legislação Ambiental Vigente.** Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

MAZOR, E. **Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology.** 3 ed. New York: Marcel Dekker, 2004. 453p.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. **Qualidade da Água em Bacias Hidrográficas Rurais: Um Desafio Atual para a Sobrevivência Futura.** Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, Porto Alegre, v.3, n.4, 2002.

MEYBECK, M. **Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads.** Am. J. Sci. 287, 401–428, 1987.

MEYBECK, M.; HELMER, R. **An Introduction to Water Quality.** In: CHAPMAN, D. Water Quality Assessment. Cambridge, University Press, 585p., 1992.

MILANI, E. J. **Evolução Tectono-Estratigráfica da Bacia do Paraná e seu Relacionamento com a Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Tese de Doutorado, 255 p, 1997.

MOLINA, P. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; VANZELA, L. S. **Índice de qualidade de água na microbacia degradada do córrego Água da Bomba – município de Regente Feijó – SP.** In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16., 2006, Goiânia. Anais. Goiânia, 2006.

MORAIS, E. B. **Indicadores Microbiológicos, Metais e Índice de Qualidade Da Água (IQA). Associados ao Uso e Ocupação da Terra para Avaliação da Qualidade Ambiental da Microbacia do Rio Cabeça, na Bacia do Rio Corumbataí, SP.** Tese de Doutorado em Ciências Biológicas, Área de Concentração em Microbiologia Aplicada. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

MORTATTI, J.; PROBST, J. L. **Hidrogeoquímica de Bacias de Drenagem.** Piracicaba: CPG/CENA, Série didática, v.1, 239 p., 1998.

ODUM, E.P. Ecology: **The Link Between the Natural and Social Sciences** (2nd Edition). Holt-Saunders, New York, 244 pp., 1988.

OPPA, L.F. **Utilização de Modelo Matemático de Qualidade da Água para Análise de Alternativas de Enquadramento do Rio Vacacaí Mirim.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M. **Chemical Stratigraphy of the Paraná Lavas (South America): Classification of Magma Types and their Spatial Distribution.** Bulletin of Volcanology. Berlim, 1992.

PIPER, A.M. A. **Graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis.** American Geophysical Union Transactions, v. 25, p.914-923,1944.

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M.; PRANDINI, F. L. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo, v.1, São Paulo, 94p, 1981.

PRADO, H. **Ambientes de Produção de Cana-de-Açúcar na Região Centro-Sul do Brasil**. Encarte do Informações Agrônômicas, v. 110, p. 12-17, 2005.

RENNE, P. R.; ERNESTO, M.; PACCA, I. G.; COE, R. S.; GLEN, J.; PREVOT, M.; PERRIN, M. **The Age of Parana Flood Volcanism, Rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous Boundary**. Science, 258:975-979, 1992.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO, N. J. M. **Tratamento de Água**. Tecnologia atualizada, Editora Edgard Blücher, Ltda, São Paulo – SP, 1991.

RODRIGUES, F. M. **Caracterização Hídrica em Função das Condições de Uso e Manejo do Solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego da Fazenda da Glória, Taquaritinga, SP**. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

RODRÍGUEZ, M. P. **Avaliação da Qualidade da Água da Bacia do Alto Jacaré Guaçu/SP (Ribeirão do Feijão e Rio do Monjolinho) Através de Variáveis Físicas, Químicas e Biológicas**. Tese de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

ROZANSKI, K., L.; ARAGUFIS-ARAGUFIS,; GONFIANTINI, R. **Isotopic patterns in modern global precipitation, in Climate Change in Continental Isotopic Records**. Geophys. Monogr. Ser., vol. 78. edited by P.R. Swart, et al., pp. 1-36, AGU, Washington D.C., 1993.

ROZANSKI, K., L.; ARGUAS-ARGUAS,; R. GONGIANTINI. **Isotope patterns in modern global precipitation, in Climate Change in Continental Isotope Records**. Geophys. Monogr. Ser., vol. 78, pp. 1–36, AGU, Washington, D. C., 1993.

SANTOS, L.; CABRAL, J. J. S. P.; PAIVA, A. L.R; ZUCCHI, M. R. **Utilização de isótopos estáveis para análise da interação da água superficial e água subterrânea num estudo de filtração em margens**. In: XVI Congresso Brasileiro de águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. São Luís, 2010.

SAWYER, C. N.; MCCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for Environmental Engineering**. McGraw-Hill, New York, 658pp., 1994.

SCHERER, C. M. S. **Análise estratigráfica e litofaciológica da Formação Botucatu (Cretáceo Inferior da Bacia do Paraná) no Rio Grande do Sul**. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Tese de Doutorado, 202p, 1998.

SETZER J. **Os solos da noroeste**. São Paulo. Secr. Agr. Ind. Com. Estado de São Paulo. 15p., 1943.

SIGRH. SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DE SÃO PAULO. 2005. **Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo**. <http://www.sigrh.sp.gov.br>. Acesso em: 14 Abr. 2014

SILVA, A. B.; SOBREIRO-NETO, A. F.; BERTACHINI, A. C. **Potencial das águas subterrâneas do Quadrilátero Ferrífero**. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 8, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Recife, 1994.

SMA. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. Coordenadoria de Planejamento Ambiental Estratégico e Educação Ambiental - CPLEA. **Mapa de uso e ocupação do solo do Estado de São Paulo**. Escala 1:50.000. São Paulo: SMA/ CPLEA, 2009. (CD-ROM. Dados digitais).

SOARES, P. C. **O Mesozóico Gondwânico no Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado em Geologia. Faculdade de Ciências e Letras de Rio Claro. 153p. Rio Claro, 1973.

SOARES, P. C. **Divisão Estratigráfica do Mesozóico no Estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.5, p.229-251, 1975.

STEWART, K.; TURNER, S.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C.; KIRSTEIN, L.; MANTOVANI, M. **3D, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology in the Paraná Continental Flood Basalt Province**. Earth and Planetary Science Letters, n° 143, p. 95-109, 1996.

TAUK-TORNISIELO, S. M.; MENEGÁRIO, A. A.; GONÇALVES, F. A. M. **Metais nas Águas do Rio Corumbataí**. In: TAUK-TORNISIELO, S. M.; ESQUIERRO, J. C. **Bacia do Rio Corumbataí – Aspectos Socioeconômicos e Ambientais**. 1° ed. Consórcio PCJ. p.105-118., 2008.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. **Índice de Qualidade de Água em Microbacia sob Uso Agrícola e Urbano**. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.59, n.1, p.181-186, 2002.

TURNER, J.V.; BARNES, C.J. **Modeling of isotope and hydrogeochemical responses in catchment hydrology**. In: Kendall, C. and Mc Donnell, J.J (Editors) *Isotope Tracer in Catchment Hydrology*, Ed. Elsevier Publisher. p. 721-760, 1998.

TURNER, S. P.; REGELOUS, M.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C.; MANTOVANI, M. S. M. **Magmatism and Continental Break-Up in the South Atlantic: High Precision $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology**. Earth and Planetary Science Letters, v. 121, p. 333-348, 1994.

VON SPERLING, M. **Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 588p., 2007.

WASHBURN, C.W. **Geologia do Petróleo no Estado de São Paulo**. Bol. Com. Geogr. Geol. Est. S. Paulo, v. 22, p. 1-282, 1930.

WETZEL, R. G. **Limnology**. 2nd ed. Saunders, 1983.

WHITE, I. C. **Geologia do Sul do Brasil**. Trad. Manuel I. Ornellas. B. Direct. Agric. Viação Ind. Obras Publ. Salvador, 1906.

WINTER, T. C.; HARVEY, J.W.; FRANKE, O.L.; ALLEY, W.M. **Ground Water and Surface Water**. A Single Resource, U.S. Geological Survey Circular 1139, Denver, 1971.

ZAGATTO, P. A.; ARAGÃO, M. A.; CARVALHO, M. C.; SOUZA, R. C. R. Manual de orientação em casos de florações de algas tóxicas: um problema ambiental e de saúde pública. CETESB – Manual Técnico, 18ed. (Série Manuais), 20pp., 1998.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; VIEIRA, I.S.; ASTOLFI, M.A.M.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O. A. **A Divisão Tripartite do Siluriano da Bacia do Paraná.** Revista Brasileira de Geociências, 1987.