



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(MICROBIOLOGIA APLICADA)**

**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.**

EDUARDO BERALDO DE MORAIS

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas Área de Concentração em Microbiologia Aplicada.

Abril - 2010

**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.**

EDUARDO BERALDO DE MORAIS

Orientadora: Profa. Dra. SÂMIA MARIA TAUKE-TORNISIELO

Tese apresentada ao Instituto de
Biociências do Campus de Rio Claro,
Universidade Estadual Paulista, como
parte dos requisitos para obtenção do
título de Doutor em Ciências Biológicas
Área de Concentração em Microbiologia
Aplicada.

Rio Claro

Estado de São Paulo – Brasil
Abril de 2010

551.46 Moraes, Eduardo Beraldo
M827i 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 /
 Eduardo Beraldo Moraes. - Rio Claro : [s.n.], 2010
 138 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots.

 Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de
 Biociências de Rio Claro
 Orientador: Sâmia Maria Tauk-Tornisielo

 1. Hidrografia. 2. Recursos hídricos. 3. Indicadores microbiológicos.
 4. Índice de qualidade da água (IQA). 5. Metais. 6. Rio Cabeça. 7. Gestão
 ambiental integrada. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP


PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(MICROBIOLOGIA APLICADA)

TESE DE DOUTORADO defendida em 30.03.2010

"INDICADORES MICROBIOLÓGICOS, METAIS-TRAÇO E ÍNDICE DE
QUALIDADE DE ÁGUA (IQA) DO RIO CABEÇA, NA BACIA DO RIO
CORUMBATAÍ, SP"

EDUARDO BERALDO DE MORAIS

COMISSÃO EXAMINADORA:


Prof.ª. Dr.ª. Sâmia Maria Tauk-Tornisielo


Prof. Dr. Arlovaldo José da Silva


Prof.ª. Dr.ª. Aurora Mariana Garcia de França Souza


Prof.ª. Dr.ª. Dejanira de Franceschi de Angelis


Prof. Dr. Carlos Renato Corso

*Dedico este trabalho aos meus heróis, meus
pais Antônio e Maria Tereza.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, o criador de tudo, que me permitiu cumprir mais esta etapa da minha vida.

Agradeço a Dra. Sâmia Maria Tauk-Tornisielo pela orientação, confiança, incentivo, amizade e estímulo durante todo o desenvolvimento da minha carreira acadêmica.

À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Centro de Estudos Ambientais (CEA) da UNESP, que colocou à minha disposição a infra-estrutura necessária para o desenvolvimento desse trabalho.

À Francisca de Assis Mattioli Gonçalves e Eleni Nadai Malagutti, técnicas dos laboratórios do CEA, pela amizade, ensinamentos e assistência durante o desenvolvimento do trabalho.

À Sara Cristina Galvão sempre disposta a ajudar em tudo e a qualquer momento.

Ao professor Dr. José Silvio Govone pela orientação das análises estatísticas.

À Sílvia Elena Ventrini pelas ajudas nas coletas em campo e elaboração dos mapas.

À república Vegas: Xandão (Alexandre), Duah (Eduardo), Franz e Hantaro (Henrique).

À Elaine pelo apoio sempre e por compreender minha ausência.

Aos meus grandes amigos: Alex, Lye, Maria Paula, Alexandre (Bauru), Sunao, Gui, Felipe (Nei), Vinicius (Wilson), Carlão, Guto, Alexis, Cabral (Rafael), Preto (Marcus César), Hélder, Nadim, Poiano.

Enfim, agradeço a todos os amigos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1 Fundamentos da qualidade da água.....	4
2.1.1 Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos.....	5
2.1.1.1 Temperatura da água.....	5
2.1.1.2 pH.....	6
2.1.1.3 Turbidez.....	6
2.1.1.4 Cor aparente.....	7
2.1.1.5 Sólidos suspensos totais e sólidos totais dissolvidos.....	7
2.1.1.6 Condutividade elétrica.....	8
2.1.1.7 Oxigênio dissolvido.....	9
2.1.1.8 Fósforo total.....	9
2.1.1.9 Série de nitrogênio (nitrogênio total, amônia, nitrito e nitrato).....	10
2.1.1.10 Metais.....	11
2.1.2 Parâmetros biológicos.....	14
2.1.2.1 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO).....	14
2.1.2.2 Indicadores microbiológicos.....	15
2.1.3 Índice de qualidade da água (IQA).....	17
2.2 Bacia do rio Corumbataí.....	19
2.2.1 Ribeirão Claro e seus afluentes.....	20
2.2.2 Rio Corumbataí.....	21
2.2.3 Rio Passa Cinco e seus afluentes.....	23
2.2.4 Unidades de pesque-pague.....	24
2.3 Microbacia do rio Cabeça.....	25
2.3.1 Localização da área de estudo.....	26
2.4 Gestão de bacias e microbacias hidrográficas.....	28
2.4.1 Classificação dos corpos hídricos.....	28
2.4.2 Bacias e microbacias hidrográficas de uso rural.....	29
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	32

3.1 Pontos de amostragem.....	32
3.2 Metodologia de coleta de água.....	33
3.3 Metodologia analítica da qualidade da água.....	34
3.3.1 Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos.....	34
3.3.1.1 Temperatura do ar (°C).....	34
3.3.1.2 Temperatura da água (°C), pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), sólidos totais dissolvidos (STD) ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).....	34
3.3.1.3 Turbidez (UNT).....	34
3.3.1.4 Cor aparente ($\text{PtCo}\cdot\text{L}^{-1}$).....	35
3.3.1.5 Fósforo total ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$).....	35
3.3.1.6 Nitrogênio total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).....	35
3.3.1.7 Nitrato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e amônia ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	35
3.3.1.8 Sólidos suspensos totais.....	36
3.3.1.9 Metais ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).....	36
3.3.2 Parâmetros microbiológicos.....	45
3.3.2.1 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO).....	36
3.3.2.2 Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> (NMP.100mL ⁻¹).....	37
3.4 Vazão.....	37
3.5 Análise da evolução do uso da terra e cobertura vegetal e elaboração de mapas temáticos da microbacia do rio Cabeça.....	39
3.6 Análise estatística dos dados de qualidade da água.....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1 Análise de variância fatorial.....	41
4.1.1. Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos.....	41
4.1.1.1 Temperatura do ar.....	41
4.1.1.2 Temperatura da água.....	44
4.1.1.3 pH.....	46
4.1.1.4 Turbidez.....	49
4.1.1.5 Cor aparente.....	51
4.1.1.6 Condutividade elétrica.....	53
4.1.1.7 Sólidos totais dissolvidos (STD).....	56
4.1.1.8 Oxigênio dissolvido (OD).....	58
4.1.1.9 Amônia.....	61

4.1.1.10 Nitrato.....	63
4.1.1.11 Nitrogênio total.....	66
4.1.1.12 Fósforo total.....	69
4.1.1.13 Sólidos suspensos totais.....	72
4.1.2 Metais.....	74
4.1.2.1 Ferro.....	75
4.1.2.2 Alumínio.....	77
4.1.2.3 Zinco.....	80
4.1.2.4 Manganês.....	83
4.1.2.5 Cálcio.....	86
4.1.2.6 Magnésio.....	88
4.1.3 Parâmetros biológicos.....	91
4.1.3.1 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO).....	91
4.1.3.2 Coliformes totais.....	94
4.1.3.3 <i>Escherichia coli</i>	97
4.2 Análise estatística multivariada.....	101
4.2.1 Análise da componente principal.....	101
4.3 Índice de qualidade da água (IQA).....	103
4.4 Vazão.....	109
4.5 Mapas temáticos da microbacia do rio Cabeça.....	110
4.5.1 Aspectos geomorfológicos.....	110
4.5.2 Aspectos geológicos.....	111
4.5.3 Aspectos pedológicos.....	113
4.6 Perspectivas do uso da terra e qualidade da água na microbacia do rio Cabeça.....	114
4.7 Considerações finais.....	121
5. CONCLUSÕES.....	123
6. REFERÊNCIAS.....	125

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localização da bacia do rio Corumbataí no Estado de São Paulo.....	19
Figura 2. Localização da microbacia do rio Cabeça na bacia do rio Corumbataí.....	27
Figura 3. Localização dos pontos de amostragem nos rios Cabeça e Passa Cinco, na bacia do rio Corumbataí.....	33
Figura 4. Procedimentos para seleção e marcação do trecho do rio durante a medição da vazão.....	38
Figura 5. Médias dos valores de temperatura do ar (°C) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	42
Figura 6. Médias do parâmetro temperatura da água (°C) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	45
Figura 7. Médias do parâmetro pH em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/chuvoso.....	47
Figura 8. Médias do parâmetro turbidez (UNT) em cada ponto de amostragem para os períodos seco e chuvoso.	50
Figura 9. Médias do parâmetro cor aparente (mg PtCo.L ⁻¹) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.	52
Figura 10. Médias do parâmetro condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	54
Figura 11. Médias do parâmetro sólidos totais dissolvidos (mg.L ⁻¹) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	57
Figura 12. Médias do parâmetro OD (mg.L ⁻¹) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	59
Figura 13. Médias do parâmetro amônia (mg.L ⁻¹) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	62
Figura 14. Médias do parâmetro nitrato (mg.L ⁻¹) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	64
Figura 15. Médias do parâmetro nitrogênio total (mg.L ⁻¹) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	67
Figura 16. Médias do parâmetro fósforo total (µg.L ⁻¹) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	70

Figura 17. Médias do parâmetro sólidos suspensos totais (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.	73
Figura 18. Médias do parâmetro Fe (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	76
Figura 19. Médias do parâmetro Al (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	78
Figura 20. Médias do parâmetro Zn (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	81
Figura 21. Médias do parâmetro Mn (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	84
Figura 22. Médias do parâmetro Ca (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	87
Figura 23. Médias do parâmetro Mg (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	89
Figura 24. Médias do parâmetro DBO (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	92
Figura 25. Valores de DBO para os pontos de amostragens durante o período de abril de 2007 a março de 2009. A linha de referência vermelha indica o valor máximo permitido, 5 mg.L^{-1} , segundo o Decreto Estadual 8468/1976 e Resolução CONAMA 357/2005.....	93
Figura 26. Médias do parâmetro coliformes totais (NMP.100mL^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	95
Figura 27. Médias do parâmetro <i>Escherichia coli</i> (NMP.100mL^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.....	98
Figura 28. Valores encontrados para <i>Escherichia coli</i> em cada ponto de coleta, no período de abril de 2007 a março de 2009. A linha de referência vermelha indica o valor máximo permitido, $1000 \text{ NMP.100mL}^{-1}$, segundo o Decreto Estadual 8468/1976 (SÃO PAULO, 1976) e Resolução CONAMA 357/2005.....	100
Figura 29. Índice de qualidade da água (IQA) determinado nos pontos de amostragem durante o período de abril de 2007 a março de 2009.....	107
Figura 30. Valores de vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) para os pontos de amostragem P1, P2, P3 e P5 determinados nos períodos secos/frios e chuvosos/quentes.....	109

Figura 31. Mapa do modelo numérico do terreno para a microbacia do rio Cabeça.....	111
Figura 32. Mapa geológico da microbacia do rio Cabeça.....	112
Figura 33. Mapa pedológico da microbacia do rio Cabeça.....	114
Figura 34. Mapa do uso da terra e cobertura vegetal da microbacia do rio Cabeça para o ano de 2008.....	115
Figura 35. Evolução do uso da terra para a cana-de-açúcar, pastagem e vegetação nativa na microbacia do rio Cabeça nos anos de 1962, 1988 e 2008.....	116
Figura 36. Rio Cabeça nas proximidades do ponto de amostragem P1, onde a mata ciliar foi substituída pela cultura da cana-de-açúcar.....	117
Figura 37. Ponto de amostragem P2 no Rio Cabeça indicando a ausência de mata ciliar e assoreamento.....	119
Figura 38. Trecho nas proximidades do ponto de amostragem P3 do rio Cabeça (médio curso) com alto grau de assoreamento.....	119
Figura 39. Entulhos e resíduos de construções depositados junto às margens do rio Cabeça nas proximidades do ponto de amostragem P3.....	120

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Peso dos parâmetros no cálculo do IQA.	18
Tabela 2. Classificação das águas segundo o IQA desenvolvido pela CETESB.....	19
Tabela 3. Variação espaço-temporal da temperatura do ar (°C) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	42
Tabela 4. Análise de variância para a temperatura do ar (°C) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	43
Tabela 5. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o parâmetro temperatura do ar (°C).....	43
Tabela 6. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o parâmetro temperatura do ar (°C).....	43
Tabela 7. Variação espaço-temporal da temperatura da água (°C) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	45
Tabela 8. Análise de variância para a temperatura da água (°C) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	46
Tabela 9. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando a temperatura da água (°C).....	46
Tabela 10. Variação espaço-temporal do pH determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	47
Tabela 11. Análise de variância para o pH nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	48
Tabela 12. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o pH.....	48
Tabela 13. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o pH.....	48
Tabela 14. Variação espaço-temporal da turbidez (UNT) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	50
Tabela 15. Análise de variância para a turbidez (UNT) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	51
Tabela 16. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando a turbidez (UNT).....	51

Tabela 17. Variação espaço-temporal da cor aparente (mg PtCo.L^{-1}) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	52
Tabela 18. Análise de variância para a cor aparente (mg PtCo.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	53
Tabela 19. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando a cor aparente (mg PtCo.L^{-1}).....	53
Tabela 20. Variação espaço-temporal da condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	54
Tabela 21. Análise de variância para a condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	55
Tabela 22. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando a condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$).....	55
Tabela 23. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando a condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$).....	55
Tabela 24. Variação espaço-temporal de sólidos totais dissolvidos (mg.L^{-1}) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem...	56
Tabela 25. Análise de variância para sólidos totais dissolvidos (mg.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	57
Tabela 26. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando sólidos totais dissolvidos (mg.L^{-1}).....	58
Tabela 27. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando sólidos totais dissolvidos (mg.L^{-1}).....	58
Tabela 28. Variação espaço-temporal de OD (mg.L^{-1}) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	59
Tabela 29. Análise de variância para OD (mg.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	60
Tabela 30. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o OD (mg.L^{-1}).....	60
Tabela 31. Variação espaço-temporal de amônia (mg.L^{-1}) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	61
Tabela 32. Análise de variância para amônia (mg.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	62

Tabela 33. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando a amônia (mg.L ⁻¹).....	62
Tabela 34. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando a amônia (mg.L ⁻¹).....	63
Tabela 35. Variação espaço-temporal de nitrato (mg.L ⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	64
Tabela 36. Análise de variância para nitrato (mg.L ⁻¹) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	65
Tabela 37. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o nitrato (mg.L ⁻¹).....	65
Tabela 38. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o nitrato (mg.L ⁻¹).....	65
Tabela 39. Variação espaço-temporal de nitrogênio total (mg.L ⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	67
Tabela 40. Análise de variância para nitrogênio total (mg.L ⁻¹) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	68
Tabela 41. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o nitrogênio total (mg.L ⁻¹).....	68
Tabela 42. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o nitrogênio total (mg.L ⁻¹).....	68
Tabela 43. Variação espaço-temporal de fósforo total (µg.L ⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	69
Tabela 44. Análise de variância para fósforo total (µg.L ⁻¹) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	70
Tabela 45. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o fósforo total (µg.L ⁻¹).....	70
Tabela 46. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o fósforo total (µg.L ⁻¹).....	71
Tabela 47. Variação espaço-temporal de sólidos suspensos totais (mg.L ⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem...	72
Tabela 48. Análise de variância para sólidos suspensos totais (mg.L ⁻¹) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	73

Tabela 49. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o sólidos suspensos totais (mg.L ⁻¹).....	73
Tabela 50. Variação espaço-temporal de Fe (mg.L ⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	75
Tabela 51. Análise de variância para Fe (mg.L ⁻¹) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	76
Tabela 52. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o Fe (mg.L ⁻¹).....	76
Tabela 53. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o Fe (mg.L ⁻¹).....	77
Tabela 54. Variação espaço-temporal de Al (mg.L ⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	78
Tabela 55. Análise de variância para Al (mg.L ⁻¹) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	79
Tabela 56. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o Al (mg.L ⁻¹).....	79
Tabela 57. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o Al (mg.L ⁻¹).....	79
Tabela 58. Variação espaço-temporal de Zn (mg.L ⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	81
Tabela 59. Análise de variância para Zn (mg.L ⁻¹) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	82
Tabela 60. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o Zn (mg.L ⁻¹).....	82
Tabela 61. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o Zn (mg.L ⁻¹).....	82
Tabela 62. Variação espaço-temporal de Mn (mg.L ⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	84
Tabela 63. Análise de variância para Mn (mg.L ⁻¹) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	85
Tabela 64. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando a Mn (mg.L ⁻¹).....	85

Tabela 65. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco e chuvoso, considerando o Mn (mg.L ⁻¹).....	85
Tabela 66. Variação espaço-temporal de Ca (mg.L ⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	86
Tabela 67. Análise de variância para Ca (mg.L ⁻¹) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	87
Tabela 68. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o Ca (mg.L ⁻¹).....	88
Tabela 69. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o Ca (mg.L ⁻¹).....	88
Tabela 70. Variação espaço-temporal de Mg (mg.L ⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	89
Tabela 71. Análise de variância para Mg (mg.L ⁻¹) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	90
Tabela 72. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o Mg (mg.L ⁻¹).....	90
Tabela 73. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o Mg (mg.L ⁻¹).....	90
Tabela 74. Variação espaço-temporal da DBO (mg.L ⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.....	91
Tabela 75. Análise de variância para a DBO (mg.L ⁻¹) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	92
Tabela 76. Variação espaço-temporal de coliformes totais (NMP.100mL ⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem...	94
Tabela 77. Análise de variância para coliformes totais (NMP.100mL ⁻¹) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	95
Tabela 78. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando os coliformes totais (NMP.100mL ⁻¹).....	95
Tabela 79. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando coliformes totais (NMP.100mL ⁻¹).....	96
Tabela 80. Variação espaço-temporal de <i>Escherichia coli</i> (NMP.100mL ⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem...	97

Tabela 81. Análise de variância para <i>Escherichia coli</i> (NMP.100mL ⁻¹) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	98
Tabela 82. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando <i>Escherichia coli</i> (NMP.100mL ⁻¹).....	98
Tabela 83. Matriz de correlação dos parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e microbiológicos determinados nos pontos de amostragem no período de abril de 2007 a março de 2009.....	102
Tabela 84. Matriz de peso fatorial dos parâmetros estudados demonstrando as cinco componentes principais significativas.....	104
Tabela 85. Matriz de peso fatorial rotacionada dos parâmetros estudados demonstrando as cinco componentes principais significativas.....	105
Tabela 86. Análise de variância para o IQA nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009.....	108
Tabela 87. Usos preponderantes da terra e cobertura vegetal na microbacia do rio Cabeça para o ano de 2008.....	116

RESUMO

O objetivo deste estudo foi a determinação de indicadores microbiológicos, metais e IQA (Índice de Qualidade da Água) na microbacia do rio Cabeça, SP. Também foi realizada a avaliação da evolução do uso da terra e cobertura vegetal nesta microbacia visando a preservação não somente das águas, mas toda “teia complexa” das relações existentes entre parâmetros físicos, biológicos e antrópicos em uma bacia hidrográfica. A crescente degradação da qualidade dos recursos hídricos devido a ações antrópicas torna necessário o monitoramento da qualidade ambiental desses ecossistemas. O rio Cabeça é um afluente na bacia do rio Corumbataí, unidade ambiental de extrema importância econômica e social por apresentar potencial hídrico capaz de abastecer as cidades de Analândia, Corumbataí, Rio Claro, Santa Gertrudes, Ipeúna, Itirapina e Charqueada e ainda permitir a exportação de água para municípios localizados em bacias vizinhas, tais como Araras e Piracicaba, onde os problemas hídricos são bastante sérios. Cinco pontos de amostragem foram determinados ao longo do rio Cabeça além de outros dois pontos no corpo hídrico que recebe a suas águas, o rio Passa Cinco, um a montante e outro a jusante do ponto de encontro de ambos os rios. Coletas foram realizadas uma vez por mês durante o período de abril/2007 a março/2009. Os parâmetros DBO e *Escherichia coli* estiveram em desacordo com o estabelecido pelo Decreto Estadual 8468/1976 e pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2. Ferro e pH também desrespeitaram os padrões fixados na Resolução citada. Os metais Cu, Cr e Ni não foram detectados durante o período de estudo e Cd e Pb foram encontrados somente em algumas amostras. Há predomínio de pastagem e de cana-de-açúcar e uma tendência de aumento dessas atividades. O rio Passa Cinco não teve alterações significativas dos parâmetros de qualidade da água, após receber as águas do rio Cabeça. Apesar de classificada como boa a qualidade das águas dos rios amostrados, segundo o IQA, há risco de degradação decorrente do escoamento superficial agrícola e poluição orgânica proveniente de vilas rurais e criação de animais, fatores estes determinantes da qualidade da água e identificados através de análise estatística multivariada. A situação se torna alarmante devido à ausência da mata ciliar e altos graus de assoreamento verificados principalmente na primeira metade do rio Cabeça. É necessário disciplinar o uso e ocupação da terra e recuperar a vegetação nativa em áreas de preservação permanente, principalmente as matas ciliares, para a manutenção e preservação da quantidade e qualidade das águas na microbacia do rio Cabeça.

Palavras-chaves: rio Cabeça, indicadores microbiológicos, metais, Índice de Qualidade da Água (IQA), uso da terra, gestão ambiental integrada.

ABSTRACT

In this study, the microbiological indicators, metals and WQI (Water Quality Index) in the Cabeça river watershed, SP, were evaluated. The evolution of land use and vegetation cover was also studied to preserve not only the water, but the “complex web” of relations between physical, biological and social parameters in a watershed. Due the increasing degradation of water quality by the human activities is necessary to monitor the environmental quality of these ecosystems. The Cabeça river is a tributary in the Corumbataí river watershed, an environmental unit of extreme economic and social importance due the water potential able to supply the cities of Analândia, Corumbataí, Rio Claro, Santa Gertrudes, Ipeúna, Itirapina and Charqueada and allow to export water to cities located in neighboring watershed, such Araras and Piracicaba, where water problems are serious. Five sampling points were selected over the course of the Cabeça river and other two points on the Passa Cinco river, that receiving the water of that river, one point upstream and one downstream from the point of encounter between the two rivers. Samples were collected once a month during the period from April/2007 to March/2009. The results showed that the BOD and *Escherichia coli* were above the limits establishing to river class 2 by State Decree 8468/1976 and CONAMA 357/05 Resolution. Iron and pH were also out of the limits recommended by Resolution. The metals Cu, Cr and Ni were not detected during the study period and Cd and Pb were found only in a few samples. There is a predominance of pasture and cane sugar and a tendency to increase these activities. The Passa Cinco river had not significant changes in the water quality parameters, after receiving the waters from Cabeça river. The WQI showed that the water quality of the rivers studies is classified as good, but risks of degradation are present due to agricultural runoff and organic pollution from rural villages and breeding: these factors were identified by multivariate analysis as determinants of water quality. The situation is alarming because of the lack of riparian vegetation and high levels of sedimentation occurred mainly in the first half of the Cabeça river. It is necessary to regulate the use and occupation of the land and restore native vegetation in permanent preservation areas, especially riparian forest for the maintenance and preservation of the quantity and quality of water in the Cabeça river watershed.

Keywords: Cabeça river, microbiological indicators, metals, Water Quality Index (WQI), land use, environmental management.

1. INTRODUÇÃO

Embora mais de 70% do planeta Terra seja água, a sua falta é um problema ambiental que assombra o século XXI, pois apenas uma pequena porcentagem é água doce e apropriada ao consumo humano. A abundância de água no planeta Terra causa a falsa sensação de que esse recurso é um bem infinito e inesgotável, mas o uso indiscriminado da mesma e as alterações de sua qualidade devido às descargas poluidoras vêm tornando-a cada vez mais escassa.

Este recurso natural além de ser imprescindível à manutenção da vida, é fator fundamental para o equilíbrio dos ecossistemas e importante ao desenvolvimento econômico e ao bem estar. Devido às dimensões cada vez maiores da degradação da qualidade dos corpos hídricos, medidas preventivas ou até mesmo corretivas em algumas regiões são necessárias para garantir o suprimento de água nas cidades, indústrias e agricultura, como também a própria vida aquática. Esse quadro impõe a necessidade do monitoramento dos corpos hídricos para obtenção de dados referentes aos aspectos quantitativo e qualitativo da água.

Os crescimentos demográfico e econômico podem ser citados como os principais fatores que comprometem o futuro da qualidade e quantidade dos recursos hídricos, pois tem se observado o crescimento desordenado e com planejamento inadequado dos centros urbanos e industriais. A expansão das atividades agropecuárias, principalmente as atividades de pastagem e de monocultura, também compromete este recurso natural.

O monitoramento dos parâmetros da qualidade das águas de rios, lagos e reservatórios, constitui-se em importante instrumento de gestão ambiental, haja vista que subsidia a tomada de decisões em planejamento e controle dos usos das mesmas, visando a manutenção ou melhoria da qualidade de vida da população. Diferentes níveis de monitoramento devem ser

definidos de acordo com as características das bacias hidrográficas envolvidas levando em consideração não somente a qualidade da água mais também as atividades desenvolvidas ao longo da área de drenagem.

No estado de São Paulo, a bacia do rio Corumbataí assume importância econômica e social por apresentar potencial hídrico capaz de abastecer as cidades de Analândia, Corumbataí, Rio Claro, Santa Gertrudes, Ipeúna, Itirapina e Charqueada e ainda permitir a exportação de água para municípios localizados em bacias vizinhas, tais como Araras e Piracicaba, onde os problemas hídricos são bastante sérios. O consumo das águas dessa bacia para fins domiciliares e industriais exige a conservação dos padrões estabelecidos de qualidade, os quais vêm apresentando alterações significativas devido ao mal uso das terras pelas atividades agropecuárias e lançamento de efluentes domésticos e industriais.

O rio Cabeça é afluente do rio Passa-Cinco que por sua vez é afluente do rio Corumbataí. Apesar dos inúmeros trabalhos realizados na bacia do rio Corumbataí, os estudos envolvendo o rio Cabeça não são numerosos, impossibilitando o conhecimento das reais condições referentes não somente a qualidade de suas águas, mas também àquelas informações relacionadas à complexa relação existentes entre os fatores ambientais e antrópicos da bacia hidrográfica. Além disso, a rápida alteração observada dos aspectos ambientais na área do Estado, onde esta inserida a bacia do rio Corumbataí, reforça a justificativa de estudos nesta unidade ambiental.

Desta forma, a presente pesquisa teve como principal objetivo o estudo das questões que envolvem a qualidade e quantidade da água e fontes poluidoras na microbacia do rio Cabeça, SP, com o intuito de fornecer informações para construção de um banco de dados para a gestão ambiental desta microbacia e conseqüentemente a gestão da bacia do rio Corumbataí.

Para alcançar esta meta os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Monitorar os parâmetros físico-químicos de qualidade da água do rio Cabeça;
- Determinar quantitativamente os indicadores microbiológicos coliformes totais e *Escherichia coli* relacionando com outros parâmetros de qualidade de água;
- Comparar as variações da qualidade da água no período chuvoso/quente e no período frio/seco, verificando as mudanças e a dinâmica deste sistema hídrico.
- Calcular o Índice de Qualidade da Água (IQA).
- Determinar a vazão deste rio nos períodos chuvosos e de secas;

- Verificar os principais fatores/fontes determinantes do sistema aquático nesta microbacia através de técnicas de estatística multivariada;
- Quantificar as concentrações de metais (Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb e Zn) nas águas do rio Cabeça;
- Verificar possíveis influências das águas do rio Cabeça sobre a os parâmetros qualitativos das águas do rio Passa Cinco;
- Comparar os dados obtidos com àqueles das legislações ambientais vigentes, ou seja, o Decreto Estadual nº 8468, de 8 de setembro de 1976 (SÃO PAULO, 1976) e Resolução nº 357 – CONAMA, de 07 de março de 2005 (BRASIL, 2005);
- Avaliar a evolução do uso da terra e cobertura vegetal na microbacia do rio Cabeça, determinando a distribuição espaço-temporal da cultura de cana-de-açúcar, pastagem e vegetação nativa nos anos de 1962, 1988 e 2008;

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Fundamentos da qualidade da água

O desenvolvimento das civilizações pode estar associado à disponibilidade de água como um recurso estratégico para a agricultura, pecuária, pesca, abastecimento, navegação, diluição de esgotos e, na era industrial, à geração de energia elétrica, uso industrial, recreação e lazer (ASSIS, 1995). No mundo, o consumo de água triplicou entre 1950 e 1990. Em menos de um século, a população mundial multiplicou-se por três e o consumo de água por seis. A partir de 2030, a demanda arrisca ultrapassar a oferta (LEPARGNEUR, 2004). Esse quadro torna-se mais grave quando se percebe a constante degradação da qualidade das águas em nosso planeta.

Qualidade da água é um termo relativo, que varia de acordo com o uso desejado. Para ser potável, a água deve ser tratada para eliminar microrganismo e substâncias que lhe dêem mal aspecto. Já para a sustentação da vida aquática não é necessário um grau de pureza tão elevado, pois a maior parte de microrganismos que causam doenças ao homem não representam perigo aos peixes e outros animais aquáticos (SALATI, 1996).

A poluição da água foi definida por Salati (1996) como algum prejuízo das propriedades desta, que adversamente afeta o homem como organismo vivo, ou indiretamente por meio da redução dos seus valores estéticos afetando a oportunidade de recreação ou apreciação da natureza.

A poluição dos recursos hídricos tem origem em diversas fontes, dentre as quais destacam-se os efluentes domésticos e industriais e deflúvios superficiais urbano e agrícola. Cada uma dessas fontes possui características próprias quanto aos poluentes que carregam. Os

esgotos domésticos contêm compostos orgânicos biodegradáveis, nutrientes e bactérias, entre outros. Os efluentes industriais, além de possuir estes compostos, possuem muitos outros relacionados aos tipos de matérias primas e aos processos industriais utilizados. O deflúvio superficial urbano contém todos os poluentes que se depositam na superfície do solo, os quais são arrastados para os cursos de águas superficiais pelas águas pluviais. O deflúvio superficial agrícola depende das práticas agrícolas usadas em cada região, da época do ano em que se realiza a preparação do terreno para o plantio, da aplicação de incrementos agrícolas e da colheita (CETESB, 2002).

Os diversos componentes presentes na água e que alteram o seu grau de pureza podem ser retratados por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos. Tais parâmetros buscam de modo geral detectar condições mais ou menos restritas ao uso desse recurso essencial da natureza, seja pelo homem ou pelos outros seres presentes na biosfera. (PALMA-SILVA, 2006).

As características físicas e químicas dos corpos de água são determinadas, em grande parte, pelo clima, geomorfologia e condições geoquímicas prevalentes na bacia de drenagem. O intemperismo de rochas é, geralmente, determinante das características químicas das águas, e essas variam com a geologia e com a intensidade das entradas por outras vias, incluindo a precipitação pluviométrica e fontes de poluição (RODRIGUES, 2008).

Os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos foram selecionados para caracterizar a qualidade da água e também para poder gerar informações sobre os compartimentos espaciais do rio e seu comportamento temporal, que podem ser inferidos a partir dos valores obtidos para cada coleta de campo.

2.1.1 Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos

2.1.1.1 Temperatura da água

A temperatura é um parâmetro físico de extrema importância para manter o equilíbrio entre a natureza aquática e o ambiente. A sua elevação age prontamente sobre o teor de oxigênio diminuindo-o de tal forma que, em caso extremo, acarreta a morte de espécies biológicas (VON SPERLING, 2005). Variações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estações do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade.

A temperatura desempenha um papel principal no controle do meio aquático, condicionando as influências de uma série de parâmetros físico-químicos. Em geral, à medida que a temperatura da água aumenta, de 0 a 30°C, a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam as solubilidades com a elevação da temperatura. Geralmente, grandes elevações da temperatura em um corpo de água são acarretadas por despejos industriais (indústrias canavieiras, por exemplo) e usinas termoeletricas (CETESB, 2002).

2.1.1.2 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) pode ser considerado como uma das variáveis ambientais mais importantes, ao mesmo tempo que é uma das mais difíceis de se interpretar. Tal complexidade é resultado dos inúmeros fatores que podem influenciá-lo (ESTEVES, 1998). Tal parâmetro representa a concentração de íons hidrogênio (H^+), em escala antilogarítmica, dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água (VON SPERLING, 2007). Este parâmetro por definir o caráter ácido, básico ou neutro de uma solução, é de grande importância, pois os organismos aquáticos estão geralmente adaptados às condições de neutralidade e, em consequência, alterações bruscas do pH de uma água podem acarretar o desaparecimento dos seres presentes na mesma (CETESB, 2002).

O pH é importante porque muitas reações químicas que ocorrem no ambiente são intensamente afetadas pelo seu valor. Sistemas biológicos também são bastante sensíveis ao valor de pH, sendo que, usualmente, o meio deve ter pH entre 6,5 e 8,5 para que os organismos não sofram grandes danos. Muitas substâncias decorrentes das atividades humanas despejadas no meio aquático podem alterar significativamente o valor do pH, como a deposição ácida proveniente de poluição atmosférica. Dentre as substâncias que ocorrem naturalmente no meio ambiente e que podem alterar o pH, pode ser citado o gás carbônico que, ao dissolver-se na água forma ácido carbônico, diminuindo o pH. (RODRIGUES, 2008).

2.1.1.3 Turbidez

A turbidez da água é a medida de sua capacidade em dispersar a radiação. Quantitativamente, este fenômeno pode ser expresso em termos de coeficiente de dispersão ou

alguma unidade empírica, como a turbidez nefelométrica. Esta medida é expressa em diferentes unidades, sendo a mais freqüente a UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez). Alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas, acarretando desenvolvimento reduzido das plantas que podem, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, pode influenciar as comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente os usos domésticos, industriais e recreacionais da água (CETESB, 2002).

A turbidez da água é atribuída principalmente às partículas sólidas em suspensão, que diminuem a claridade e reduzem a transmissão da luz no meio (BATTALHA e PARLATORE, 1977). A quantidade de sólidos totais em suspensão na água pode resultar de erosão natural, escoamento superficial e explosão de crescimento de algas, embora a ação antrópica tenha uma grande contribuição no aumento da turbidez e na cor da água. A concentração e tamanho das partículas desses materiais suspensos podem causar variações significativas nos valores desse parâmetro (CETESB, 2002).

2.1.1.4 Cor aparente

A cor da água resulta da existência de substâncias em solução provenientes principalmente dos processos de decomposição que ocorrem no ambiente, podendo também estar associada à presença de alguns íons metálicos como ferro e manganês, de plâncton, macrófitas ou de despejos coloridos contidos em esgotos industriais (OPPA, 2007). A cor pode ainda ocorrer devido a materiais em suspensão presente na água, oriundo na grande maioria da lavagem do solo e neste caso a cor é dita aparente.

As águas naturais possuem cor que varia entre zero e 200 unidades, pois acima disso já seriam águas de brejo ou pântano, com altos teores de matéria orgânica dissolvida. Coloração abaixo de 10 unidades é quase imperceptível. A coloração das águas naturais pode variar em função das características e das substâncias presentes. Substâncias orgânicas como os taninos produzem a cor marrom transparente, as algas, cor verde e a suspensão de argilas, cor amarelo-avermelhada (OPPA, 2007).

2.1.1.5 Sólidos suspensos totais e sólidos totais dissolvidos

A quantidade e a natureza da matéria dissolvida e não-dissolvida que ocorre no meio líquido varia grandemente. Os sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-

estabelecida durante um tempo fixado. Em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água: totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis. As determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos) (CETESB, 2009).

Nas águas naturais, os sólidos dissolvidos estão constituídos principalmente por carbonatos, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, fosfatos e possivelmente nitratos de cálcio, magnésio e potássio, pequenas quantidades de ferro, magnésio e outras substâncias. Os minerais contidos nas águas naturais podem diminuir por diluição (águas de chuva) ou aumentar pela adição de despejos industriais. Águas contendo entre 2000 a 4000 mg.L⁻¹ de sais dissolvidos não são agradáveis, não eliminam a sede e podem ter efeitos laxativos no homem. Águas com concentrações maiores do que 4000 mg.L⁻¹ de sais totais dissolvidos são consideradas geralmente impróprias ao consumo humano, podendo ocasionar irritações na vesícula e nos intestinos (BATTALHA e PARLATORE, 1977).

Altas concentrações de sólidos em suspensão são danosas aos peixes, afetam os organismos bentônicos, diminuem a passagem de luz solar e desequilibram a cadeia trófica. Podem sedimentar-se no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos, ou também danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos em suspensão podem também reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia (MARTOS, 1999).

2.1.1.6 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é uma expressão numérica da capacidade da água conduzir corrente elétrica, sendo dependente de suas concentrações iônicas e temperatura. A importância em determinar a condutividade elétrica reside no fato desta fornecer uma indicação das variações na composição da água, especialmente quanto a sua concentração mineral, porém não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade elétrica da água aumenta. Altos valores podem indicar características corrosivas da água. Em águas superficiais naturais o valor deste parâmetro varia de 50 a 1.500 µS.cm⁻¹, sendo que despejos industriais podem elevar este valor para 10.000 µS.cm⁻¹ (CETESB, 2002).

2.1.1.7 Oxigênio dissolvido

Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio (O_2) é um dos mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos. As principais fontes de oxigênio para a água são atmosfera e fotossíntese. As perdas são decorrentes do consumo pela decomposição de matéria orgânica, das perdas para a atmosfera, da respiração de organismos aquáticos e da oxidação de íons metálicos, como por exemplo, o ferro e manganês (MARTOS, 1999). A concentração de oxigênio dissolvido está sujeita as flutuações diárias e sazonais que são devidas, em parte, às variações de temperatura, da atividade fotossintética e da vazão do rio (PALMA-SILVA, 1999).

O oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção da vida aquática e também para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. Caso o oxigênio seja totalmente consumido, têm-se as condições anaeróbias com geração de maus odores.

2.1.1.8 Fósforo total

O fósforo é um elemento não metálico que pode ocorrer em várias formas orgânicas ou inorgânicas e pode estar presente na água dissolvido ou particulado. Na água, a forma combinada do elemento varia continuamente devido aos processos de decomposição e síntese entre formas associadas orgânicas e formas inorgânicas oxidadas. É raramente encontrado em concentrações significativas em águas superficiais já que é ativamente absorvido pelas plantas (CETESB, 2002).

Despejos orgânicos, especialmente esgotos domésticos, bem como alguns tipos de despejos industriais, podem enriquecer as águas com esse elemento. A utilização crescente que se faz hoje em dia, de certos tipos de detergentes de uso doméstico e industrial, contribui, em muito, para o enriquecimento dos despejos de fósforo. Altas concentrações de fosfatos na água estão associadas à sua eutrofização, provocando o desenvolvimento de algas ou outras plantas aquáticas desagradáveis em reservatórios ou águas paradas. Em bacias hidrográficas rurais, esse fenômeno ocorre principalmente devido ao aumento da atividade primária das plantas e algas em decorrência do aporte de nitrogênio e fósforo proveniente das lavouras (deflúvio superficial agrícola) e da produção animal em regime confinado (MERTEN e MINELLA, 2002).

2.1.1.9 Série de nitrogênio (nitrogênio total, amônia, nitrito e nitrato)

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes do metabolismo de ecossistemas aquáticos. Essa importância deve-se principalmente à sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. Quando presentes em baixas concentrações podem atuar como fator limitante na produção primária dos ecossistemas aquáticos (TAUK-TORNISIELO e PALMA-SILVA, 2008). O nitrogênio ocorre nos ambientes aquáticos sob diferentes formas como nitrato, nitrito, amônia, íon amônio, óxido nitroso, nitrogênio molecular, nitrogênio ligado a moléculas orgânicas dissolvidas ou particuladas e outras formas.

Concentrações de nitratos superiores a 5 mg.L^{-1} demonstram condições sanitárias inadequadas, pois a principal fonte de nitrato são dejetos humanos e animais. Este composto ainda estimula o desenvolvimento de plantas, sendo que organismos aquáticos, como algas, florescem em sua presença. O nitrito é uma forma química do nitrogênio normalmente encontrada em quantidades diminutas nas águas superficiais, pois é instável na presença de oxigênio, ocorrendo como uma forma intermediária. A presença deste composto na água indica processos biológicos ativos influenciados por poluição orgânica. A amônia é uma substância tóxica não persistente e não acumulativa e, sua concentração, que normalmente é baixa, não causa nenhum dano fisiológico aos seres humanos e animais. Grandes quantidades de amônia, entretanto, podem causar sufocamento em peixes (CETESB, 2002).

As principais fontes de nitrogênio são: a) esgotos sanitários lançado nas águas, na forma de nitrogênio orgânico devido à presença de proteínas e nitrogênio amoniacal; b) alguns efluentes industriais, que também contribuem para descargas desses mesmos compostos nitrogenados; c) atmosfera devido a diversos mecanismos como a biofixação desempenhada por bactérias e algas, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas; d) fixação química, reação que depende da presença de luz e concorre para as presenças de amônia e nitratos nas águas; e) lavagens da atmosfera poluída pelas águas pluviais concorrem para as presenças de partículas contendo nitrogênio orgânico, bem como para a dissolução de amônia e nitratos. Nas áreas agrícolas, o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados também contribui para a presença na água de diversas formas de nitrogênio. Nas áreas urbanas, as drenagens das águas pluviais, associadas às deficiências do sistema de limpeza pública, constituem fontes difusas de difícil caracterização (CETESB, 2009).

2.1.1.10 Metais

A capacidade de um corpo de água suportar vida aquática, como também sua conveniência para outros usos depende, entre outros, de elementos traço. Metais como, por exemplo, Mn, Zn e Cu em concentrações traço são importantes para as funções fisiológicas de organismos e para regular muitos processos bioquímicos. Porém, o mesmo metal lançado nos corpos hídricos em altas concentrações pode ter efeitos toxicológicos severos aos organismos que vivem e/ou aos que se suprem desse corpo de água (RODRÍGUEZ, 2001). A toxicidade desses metais na água depende do grau de oxidação do íon do metal determinado junto com as formas nas quais ocorre.

Os metais podem ser introduzidos nos sistemas aquáticos como resultados de processos naturais como intemperismo, erosão e erupção vulcânicas ou em decorrências às inúmeras atividades realizadas pelo homem. Nas águas, os metais podem ser encontrados nas formas particulada, coloidal e dissolvida e, dependendo de sua forma química, podem ser acumulados por organismos vivos. Estes metais podem ser encontrados ainda imobilizados pela matéria orgânica, principalmente substâncias húmicas, através do processo de adsorção (TAUK-TORNISIELO et al., 2008).

Nas últimas décadas, com o crescimento populacional e a intensificação de atividades humanas que envolvem o uso metais-traços, suas concentrações têm aumentado de forma generalizada nos corpos hídricos, em níveis que ameaçam a biota aquática e também nos organismos terrestres que dela se suprem, incluindo o homem.

Dentre as atividades responsáveis pela introdução de metais nos corpos hídricos, as indústrias são as principais responsáveis pelo lançamento desses elementos na água, sendo o Cu, Zn, Cr, Pb e Ni os mais frequentes. Os efluentes domésticos também contêm metais, como Ca, Mg, Zn, Cu, Cd e Pb. Outras fontes que contribuem para o aumento de metais na água são aquelas provenientes de áreas cultivadas contendo implementos agrícolas e regiões de mineração (LEITE, 2002 apud FALQUETO, 2008).

O alumínio não é considerado tóxico ou prejudicial à saúde, mas há interesse em se controlar a concentração nas águas de abastecimento público e industrial, para prevenir precipitações e sedimentações. Este elemento é abundante nas rochas e minerais. O aumento do seu teor nas águas é decorrente do lançamento de efluentes industriais, esgotos domésticos, resíduos industriais, de mineração e de produtos utilizados na agricultura, bem como através de fontes minerais. Teores de Al adsorvidos em partículas suspensas mostram íntima relação

com o pH da água, uma vez que o pH é um potencial agente determinante de sua solubilidade (SEILER e SIGEL, 1988).

O cádmio é um elemento de elevado potencial tóxico apresentando efeito cumulativo nos organismos aquáticos e não aquáticos. Apresenta meia-vida da ordem de 10 anos, podendo, portanto, integrar-se às cadeias alimentares. Em condições naturais, ele é encontrado nas águas em níveis traços. A ocorrência de concentrações mais elevadas nas águas está relacionada ao uso de implementos agrícolas e ao lançamento de despejos de indústrias de galvanoplastia, mineração e metalurgia do zinco e por meio da combustão. No homem provoca irritação gastrointestinal, causa hipertensão, doenças cardiovasculares, diminuição da massa óssea, ataca medula óssea causando redução dos glóbulos vermelhos, retarda crescimento em crianças e prejudica capacidade excretora dos rins (SEILER e SIGEL, 1988).

O cromo é encontrado nas águas como Cr^{3+} e Cr^{6+} . Baixos teores de cromo trivalente são necessários ao metabolismo humano e animal, porém a forma hexavalente não tem função nenhuma ao organismo humano, além de ser extremamente tóxica e cancerígena. As concentrações de cromo em água doce são muito baixas, normalmente inferiores a $1 \mu\text{g.L}^{-1}$. Este elemento é comumente utilizado em aplicações industriais e domésticas, como na produção de alumínio anodizado, aço inoxidável, tintas, pigmentos, explosivos, papel e fotografia. Os limites máximos são estabelecidos basicamente em função do cromo hexavalente (CETESB, 2005).

O cobre é constituinte natural do solo e principal fonte de poluição dos sistemas aquáticos. Atinge as águas ribeirinhas por ação das chuvas ou movimentação do solo. Outro meio de poluição é através de atividades antrópicas devido ao escoamento de produtos usados na agricultura como fertilizantes, algicidas entre outros compostos contendo esse metal (CHAGAS, 2008). O cobre é um micronutriente essencial para as plantas e animais, inclusive para o homem. A principal função no homem é atuar como catalisador de reações bioquímicas, participando da síntese da hemoglobina e outras proteínas. Os níveis deste metal, que são tolerados sem aparecimento de sintomas de toxicidade, podem variar com a espécie animal e o período de acumulação passiva pode variar de algumas semanas a um ano (NAVAS-PEREIRA et al., 1985 apud RODRÍGUEZ, 2001).

A presença de chumbo nos corpos hídricos superficiais está veiculada, principalmente, a poluição oriunda de indústrias, como as de galvanoplastia e de baterias. Seu uso está também vinculado às indústrias extrativa, petrolífera, de baterias, tintas e corantes, cerâmica, cabos, tubulações, munições e defensivos agrícolas. O chumbo tende a ser cumulativo no organismo, levando a intoxicação crônica denominada saturnismo. Este metal pode ser

introduzido no organismo, por meio da inalação, ingestão e por via dérmica. Em doses baixas, há alteração na produção de hemoglobina e nos processos bioquímicos cerebrais. As intoxicações crônicas são caracterizadas por manifestações variadas, que podem aparecer simultaneamente ou em seqüência, compreendendo uma sintomatologia precoce, avançada e grave (MACHADO et al., 2006).

Compostos de ferro são encontrados em todos os corpos de água, pertencendo ao grupo dos elementos indispensáveis ao metabolismo dos seres vivos, os micronutrientes. O Fe existe em grande quantidade na natureza, sendo encontrado em solos e minerais, principalmente, na forma de óxido férrico insolúvel e sulfeto de ferro, solúvel em água na presença de dióxido de carbono. Pode também ocorrer como carbonato de ferro, fracamente solúvel. Nas águas superficiais pode ser encontrado sob as formas bivalente (ferro ferroso) e trivalente (ferro férrico), como solução, colóide, suspensão ou em complexos orgânicos e minerais. Em águas não poluídas, seu teor varia muito em função da litologia da região e do período chuvoso, quando pode ocorrer o carreamento de solos com teores de ferro mais elevados. Altas concentrações podem ser decorrentes da drenagem de áreas de mineração, ou ao lançamento de efluentes industriais de metalurgia ou processamento de metais (SEILER e SIGEL, 1988).

O manganês, apesar de ser um mineral essencial, torna-se tóxico quando é absorvido em excesso. Aerossóis, praguicidas e fertilizantes são identificados com possíveis fontes de poluição do solo, que se somam à carga de Mn naturalmente presentes nas águas aumentando assim os riscos da mesma (NIKAIDO et al., 2004). Este elemento confere sabor, coloração marrom e turbidez às águas, além de formar depósitos em tubulações (TINTOR, 2008).

Concentrações de níquel em águas superficiais naturais podem chegar a aproximadamente $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$, embora concentrações de mais de $11,0 \text{ mg.L}^{-1}$ já foram observadas, principalmente em áreas de mineração. A maior contribuição para o meio ambiente, pela atividade humana, é a queima de combustíveis fósseis. Como contribuintes principais também são identificados os processos de mineração e fundição do metal, fusão e modelagem de ligas e indústrias de eletrodeposição. Doses elevadas de níquel podem causar dermatites nos indivíduos mais sensíveis e afetar nervos cardíacos e respiratórios (CETESB, 2005).

O zinco é um dos elementos mais comuns no planeta Terra, sendo encontrado no ar, solo e água e está naturalmente presente nos alimentos. Sua distribuição no ambiente ocorre por processos naturais e por atividades antropogênicas. O zinco é um metal essencial e tanto a sua ausência quanto a exposição excessiva pode trazer efeitos nocivos. Uma das principais

fontes de poluição dos solos e águas tem sido o recebimento de esgotos não tratados. Grande parte do zinco na água deposita-se no fundo, porém outras quantidades podem permanecer dissolvidas ou como fina suspensão (SILVA, 2001).

O cálcio é o principal cátion na maioria dos corpos de águas naturais sendo essencial para o crescimento de algas, macrófitas aquáticas e muitos animais, em especial moluscos. Encontra-se combinado em duas formas principais: carbonato e bicarbonato de cálcio. Este elemento interfere no pH, um dos fatores físico-químicos mais importantes do meio aquático (ESTEVES, 1998). Praticamente todas as rochas representam uma fonte de cálcio, mas a concentração é geralmente maior em águas que drenam regiões de rochas calcárias ou de lavours calcareadas.

O magnésio para o ambiente se deve a sua participação na formação da molécula de clorofila (ESTEVES, 1998). Ocorrem em águas naturais devido à dissolução de rochas carbonáticas, silicatos, minérios e ferromagnesianos (SEILER e SIGEL, 1988). Associado ao cálcio, o magnésio determina a dureza da água, embora esta possa também ser determinada por outros cátions.

2.1.2 Parâmetros biológicos

2.1.2.1 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Um importante aspecto a ser considerado em relação à poluição das águas é que, na maioria dos casos, esta é relacionada à perturbação ecológica devido ao caráter biodegradável do poluente (resíduos orgânicos) e não a um composto químico específico (PRANDI-ROSA, 2001).

Os diversos resíduos orgânicos lançados nos corpos hídricos superficiais podem induzir à completa extinção do oxigênio, devido à decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. Como consequência, observa-se o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática. A DBO, entre outros parâmetros, é uma variável biológica indicadora da poluição orgânica das águas uma vez que mensura a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por meio da decomposição microbiana, denunciando possíveis fontes poluidoras.

Tecnicamente, a DBO é definida como a quantidade de oxigênio consumido durante a degradação da matéria orgânica biodegradável por um período de tempo de 5 dias em uma temperatura de incubação de 20°C. Os maiores aumentos em termos de DBO no corpo hídrico

são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. Um elevado valor de DBO pode indicar incremento da microbiota presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis e ainda, pode obstruir os filtros de areia utilizados nas estações de tratamento de água (CETESB, 2002).

Este parâmetro é de extrema importância, pois é fixado pela legislação, Decreto Estadual 8468/1976 (SÃO PAULO, 1976) e Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) para o estabelecimento de padrões de emissão de despejos líquidos e padrões de manutenção em corpos receptores. Algumas limitações podem ser apontadas, entretanto, pelo fato da DBO somente medir a quantidade de oxigênio consumido em um teste padronizado, não indicando a presença de matéria não biodegradável, nem levando em consideração o efeito tóxico ou inibidor de compostos sobre a atividade microbiana.

2.1.2.2 Indicadores microbiológicos

Durante milênios, as águas insalubres propagaram epidemias que dizimaram populações. A cada dia, 6 mil pessoas morrem por doenças diarreicas, a maioria sendo criança de até cinco anos (LEPARGNEUR, 2004). As doenças de veiculação hídrica são causadas, principalmente, por microrganismos patogênicos de origem entérica, animal ou humana, transmitidos basicamente pela rota fecal-oral, ou seja, são excretados nas fezes de indivíduos infectados e ingeridos na forma de água ou alimento contaminado por água poluída com fezes (NIKAIDO et al., 2004).

Dentre as principais doenças de veiculação hídrica, transmitidas por águas contaminadas, pode-se citar a febre tifóide, cólera, salmonelose, shigelose, poliomielite, hepatite A, parasitoses, desenterias bacilares e amebianas, responsáveis por vários surtos epidêmicos e pelas elevadas taxas de mortalidade infantil. Desse modo, análises microbiológicas da qualidade da água são importantes para a saúde pública, principalmente em países em desenvolvimento, onde ainda se encontram áreas densamente povoadas que apresentam baixos níveis de saneamento, o que propicia maior ocorrência de doenças vinculadas a esse recurso (FREITAS et al., 2001).

Os esgotos domésticos contribuem para a disseminação de doenças, pois contém microrganismos patogênicos. A detecção de agentes patogênicos na água é extremamente difícil em razão de suas baixas concentrações, metodologias complexas e onerosas de determinação microbiológica e longo tempo para obtenção dos resultados. Desta forma, para verificar a ocorrência de contaminação de origem fecal e também a provável presença de

patógenos, considera-se a presença de microrganismos bioindicadores como as bactérias do grupo coliforme.

O grupo coliforme é constituído por vários gêneros da família Enterobacteriaceae (*Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter* e *Escherichia*) e são definidos como bastonetes gram-negativos, não formadores de esporos, com metabolismo anaeróbio facultativo e que fermentam a lactose em 24-48 horas com produção de ácido e gás (APHA, 1998). Este grupo reúne vários microrganismos indicadores que habitam o trato intestinal de humanos e animais de sangue quente e também o solo e água. Por esta razão, a enumeração do grupo dos coliformes totais em água é menos representativa como indicação de contaminação fecal, do que a enumeração de coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli* (SILVA et al., 2005).

O grupo dos coliformes termotolerantes segue a mesma definição para coliformes totais, porém, restringindo-se aos membros capazes de fermentar a lactose com produção de gás, em 24h a 44,5-45,5 °C (BRASIL, 2005). Esta definição objetivou, em princípio, selecionar apenas os coliformes originários do trato gastrointestinal.

O critério para que as bactérias sejam consideradas ideais indicadoras de poluição de origem fecal é que estejam presentes em grande número nas fezes humanas e de animais; devem estar presentes em efluentes residuais e ausentes em águas limpas; serem exclusivamente de origem fecal e devem ser detectáveis por métodos simples (PELCZAR Jr et al., 2005). A *Escherichia coli* é um membro do grupo dos coliformes e satisfaz a maior parte destes critérios, sendo que sua presença em amostras de água pode indicar a contaminação por outros patógenos intestinais. A *E. coli* é o único biótipo da família Enterobacteriaceae que pode ser considerado exclusivamente de origem fecal (VASCONCELLOS et al., 2006).

Outros indicadores microbiológicos têm sido encontrados na literatura científica, cada qual com suas vantagens, desvantagens e aplicabilidade, dentre eles podem ser citados os estreptococos fecais, clostrídios redutores de enxofre e bacteriófagos. O grupo dos estreptococos fecais se apresenta como indicador sendo constituído de dois gêneros principais: *Enterococcus* e *Streptococcus*. O grupo ocorre em grande quantidade nas fezes humanas e de outros animais e tem o trato intestinal como habitat natural. *Streptococcus* apresenta as espécies *S. bovis* e *S. equinu* que são mais abundantes em fezes de animais e a identificação destas pode dar uma indicação da origem da contaminação fecal: animal ou humana (VON SPERLING, 2007). Este grupo apresenta maior resistência aos diversos processos de tratamento de esgoto em comparação aos coliformes termotolerantes, permitindo assim, uma correlação mais direta com a sobrevivência de vírus (SILVA et al., 2005).

Os clostrídios redutores de enxofre têm sido utilizados como indicadores de contaminação fecal, pois sua incidência no meio aquático está constantemente associada a dejetos humanos, sendo sua presença comum em fezes, esgotos e águas poluídas. A espécie representativa deste grupo é *Clostridium perfringens*, bactéria anaeróbia, gram positiva na forma de bastonete, esporogênica, sulfito redutora com temperatura de crescimento ótima de 45°C. Os esporos de *C. perfringens* apresentam excepcional longevidade em água, em função da grande resistência aos desinfetantes e outras condições desfavoráveis do ambiente. Por este motivo, são úteis na detecção de contaminação fecal remota (SILVA et al., 2005).

Os bacteriófagos têm sido usados para a indicação da presença de vírus devido à sua similaridade com os vírus entéricos humanos. Estes não estão presentes em altos números nas fezes humanas e de animais homeotérmicos, mas podem estar presentes em número elevado nas águas residuárias, devido à rapidez em que se reproduzem como resultado do ataque às células bacterianas. Seu significado é como indicador de contaminação por esgotos (VON SPERLING, 2007).

2.1.3 Índice de qualidade da água (IQA)

Para o público em geral, a informação dos valores de concentrações de poluentes nos corpos de água tem pouco significado, devido às técnicas envolvidas na interpretação dos resultados. Por esse motivo, tem-se adotado na divulgação para o público, Índices de Qualidade das Águas (IQA) que retratam, através de um índice global, a qualidade das águas em um determinado ponto de monitoramento (VON SPERLING, 2007).

Há vários índices de qualidade desenvolvidos por entidades diferentes e com objetivos distintos. Dentre as várias técnicas que têm sido utilizadas na busca de indicadores de qualidade de água, aquela desenvolvida pela *National Sanitation Foundation Institution* é a mais utilizada sendo empregada em países como EUA, Brasil e Inglaterra. A CETESB a partir de um estudo realizado em 1970 por essa instituição adaptou e desenvolveu o IQA – Índice de Qualidade das Águas, que incorpora 9 parâmetros considerados relevantes para a avaliação da qualidade das águas: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), DBO, coliformes termotolerantes (*E. coli*), nitrogênio total, fósforo, sólidos (resíduos) totais e turbidez. A equação utilizada para a determinação do IQA é (CETESB, 2009):

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

onde:

IQA: índice de Qualidade das Águas (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 (Tabela 1);

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

Tabela 1. Peso dos parâmetros no cálculo do IQA (CETESB, 2009).

Parâmetro	Peso (w_i)
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
pH	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos totais	0,08

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

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas e classificá-las numa escala de 0 a 100 (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação das águas segundo o IQA desenvolvido pela CETESB.

Categoria	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	$\text{IQA} \leq 19$

2.2 Bacia do rio Corumbataí

A Lei Estadual n.º 7663 de 30 de dezembro de 1991, instituiu a Política de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos dividindo o Estado de São Paulo em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHIs. A bacia do rio Corumbataí na qual a microbacia do rio Cabeça está inserida pertence à UGRHI 5 - Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Figura 1). Essa bacia situa-se na região centro oeste do Estado de São Paulo entre os paralelos 22°04'46" e 22°41'28" e os meridianos 47°26'23" e 47°56'15", correspondendo a uma superfície de aproximadamente 1710 Km² (TAUK-TORNISIELO, 2008).

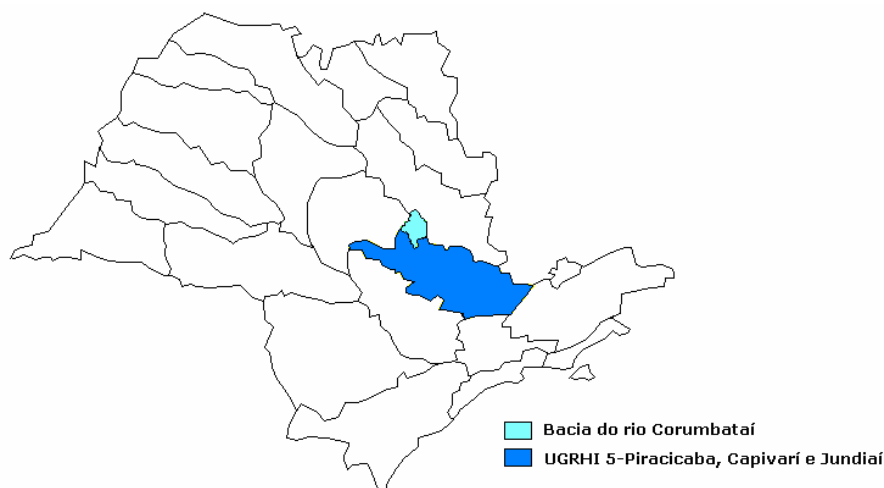


Figura 1. Localização da bacia do rio Corumbataí no Estado de São Paulo (adaptado de CETESB, 2002).

Os principais afluentes na bacia do rio Corumbataí são os rios Cabeça, Passa-Cinco e Ribeirão Claro, drenando o setor do território paulista situado entre as “cuestas” arenito-basálticas do planalto ocidental paulista, na seção centro-ocidental (VALENTE, 2001).

A bacia do rio Corumbataí constitui-se na principal abastecedora de todos os municípios a ela pertencentes, principalmente Rio Claro, justificando os estudos envolvendo a

disponibilidade e qualidade de suas águas. Devido ao crescimento dos municípios, a falta de planejamento adequado e de tratamentos dos efluentes, além da necessidade de produção de alimentos a partir de atividades agropecuárias, a ameaça de falta de água de qualidade futuramente não pode ser descartada.

Segundo Tauk-Tornisielo e Palma-Silva (2008), a bacia do rio Corumbataí sofre expressivo impacto ambiental negativo devido à exploração intensiva de monoculturas, em especial aquelas associadas à cultura da cana-de-açúcar. Os pontos de captação de água encontram-se sobre a influência das áreas urbanas e industriais, como a do município de Rio Claro, acarretando a poluição e contaminação das águas com os rejeitos urbanos-industriais. Há necessidade de orientar o crescimento urbano das cidades que estão dentro da área da bacia, para garantir o futuro abastecimento de água para as populações.

Muitos estudos já foram realizados em épocas diversas e com técnicas diferentes, abordando temas setoriais envolvendo, de modo total ou parcial, o território pertencente à bacia do rio Corumbataí. Entre eles podem ser citados os trabalhos desenvolvidos pelos seguintes autores: Troppmair e Machado (1974); Pinto e Mauro (1985); Viadana (1985); Spicacci (1990); Peçanha (1993); Cunha (2000); Lima (2000); Moraes (2001); Gertel (2002); Conceição (2004); Palma-Silva (2006); Palma-Silva et al. (2007). Merecem destaque alguns trabalhos relacionados à qualidade da água de seus corpos hídricos, abordados a seguir.

2.2.1 Ribeirão Claro e seus afluentes

Pinto e Mauro (1985) já haviam destacado alguns cuidados que deveriam ser adotados quanto à microbacia do Ribeirão Claro, para a garantia de abastecimento da cidade de Rio Claro com água de boa qualidade. Foi verificada a necessidade de amplo reflorestamento, o que facilitaria em muito a manutenção dos solos, dificultando o carreamento dos minerais mais grosseiros para o leito do rio. Com isso, seria minimizado o assoreamento deste corpo hídrico.

Cunha (2000), ao realizar o diagnóstico da qualidade das águas desta mesma microbacia, verificou que em regiões próximas às nascentes o potencial hídrico apresentou boas condições por ser uma área sob baixa influência antrópica. Condições adversas, entretanto, foram verificadas a partir do médio curso à jusante, onde a composição química da água e condutividade elétrica foram alteradas. Contaminações por surfactantes, cloretos, fosfatos e os elementos Na, Ca e Al foram evidentes sendo decorrentes de rejeitos domésticos e industriais.

A qualidade das águas do Ribeirão Claro e seu afluente Córrego São Joaquim, assim como os principais impactos negativos presentes nessa microbacia também foram estudados por Gertel et al. (2003). Em dois pontos de amostragem localizados nesses corpos hídricos sob influência do Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes, os parâmetros de qualidade da água, como o oxigênio dissolvido e coliformes termotolerantes enquadraram estes rios na classe 4, segundo a Resolução CONAMA nº 20, de 1986 (BRASIL, 1986), vigente no período em que o estudo foi realizado. Além dos efluentes gerados na área do Pólo Cerâmico, os despejos de esgoto doméstico da cidade de Santa Gertrudes também foram considerados as principais fontes de poluição segundo esses mesmos autores.

Ainda relacionado a esta microbacia, Hoshina (2002) avaliou a possível contaminação das águas do Ribeirão Claro por meio de testes de mutagenicidade em *Allium cepa*. Cinco pontos de amostragem foram estabelecidos ao longo desse corpo hídrico e as coletas e análises foram distribuídas no período de 2001 a 2002 sendo uma coleta em cada estação do ano. O método utilizado foi o esmagamento de meristemas radiculares, seguido da avaliação dos efeitos genotóxicos decorrentes de alterações citológicas e cromossômicas. Todos os pontos investigados apresentaram anormalidades com a detecção de C-metáfases, anáfases com ponte e anáfases multipolares observadas nas células meristemáticas. Em dois pontos, um próximo ao emissário de esgotos da zona central da cidade de Rio Claro – Vila Paulista e outro junto ao emissário de esgoto CECAP, as células meristemáticas apresentaram micronúcleos e células binucleadas. Estes resultados demonstraram que os pontos amostrais apresentaram potencialidades citotóxicas e genotóxicas devido a influência de efluentes domésticos, industriais e agrícolas. Messias (2008) também encontrou resultados positivos para toxicidade em testes com *Hydra attenuata*, *Pseudokirchneriella subcapitata*, *Chironomus xanthus*, *Lactuca sativa* e *Daphnia magna* realizados em águas e sedimentos dos rios Ribeirão Claro, Corumbataí e Córrego São Joaquim em estudos realizados entre 2006 e 2007.

2.2.2 Rio Corumbataí

O principal rio na bacia do Corumbataí também vem sendo estudado ao longo das duas últimas décadas. Viadana (1985) utilizou microrganismos e peixes como bioindicadores no alto e médio Corumbataí, para delinear diferentes zonas e graus de poluição. A aplicação desta técnica permitiu avaliar as condições nesses locais do rio, revelando a existência de diferentes zonas de poluição ao longo do curso de água, sendo mais alta quanto mais próximas às sedes municipais.

Palma-Silva (1999) relatou que a bacia do rio Corumbataí tem sofrido diversos impactos ambientais negativos dentre eles, o lançamento de esgotos domésticos “in natura” e efluentes industriais; erosão e assoreamento devido ao desmatamento das matas ciliares, manejo inadequado das áreas agrícolas e atividades mineradoras; alterações dos perfis longitudinais dos córregos, devido principalmente a extração mineraria e acúmulo desordenado de seus rejeitos; crescimento desordenado de áreas urbanas; disposição inadequada dos resíduos sólidos e a utilização inadequada dos agrotóxicos.

Morais (2001) encontrou valores acima daqueles estabelecidos pela legislação para os parâmetros oxigênio dissolvido, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes totais e *Escherichia coli* nas águas do rio Corumbataí no trecho entre Rio Claro e sua foz. As causas relatadas pelo autor para tais resultados foram a grande quantidade de esgotos lançados “in natura” e efluentes industriais neste corpo hídrico.

Em outro estudo, Pião et al. (2008) objetivaram caracterizar a variação espacial e temporal dos principais parâmetros relativos a qualidade da água. No rio Corumbataí cinco pontos de coletas foram definidos através de planejamento estatístico, sendo um ponto localizado a montante da área urbana de Rio Claro, que serviu como um índice de referência da qualidade das águas antes desta área, e os demais localizados após este município até a foz deste rio. Coletas mensais foram realizadas de outubro/2000 a novembro/2003 e os resultados demonstraram situação preocupante, pois as águas do rio Corumbataí, no trecho estudado, vêm sendo cada vez mais poluídas, apesar dos esforços tomados por diferentes órgãos públicos relacionados à preservação dos recursos hídricos. Através da aplicação de modelos matemáticos esses autores verificaram ainda que existia uma tendência de decréscimo de oxigênio dissolvido no rio Corumbataí para os próximos três anos, o que seria uma consequência direta de fontes poluidoras orgânicas presentes na área. Esta é uma característica cada vez mais observada no rio Corumbataí.

Diversos elementos químicos, além das características físicas, químicas e microbiológicas da água e sedimentos do rio Corumbataí durante o período de 2005 e 2006 foram avaliados por Falqueto (2008). Os parâmetros qualitativos da água, como fósforo total, turbidez, pH, oxigênio dissolvido, clorofila-a, *E. coli*, DBO, ferro, alumínio dissolvido, manganês, cádmio e mercúrio total apresentaram concentrações acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2 (BRASIL, 2005). O cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA) estabelecido pela CETESB indicou que há uma tendência de piora na qualidade da água ao longo dos anos, principalmente a jusante da cidade de Rio Claro.

Ensaio ecotoxicológicos também já foram realizados nas águas e sedimentos do rio Corumbataí. Santos (2008) realizou testes de toxicidade com os organismos *Chironomus xanthus*, *Daphnia magna*, *Hydra attenuata*, *Lactuca sativa* e *Pseudokirchneriella subcapitata* no período de novembro/2004 a setembro/2006 encontrando variados graus de toxicidade nos diferentes pontos de amostragem. A maior ocorrência de toxicidade foi observada nos pontos próximos à foz desse rio. Foi confirmado também que as amostras de sedimento se mostraram mais tóxicas do que as amostras de águas dos mesmos locais. O efeito tóxico observado foi decorrente do despejo de esgotos domiciliares e efluentes industriais dos municípios de Corumbataí, Rio Claro e Santa Gertrudes, demonstrando o quadro precário de poluição das águas deste importante rio.

2.2.3 Rio Passa Cinco e seus afluentes

Muitos estudos realizados na microbacia do rio Passa Cinco estão relacionados à análise espaço temporal da dimensão de matas ciliares na microbacia (AZEVEDO, 2003); ao levantamento e caracterização dos seus atrativos naturais (CORVALÁN, 2005) e a diversidade de mamíferos de pequeno, médio e grande porte em relação à paisagem dominante (DOTTA, 2005; GHELER-COSTA, 2006).

Outras pesquisas realizadas nessa microbacia são relacionadas a avaliação da ictiofauna dos seus corpos hídricos. Nesses estudos algumas informações sobre a qualidade da água dos córregos e rios na região podem ser encontradas. Rondineli (2007), avaliando a biologia alimentar e reprodutiva na comunidade de peixes do rio Passa Cinco, encontrou as seguintes informações sobre os parâmetros físicos e químicos da água: o pH variou de levemente ácido a levemente básico, a condutividade elétrica aumentou no sentido nascente-foz, o oxigênio dissolvido foi abundante e a temperatura variou sazonalmente.

Carmassi (2008) estudou a variação espaço-temporal na composição da comunidade de peixes do rio Passa Cinco. Os parâmetros de qualidade da água como temperatura, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica foram avaliados por serem determinantes para a ictiofauna. Os resultados foram parecidos ao do estudo realizado por Rondineli (2007): os valores de pH encontrados para os diferentes pontos variaram de levemente ácido a próximos da neutralidade; a condutividade elétrica aumentou no sentido nascente-foz, variando de 12 a 62 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$; o oxigênio dissolvido apresentou-se bastante abundante em todos os pontos amostrais variando ao redor do valor 9,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. O autor identificou um quadro grave de assoreamento desde as cabeceiras até sua foz, principalmente nos pequenos

tributários na região da cabeceira, onde a atividade pecuária é mais intensa. Nesse local, observou-se que vários pequenos córregos encontravam-se totalmente desprovidos de vegetação, retificados e/ou represados.

2.2.4 Unidades de pesque-pague

As unidades de pesque-pague na bacia do rio Corumbataí também têm sido objeto de estudo. Estes foram desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa Água do Centro de Estudos Ambientais da Universidade Estadual Paulista – Campus Rio Claro. Santos et al. (2008) levantaram 16 unidades de pesque-pague ao longo da bacia e após estudos preliminares, seis foram selecionados para a investigação da poluição presente em seus reservatórios por meio da análise das águas de entrada e saída dos mesmos. Durante o período de estudo que se estendeu de março de 2005 a agosto de 2006 com coletas bimestrais, foi verificado que os efluentes gerados pelos pesque-pague apresentaram valores para os parâmetros qualitativos químicos da água acima do permitido na legislação para águas de classe 2, segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). Os autores comprovaram ainda que há uso excessivo de ração comparado às necessidades diárias dos peixes; uso indiscriminado de algicidas, bactericidas e fungicidas que além de poluidores são cancerígenos, mutagênicos e teratogênicos; total descuido com a vegetação às margens do reservatório e destino inadequado dos sedimentos retirados dos reservatórios após a limpeza dos mesmos. Os parâmetros biológicos de qualidade da água, DBO, pigmentos totais e coliformes totais também apresentaram-se acima do limite estabelecido pela legislação. Do ponto de vista ambiental, os autores concluíram que os pesque-pague são potencialmente poluidores sendo necessário o tratamento dos efluentes gerados antes de serem descartados nos corpos hídricos, neste caso, os rios da bacia do rio Corumbataí.

Ainda relacionado a estas unidades de recreação, Tintor (2008) determinou metais biodisponíveis nas mesmas unidades de pesque-pague. Água e sedimento foram analisados e a conclusão foi que as águas destes pesque-pague não estão comprometidas quanto à presença de metais tóxicos (Cd, Pb, Ni, Cr e Cu), ao contrário, dos sedimentos nos quais foram detectados todos os metais analisados incluídos estes elementos tóxicos. Desse modo, os sedimentos agem como um compartimento ativo que acumula material oriundo da coluna de água, reprocessando esse material, podendo torná-lo novamente disponível em solução.

2.3 Microbacia do rio Cabeça

Apesar de numerosos trabalhos citados anteriormente da bacia do rio Corumbataí, verifica-se que a microbacia do rio Cabeça não vem sendo constantemente abordada. A maioria dos trabalhos encontrados na literatura científica sobre esta área geralmente não enfocam estudos de qualidade da água especificamente. Azevedo (2003) abordou a degradação das matas ciliares na microbacia dos rios Passa Cinco e Cabeça, realizando análise espaço temporal da dimensão das mesmas no período de 1962 a 1995. O autor verificou que junto ao rio Cabeça, no período de 1962 a 1972, houve diminuição deste tipo de vegetação. Em 1978, esta tendência de desmatamento também foi observada com drástica redução ao longo desse corpo hídrico. Esta situação foi relacionada à agricultura de cana-de-açúcar e mineração de areia. Nos anos 1988 e 1995 foi observado aumento da vegetação ripária, com destaque para as áreas onde está localizado o rio Cabeça e seus afluentes. Esta variação da cobertura vegetal das matas ciliares, no período de 1978 a 1995, está relacionada com o abandono das áreas cultivadas e conversão das áreas de cana-de-açúcar para campos sujos.

A busca atual de fontes energéticas renováveis, entretanto, tem contribuído para um novo aumento de áreas cultivadas com cana-de-açúcar para a produção de álcool combustível. A região sudeste é a maior área plantada com esta cultura e de maior produção, destacando-se o Estado de São Paulo, onde ela representa uma das atividades agropecuárias e a agroindústria sucro-acooleira tem um relevante papel sócio-econômico (BASANTA, 2004). Na área de estudo tem ocorrido expansão desse tipo de cultura e com ela a possibilidade de maiores impactos ambientais causados pela aplicação de herbicidas, pesticidas e fertilizantes, durante os diferentes estágios de cultivo desse vegetal, que aliados à devastação das matas ciliares, podem acarretar a degradação dos recursos hídricos das áreas adjacentes a essas plantações.

As informações sobre a qualidade da água do rio Cabeça podem ser encontradas em estudos realizados sobre a ictiofauna. Cetra (2003) caracterizou a assembléia de peixes na bacia do rio Corumbataí nos seus quatros rios principais: Ribeirão Claro, Passa Cinco, Cabeça e Corumbataí. Paralelamente, foi realizada a determinação dos parâmetros qualitativos da água, como temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica. Para o rio Cabeça, os valores encontrados foram pH levemente ácido a levemente básico, turbidez variando de 56,87 UTN a 233,00 UTN, oxigênio abundante e condutividade variando de 17 a 40 $\mu\text{S.cm}^{-1}$. Estes resultados, entretanto, não são suficientes para avaliar as condições deste corpo hídrico, dificultando a proposição de medidas de gerenciamento.

A degradação da maioria dos mananciais, o grau de comprometimento de sua qualidade e a diminuição de sua disponibilidade, originada pela má gestão das bacias hidrográficas é agravada pela falta de informações que promovam um diagnóstico da real condição desses mananciais. A avaliação das condições naturais significa a interpretação qualitativa e quantitativa das mudanças de ordem ecológica, social, cultural ou estética no meio (RODRIGUES, 2008). A partir da organização dos componentes do meio, portanto, será possível conhecer, descrever, avaliar, explicar e prever situações na microbacia em estudo.

Os resultados das pesquisas realizadas na bacia do rio Corumbataí são extremamente preocupantes devido ao grau de degradação da mesma. Dessa forma, a proposta da continuidade de estudos de investigação nessa bacia é sem dúvida de grande importância, devido estar localizada em uma região de alto desenvolvimento urbano e industrial. Justificam-se assim os estudos a serem realizados em suas microbacias, como é o caso da microbacia do rio Cabeça. Os estudos que buscam o conhecimento da qualidade da água desse rio e dos processos atuantes na determinação da mesma fornecerão valiosas informações para o manejo da área e dessa forma poderá ser alcançada uma real gestão ambiental integrada da bacia do rio Corumbataí. Além disso, os corpos de águas superficiais desta bacia são de grande importância para a sustentabilidade econômica e ambiental requerida pela sociedade atual, como já foi abordado anteriormente.

2.3.1 Localização da área de estudo

A microbacia do rio Cabeça está localizada na bacia do Corumbataí entre as coordenadas 210000E, 7540000N e 230000E, 7515000N (Figura 2). Esta microbacia ocupa uma extensão, aproximada, de 214 Km² sendo o uso da sua terra para atividades principalmente rurais.

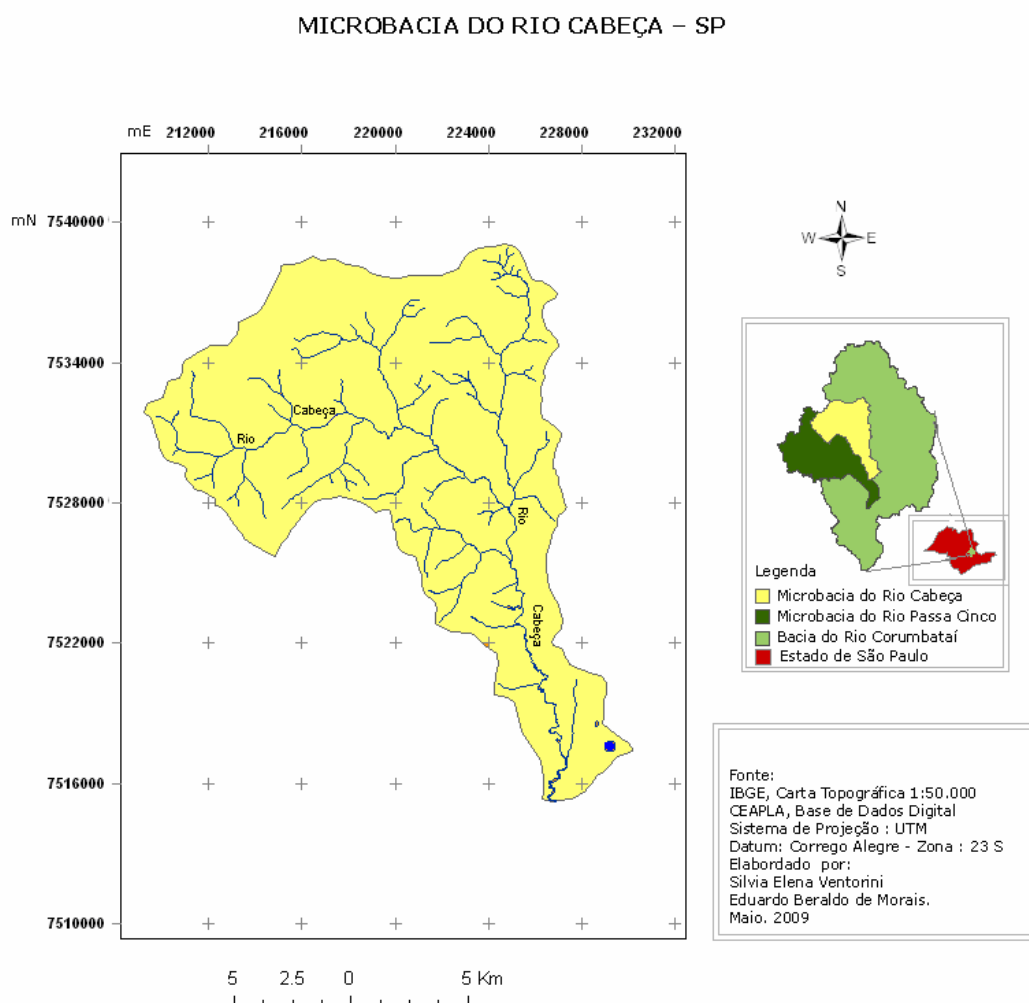


Figura 2. Localização da microbacia do rio Cabeça na bacia do rio Corumbataí.

O clima da área de estudo é Cwa na classificação de Köppen, ou seja, w: seca no inverno, a: mês mais quente com temperatura superior a 22°C. A área pode ser enquadrada dentro de um clima tropical com duas estações bem definidas, alternadamente seca e úmida, controladas por massas tropicais e equatoriais que predominam em mais de 50% do ano (MONTEIRO, 1973). Quanto à distribuição anual das chuvas, ocorre um período seco (entre abril e setembro) com 15 a 20 dias de chuvas responsáveis por precipitações de 180 a 200 mm e um período chuvoso (de outubro a março) com 55 a 60 dias de chuva responsáveis por mais de 80% das precipitações anuais (ZAINÉ, 1996).

2.4 Gestão de bacias e microbacias hidrográficas

2.4.1 Classificação dos corpos hídricos

Certas impurezas de ordem física e química, além das biológicas, podem ocorrer naturalmente na água, porém suas concentrações devem obedecer a parâmetros estabelecidos pelos órgãos de saúde pública, como padrões de potabilidade, afim de que não prejudiquem a saúde humana (NIKAIDO et al., 2004). Na esfera federal, a Portaria MINTER nº GM 0013 de 15 de janeiro de 1976, regulamentou a classificação dos corpos de águas superficiais, com os respectivos padrões de emissões para efluentes. Em 1986 a Resolução nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA estabeleceu nova classificação para águas doces, águas salobras e salinas do Território Nacional (BRASIL, 1986) e mais recentemente foi substituída pela Resolução nº 357 – CONAMA, de 07 de março de 2005 (BRASIL, 2005).

Na esfera estadual, o Decreto nº 8468 de 8 de setembro de 1976 aprovou o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente. Neste Decreto é possível encontrar os padrões de qualidade dos corpos hídricos superficiais e padrões de emissão de efluentes (SÃO PAULO, 1976).

Um dos importantes instrumentos de gestão ambiental é o enquadramento dos corpos hídricos. Este surgiu inicialmente como base legal na legislação ambiental – é uma deliberação do Conselho Nacional de Meio Ambiente – e posteriormente foi incorporado à Política Nacional de Recursos Hídricos. O enquadramento dos corpos de água visa assegurar qualidade compatível com os usos mais exigentes da bacia e, também, reduzir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes e ações corretivas (OPPA, 2007).

No Art. 7º do Decreto Estadual 8468/1976 (SÃO PAULO, 1976) e Art. 4º da Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) as águas doces são classificadas em: classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4. A citada Resolução apresenta ainda a classe especial. Os rios presentes na bacia do rio Corumbataí, incluindo o rio Cabeça, são classificados como classe 2 segundo as preposições do Decreto Estadual 10755 de 1977 que dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água (DAEE, 2009).

2.4.2 Bacias e microbacias hidrográficas de uso rural

As bacias hidrográficas são unidades de estudos, onde estão integrados os efeitos de todas as atividades humanas e os usos de seus recursos naturais. Além da importância da preservação das águas e solos de uma bacia hidrográfica é necessário preservar toda “teia complexa” das relações existentes entre parâmetros físicos, biológicos e antrópicos. Todos os tipos de poluentes acabam sendo transportados para a água e acumulados em lagos, reservatórios, mares e rios (TUNDISI e STRAŠKRABA, 1995). Há muito tempo tem-se como reconhecida na hidrologia a existência de ligações entre as características físicas de uma bacia hidrográfica e a quantidade e qualidade da água que chega aos corpos hídricos (MILANI, 2007).

A abordagem por bacias hidrográficas apresenta vantagens que envolvem o desenvolvimento de estudos interdisciplinares, gerenciamento de usos múltiplos e conservação, pois é uma unidade física com fronteira delimitada. A grande extensão geográfica das bacias hidrográficas, associadas às diversidades de clima, relevo, solos, vegetação, sistema de ocupação e uso de terra, além da carência de recursos materiais, humanos e financeiros, entretanto, pode agregar alto grau de complexidade para o planejamento e execuções de ações integradas. Isso faz com que se opte por uma unidade espacial menor denominada microbacia, cuja área varia de acordo com as peculiaridades locais e regionais (BRASIL, 1988).

Do ponto de vista hidrológico, a microbacia pode ser considerada como a menor unidade da paisagem capaz de integrar todos os componentes relacionados com a qualidade e disponibilidade de água como: atmosfera, vegetação natural, plantas cultivadas, solos, rochas subadjacentes, corpos de água e paisagem circundante (MACHADO, 2002).

O uso e a ocupação da terra são entendidos como as diversas formas de intervenção do homem junto ao ambiente, com a finalidade de atender às suas necessidades. O uso inadequado da terra intensifica o processo erosivo que inclui a remoção do material de superfície da vertente e deposição no canal fluvial, o qual ocasiona na maioria das vezes, a presença do assoreamento. O movimento do solo pela água é um processo complexo influenciado pela quantidade, intensidade e duração da chuva, além da natureza do solo, da cobertura vegetal e da declividade (FERREIRA, 2006).

A ocupação e o uso da terra decorrente de atividades humanas alteram sensivelmente os processos biológicos, físicos e químicos dos sistemas naturais. Essas alterações ocorridas

em uma bacia hidrográfica são refletidas pela qualidade das águas superficiais. Assim, é extremamente importante o conhecimento das diversas atividades antrópicas desenvolvidas na área de drenagem, para a eficiente gestão de bacias e microbacias hidrográfica.

A degradação do ambiente em áreas rurais é fortemente influenciada pelas práticas agrícolas utilizadas em cada região, cuja composição varia de acordo com o tipo de cultura, o período do ano em que se prepara o terreno para o plantio, a aplicação de fertilizantes e defensivos e pelas técnicas utilizadas na colheita.

A poluição causada pelas atividades agropecuárias pode ocorrer de forma pontual ou difusa. A pontual refere-se, por exemplo, à contaminação causada pela criação de animais em sistemas de confinamento, onde grandes quantidades de dejetos são produzidos e lançados diretamente no ambiente ou aplicados nas lavouras. Já a poluição difusa é aquela causada, principalmente, pelo deflúvio superficial, a lixiviação e o fluxo de macroporos que, por sua vez, estão relacionados com as propriedades do solo como a infiltração e a porosidade. Assim, solos mais arenosos teriam o processo de lixiviação e fluxo de macroporos favorecidos. Já em situações onde os solos são manejados de forma incorreta (preparo excessivo do solo, associado ao insuficiente aporte de biomassa), poderá ocorrer a degradação de sua estrutura, favorecendo, então, o deflúvio superficial (MERTEN e MINELA, 2002).

A utilização de pesticidas na agricultura também representa riscos à qualidade das águas e ambiente como um todo. Segundo Doris (2004), os pesticidas ocupam uma posição singular dentre as substâncias químicas, uma vez que são adicionados intencionalmente ao ambiente para destruir ou controlar algumas formas de vida que são consideradas indesejáveis, ou seja, as chamadas pestes ou pragas que representam um grande problema para a agropecuária tradicional e para a saúde pública. Dentre as consequências indesejáveis do uso de pesticidas pode-se citar a presença de resíduos no solo, água e ar, nos tecidos vegetais e animais, destruição de microrganismos do solo, efeitos prejudiciais sobre organismos não-alvo, mortalidade de insetos benéficos e presença de resíduos em alimentos, além da contaminação ocupacional.

Outro aspecto a ser considerado é a utilização de áreas para o desenvolvimento da agropecuária que não apresentam aptidão para tal atividade. Como exemplo, podem ser citadas as áreas declivosas, nascentes e margens dos rios, áreas de recarga dos aquíferos, entre outras. Segundo Merten e Minella (2002), áreas com baixa aptidão devem ser preservadas, ou então exploradas por sistemas agroflorestais com baixo impacto ambiental, que prezem a matéria orgânica do solo e a manutenção da água no sistema, através da infiltração da chuva.

Dessa forma, um ambiente pode ser ecologicamente frágil, porém com nenhum ou baixo nível de degradação, determinado pelo sistema de exploração.

A ocupação da terra pelas diversas atividades agropecuárias, muitas das vezes, suprime as coberturas florestais e matas ciliares. Esta possui papel relevante na manutenção do regime hídrico em função da retenção da água da chuva e infiltração no lençol freático, o que implica que a sua destruição pode diminuir a vazão na estação seca devido à diminuição da capacidade de armazenamento da microbacia ao longo da zona ripária, faixa da mata ciliar sobre influencia direta da presença de água em algum período do ano (GOLLA, 2006). As matas ciliares são importantes também por reduzirem as cargas poluentes que são introduzidas nos corpos de água por meio do deflúvio superficial, atuando como filtro dos poluentes e partículas minerais responsáveis pelo assoreamento.

A utilização racional dos recursos naturais faz-se urgente nas zonas rurais frente ao desgaste e empobrecimento dos solos e assoreamento de corpos de água, os quais contribuem para a diminuição da renda e da qualidade de vida dos produtores rurais e de suas famílias. Esses problemas são freqüentes no Estado de São Paulo, exigindo providências dos órgãos públicos e o manejo adequado de solos e água por parte dos produtores rurais, visando sua conservação. Para isso, é indispensável à adoção de práticas que controlem o escoamento superficial de água, favoreçam a cobertura vegetal e facilitem a infiltração de água no solo (GOLLA, 2006).

No Estado de São Paulo está sendo desenvolvido, desde 1997, o Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas, proposto pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo através de sua Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), juntamente com o Banco Mundial, com o objetivo de promover o desenvolvimento rural do Estado visando a sustentabilidade socioeconômica e ambiental. Programa semelhante tem sido implementado a nível nacional e em vários Estados Brasileiros (Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul), com grande efeito permanente e multiplicador (ATTANASIO, 2004).

A microbacia do rio Cabeça, tipicamente rural, com o desenvolvimento da agricultura e pecuária, não foge a regra e está sujeita aos riscos decorrentes destas atividades. O levantamento das potencialidades e limitações que devem ser respeitados nessa microbacia associados a identificação dos principais fatores e fontes determinantes dos corpos hídricos superficiais, entretanto, permitirão a adoção de práticas conservacionistas adequadas facilitando a sua gestão ambiental.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Pontos de amostragem

Ao longo do rio Cabeça foram estabelecidos 5 pontos de amostragem definidos de acordo com a facilidade de acesso, caracterização da microbacia hidrográfica quanto aos seus aspectos geomorfológicos, geológicos e atividades agrícolas. As localizações dos pontos de acordo com as coordenadas geográficas foram: P1 - 22°18'04''S e 47°45'37''W; P2 - 22°18'47''S e 47°45'55''W; P3 - 22°20'48''S e 47°40'18''W; P4 - 22°24'34''S e 47°39'27''W e P5 - 22°26'58''S e 47°39'22''W. Além destes 5 pontos e com o intuito de verificar a influência das águas do rio Cabeça na qualidade das águas do rio Passa Cinco, neste último foram estabelecidos outros dois pontos de amostragem: P6 - 22°26'58''S e 47°39'28''W e P7 - 22°27'48''S e 47°38'53''W. O P6 localiza-se a montante do deságüe do rio Cabeça e o P7 a jusante, aproximadamente a três quilômetros deste (Figura 7).

As coletas foram realizadas uma vez por mês, sempre no período da manhã entre 7:00 e 11:00 horas. O período de estudo iniciou-se em abril de 2007 e se estendeu até março de 2009 totalizando 24 meses. Os períodos corresponderam ao seco/frio (abril a setembro) e ao úmido/quente (outubro a março).

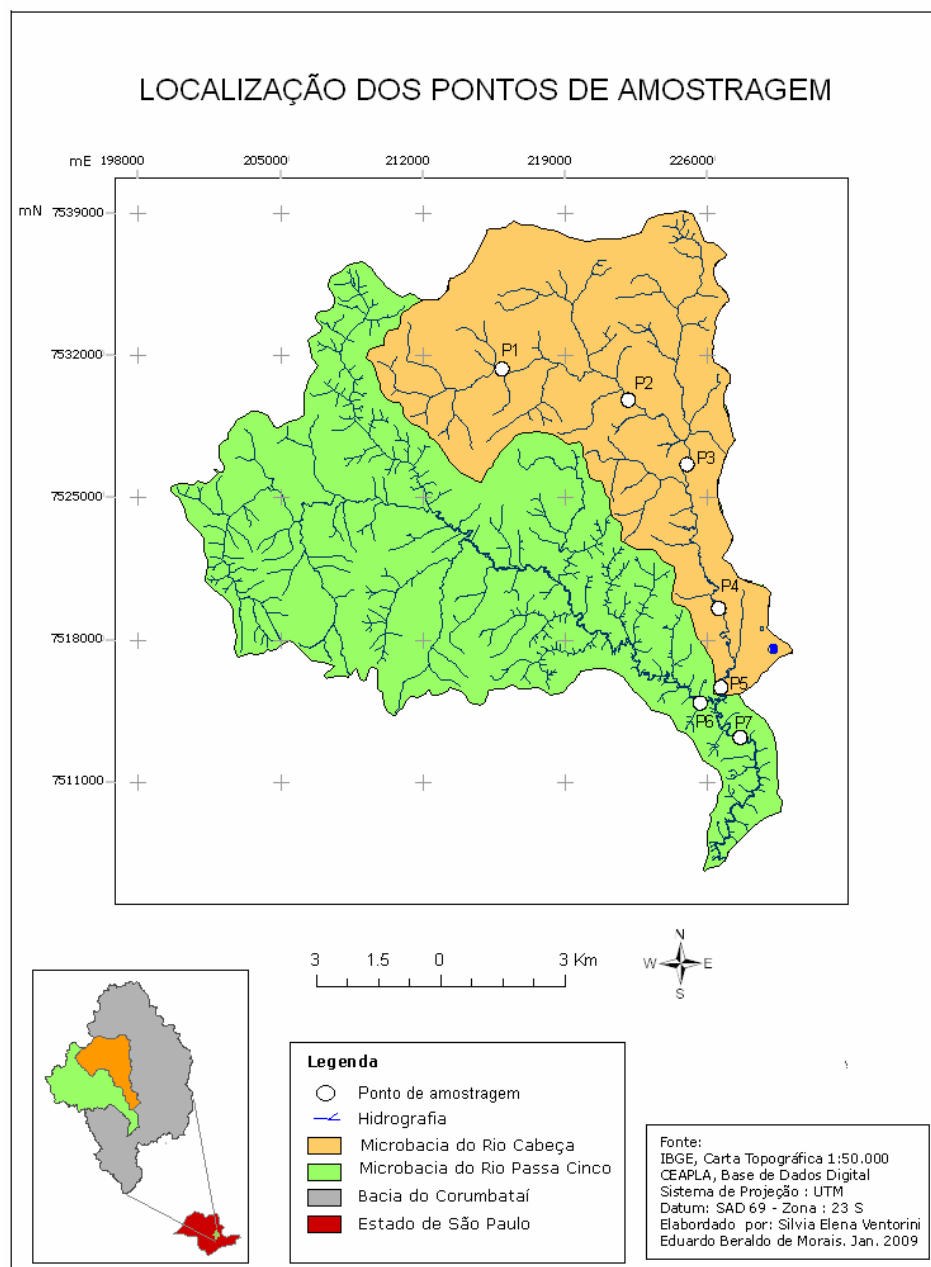


Figura 3. Localização dos pontos de amostragem nos rios Cabeça e Passa Cinco, na bacia do rio Corumbataí.

3.2 Metodologia de coleta de água

Em cada ponto de amostragem foram coletadas amostras na metade do corte transversal da calha principal do rio, aproximadamente a 20 cm da superfície da água, utilizando-se amostrador de Van Dorn. As amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno de 1L e transportadas para o laboratório em caixas térmicas com gelo. Para as análises de coliformes totais e *Escherichia coli*, os frascos foram esterilizados, devidamente

fechados, sendo a tampa envolta com papel protetor. Todos os procedimentos para coleta, transporte e armazenamento das amostras foram realizados de acordo com o Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água da CETESB (CETESB, 1987).

Para os parâmetros temperatura da água, condutividade elétrica, salinidade, turbidez, cor aparente, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido e fósforo total foram realizados três medições (triplicata), sendo o resultado final apresentado na forma de uma média entre os resultados obtidos. Para os parâmetros temperatura do ar, pH, DBO, amônia, nitrito, nitrato, nitrogênio total, sólidos suspensos totais, metais, coliformes totais e *Escherichia coli* não foram realizadas repetições sendo feita apenas uma única medição em cada coleta.

3.3 Metodologia analítica da qualidade da água

3.3.1 Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos

3.3.1.1 Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)

Foi realizada leitura direta da temperatura do ar com termômetro de mercúrio em vidro, marca I.M. Total.

3.3.1.2 Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), sólidos totais dissolvidos (STD) (mg.L^{-1}), oxigênio dissolvido (OD) (mg.L^{-1})

Estes parâmetros foram determinados imediatamente após as coletas com auxílio de uma Sonda Multiparâmetros marca YSI, modelo 556 MPS.

3.3.1.3 Turbidez (UNT)

As medidas de turbidez foram realizadas por meio de aparelho turbidímetro portátil, marca Hach, modelo 2100p, precisão de $\pm 0,01$ UNT. O sistema óptico do aparelho inclui uma lâmpada de filamento de tungstênio, um detetor a 90° para monitorar a luz dispersada e um detetor da luz transmitida. Para as leituras foram utilizados 15 mL das amostras.

3.3.1.4 Cor aparente (mg PtCo.L^{-1})

As determinações para cor aparente foram realizadas em espectrofotômetro, marca Hach, modelo DR/2000. Foram utilizados 25 mL da amostra e a leitura realizada a 455 nm de comprimento de onda.

3.3.1.5 Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

O parâmetro fósforo total foi determinado segundo o método 4500-P do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998). Este método envolve a digestão da amostra (10 mL) em autoclave (30 min a 120°C) juntamente com 1 mL de solução saturada de persulfato de potássio. Após digestão e resfriamento, adicionou-se o reagente misto (molibdato de amônio, tartarato de antimônio e potássio, ácido sulfúrico e ácido ascórbico). O fósforo, na forma de íon ortofosfato após a digestão, reage em meio ácido com o molibdato de amônio, formando o complexo fosfomolibdato. Este complexo é então reduzido pelo ácido ascórbico, numa reação catalisada pelo tartarato de antimônio e potássio formando um complexo de coloração azul, sendo realizada a leitura em espectrofotômetro Cintra GBC UV-Visible a 880nm de comprimento de onda.

3.3.1.6 Nitrogênio total (mg.L^{-1})

O nitrogênio total foi obtido por meio da digestão sulfúrica de 100 mL da amostra segundo a metodologia descrita por Mackereth et al. (1978). Após a digestão, a amostra foi destilada em aparelho destilador marca TECNAL. O destilado foi capturado em ácido bórico 1% e posteriormente, titulado com ácido clorídrico 0,01N.

3.3.1.7 Nitrato (mg.L^{-1}) e amônia (mg.L^{-1})

As concentrações de nitrato (N-NO_3^-) e amônia (N-NH_3) foram obtidas por meio do método 4500 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998). Utilizaram-se os kits reagentes da Hach e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro, marca Hach, modelo DR/2000.

3.3.1.8 Sólidos suspensos totais

Os sólidos em suspensão foram determinados por meio do método gravimétrico com a filtração de 200 mL da amostra utilizando filtros Whatman 47 mm de diâmetro e 0,45 µm de porosidade. Os filtros foram secos a 105°C, por 24 horas e os resultados foram calculados através da fórmula:

$$SS \text{ (mg/L)} = \frac{(M1 - M0) \cdot 1000}{V_a}$$

Onde:

SS: Sólidos em suspensão;

M0: Massa do filtro após secagem em estufa à 105°C por 24 horas;

M1: Massa do filtro após filtração e após secagem em estufa à 105°C por 24 horas;

Va: Volume da amostra filtrada.

3.3.1.9 Metais (mg.L⁻¹)

Para a determinação dos metais, as amostras de água foram filtradas em sistema a vácuo usando filtro MGC, 47 mm de diâmetro e 0,45 µm de porosidade e posteriormente acidificadas com ácido nítrico concentrado acarretando concentração final de 2% (v/v). A leitura foi realizada utilizando 50 mL da amostra em espectrômetro de emissão óptica sequencial com plasma acoplado indutivamente marca GBC, modelo integra XL (APHA, 1998).

3.3.2 **Parâmetros microbiológicos**

3.3.2.1 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

O teste é usado para medir a quantidade de oxigênio consumido por bactérias durante a oxidação da matéria orgânica na amostra. Consiste na determinação de OD, em amostra antes e após do período de incubação, usualmente 5 dias, a uma temperatura de 20°C. O teste usado foi o da incubação da amostra contendo os reagentes do kit da Hach, utilizando-se do aparelho marca Hach, modelo BOD TrakTM, segundo o método 5210 do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).

3.3.2.2 Coliformes totais e *Escherichia coli* (NMP.100mL⁻¹)

Para a quantificação dos indicadores microbiológicos foi utilizada a metodologia descrita na Seção 9223B – Enzyme Substrate Coliform Test do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998). O kit do sistema Colilert[®] é utilizado para detecções simultâneas, identificações específicas e confirmativas de coliformes totais e *Escherichia coli* em água continental natural ou tratada. O Colilert[®] (sistema patenteado por IDEXX Laboratories) utiliza nutrientes (açúcares ligados a radicais orgânicos cromogênicos) que fazem com que os microrganismos de interesse presentes na amostra produzam uma mudança de cor (ou fluorescência) no sistema inoculado.

As enzimas específicas e portanto características dos coliformes totais (Beta-Galactosidase) e da *E. coli* (Beta-Glucoronidase) ao metabolizarem os nutrientes, ONPG (o-nitrofenil- Beta -D-galactopiranosídeo) e MUG (4-metil-umbeliferil- Beta -D-glucoronídeo), causam a liberação do radical orgânico cromogênico, e como consequência, a amostra passa a apresentar uma coloração específica amarela para coliformes totais (ONPG) e fluorescência (na presença de luz ultravioleta a 365 nm) para *E. coli* (MUG).

Cada amostra de água, após as diluições necessárias, recebeu o meio Colilert e foi colocada em cartela Quanti-Tray/2000TM que possui 97 poços que são usados para detecção e quantificação das bactérias de interesse nas amostras. As cartelas foram posteriormente seladas e incubadas a uma temperatura de 35°C por 24 horas fornecendo desse modo os resultados.

3.4 Vazão

Para a determinação da vazão no rio Cabeça foi utilizado o método apontado no Comunicado Técnico da Embrapa n° 455, o Método do Flutuador (EMBRAPA, 2007) que foi adaptado a partir da metodologia estabelecida pela Agência Norte-americana de Proteção Ambiental (EPA, 1997). A vazão foi determinada nos pontos de amostragem P1, P2, P3 e P5. No ponto P4 não foi possível a medição devido à incompatibilidade do método com o cenário encontrado: rio sinuoso e alguns pontos com pedras. O método incluiu a seleção de um trecho retilíneo do corpo hídrico igual a 6 m de comprimento (L) com no mínimo 15 cm de profundidade (Figura 8). As áreas das seções, superior e inferior, foram calculadas por meio do produto da largura do rio pela média da profundidade e posteriormente, a área média do trecho foi obtida pela soma da área de cada uma das seções dividida por dois (representado

por A na fórmula). Por meio de um objeto flutuante, calculou-se o tempo (T) gasto para o seu deslocamento da seção superior até a seção inferior. A equação utilizada para o cálculo da vazão é apresentada a seguir:

$$\text{Vazão} = \frac{(A \times L \times C)}{T} \text{ (m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

Onde:

A= média da área do rio (distância entre as margens multiplicada pela profundidade do rio) entre as seções superior e inferior.

L= comprimento da área de medição (6,0 m).

C= coeficiente ou fator de correção (0,8 para rios com fundo pedregoso ou 0,9 para rios com fundo barrento). O coeficiente permite a correção devido ao fato de a água se deslocar mais rápido na superfície do que na porção do fundo do rio. Multiplicando a velocidade da superfície pelo coeficiente de correção ter-se-á uma melhor medida da velocidade da água.

T= tempo, em segundos, que o flutuador leva para deslocar-se no comprimento L.

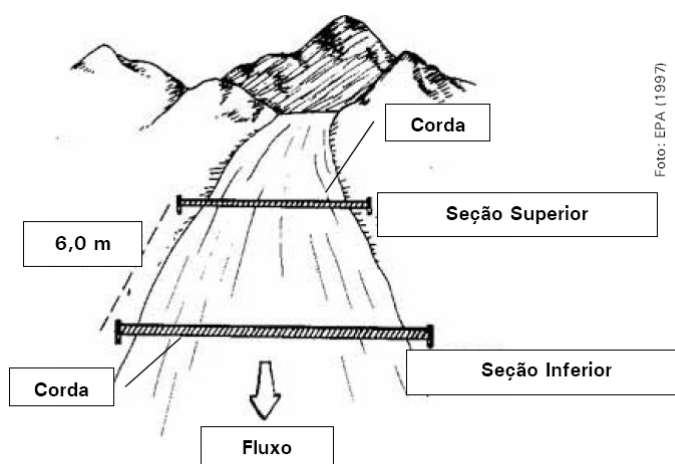


Figura 4. Procedimentos para seleção e marcação do trecho do rio durante a medição da vazão (EMBRAPA, 2007).

As determinações da vazão no rio Cabeça foram realizadas nas datas 14/07/2007, 12/01/2008, 26/07/2008 e 19/01/2009 contemplando duas medições no período seco/frio e duas no período chuvoso/quente. As medições não foram realizadas mensalmente devido ao método utilizado que necessita de recursos humanos e representa certos riscos principalmente no período chuvoso.

3.5 Análise da evolução do uso da terra e cobertura vegetal e elaboração de mapas temáticos da microbacia do rio Cabeça

Para análise da evolução do uso da terra para a cana-de-açúcar, pastagem e vegetação nativa dos anos de 1962, 1988 e 2008 da microbacia do rio Cabeça, foram elaborados mapas a partir da base de dados digital da bacia do rio Corumbataí, cedida pelo Centro de Análise e Planejamento Ambiental – CEAPLA – UNESP – Campus de Rio Claro. Para esta elaboração os seguintes software e materiais foram utilizados: Programa Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING)¹, versão 5.0; base topográfica em meio digital, extensão DWG da bacia hidrográfica do rio Corumbataí; base digital de uso da terra da bacia hidrográfica do rio Corumbataí para os anos de 1962, 1988 e 2008; cartas topográficas do IBGE, folhas Rio Claro e Itirapina, com data de edição de 1969, escala 1:50.000 e eqüidistâncias entre as curvas de nível correspondente a 20 metros; imagem de satélite LandSat, para o ano de 2008 e fotografias aéreas dos aerolevantamentos realizadas no estado de São Paulo para os anos de 1962 e 1988.

A partir da base topográfica em meio digital da bacia hidrográfica do rio Corumbataí realizou a vetorização do limite da bacia do rio Cabeça e utilizou-se este limite para os cenários da evolução do uso da terra citado. A verificação da veracidade das informações referentes aos anos de 1962 e 1988 foi realizada por meio da análise das fotografias aéreas e a veracidade das informações do cenário de 2008 por meio da imagem de satélite. Após esta etapa, foi realizado, por meio do programa SPRING, o cálculo da área em Km² e em porcentagem ocupada pela cana-de-açúcar, pastagem e vegetação nativa para os referidos anos.

Os mesmo procedimentos foram realizados para a elaboração dos mapas geológico e pedológico da microbacia do rio Cabeça a partir das bases digitais geológica e pedológica da bacia hidrográfica do rio Corumbataí, enquanto, o mapa do modelo numérico do terreno foi elaborado a partir base topográfica em meio digital, extensão DWG da bacia hidrográfica do rio Corumbataí.

¹ O SPRING é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) compatível com os sistemas operacionais LINUX e Windows. Este programa foi desenvolvido pelo **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE** e pode ser adquirido gratuitamente pela internet (“<http://www.dpi.inpe.br/spring>”). Maiores informações sobre este software pode ser obtidas na página do INPE: www.inpe.br.

3.6 Análise estatística dos dados de qualidade da água

Para analisar estatisticamente os dados obtidos para a qualidade da água foi realizada análise de variância fatorial para descrever o comportamento das variáveis físicas, químicas e microbiológicas seguidas das comparações múltiplas através do teste de Tukey. Posteriormente, com o intuito de identificar os possíveis fatores/fontes determinantes do sistema aquático para melhor entendimento da qualidade da água e do status ecológico, optou-se pela aplicação da técnica estatística multivariada representado pela Análise da Componente Principal (*Principal Component Analysis* – PCA). A PCA permite a extração de informações relevantes com discriminação de amostras em função do período sazonal, influenciado principalmente pela precipitação mensal, assim como pelos parâmetros que impactam o corpo hídrico (ZIMMERMANN, et al., 2008). Esta técnica geralmente facilita a interpretação da matriz de dados gerada de programas de monitoramento da qualidade da água, a qual é composta de um número elevado de valores. A identificação e contribuições qualitativas e quantitativas das fontes poluentes podem ser alcançadas facilitando a correta gestão de bacias hidrográficas (OUYANG et al., 2006). Ambas as análises, análise de variância fatorial e análise da componente principal, foram realizadas no software STATISTICA 6.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de variância fatorial

As variações dos parâmetros estudados foram determinadas em relação aos pontos de amostragem e aos períodos chuvoso/quente e seco/frio correspondentes aos meses de estudo, utilizando-se modelo de variância do tipo fatorial considerando como fatores:

- pontos de amostragem (7 no total), e;
- período chuvoso/quente (outubro a março) e período seco/frio (abril a setembro).

Posteriormente, o Teste de Tukey foi aplicado para estes dois fatores quando observadas diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5% de significância, permitindo deste modo a comparação múltipla entre os fatores analisados.

4.1.1 Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos

4.1.1.1 Temperatura do ar

De modo geral, os valores de temperatura do ar ficaram próximos ao esperado, ou seja, temperaturas mais altas no período chuvoso/quente e mais baixas no período seco/frio. Os valores das temperaturas do ar encontram-se na Tabela 3 e na Figura 5, expressados por meio de médias para os períodos seco/frio e chuvoso/quente para cada ponto de amostragem.

Tabela 3. Variação espaço-temporal da temperatura do ar (°C) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009, nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	29,2	31,4	32,0	32,4	34,3	34,8	35,3
Mai/07	21,7	21,4	17,4	25,6	23,4	24,6	20,4
Jun/07	19,1	18,3	19,8	22,2	24,9	25,2	25,4
Jul/07	21,9	23,1	21,9	25,8	28,4	28,4	27,4
Ago/07	23,0	24,3	25,0	28,4	30,5	31,8	33,7
Set/07	30,8	32,0	30,9	33,7	35,1	35,4	36,2
Out/07	32,1	34,6	36,0	35,8	36,3	37,2	37,5
Nov/07	26,4	27,2	30,6	29,7	31,8	36,3	34,9
Dez/07	21,2	21,5	23,5	25,5	28,0	31,0	31,0
Jan/08	24,9	26,0	27,0	29,0	30,0	30,0	31,0
Fev/08	29,4	31,0	33,0	36,0	34,0	34,0	35,0
Mar/08	23,1	24,0	24,1	24,4	25,2	25,4	26,0
Abr/08	21,3	22,1	22,9	22,4	24,4	24,4	22,3
Mai/08	18,8	18,3	18,9	20,5	20,9	22,4	23,2
Jun/08	23,0	23,6	25,7	25,2	26,4	28,6	29,4
Jul/08	24,1	22,9	24,7	26,8	27,0	29,1	29,4
Ago/08	26,1	27,7	28,3	29,9	31,0	31,1	32,2
Set/08	32,8	33,3	35,2	34,4	36,1	36,0	36,4
Out/08	29,9	30,0	30,9	32,4	35,4	34,4	35,3
Nov/08	29,4	31,2	32,0	35,3	35,9	35,8	36,9
Dez/08	26,2	26,8	28,8	30,0	29,1	30,9	32,2
Jan/09	33,7	34,0	35,0	37,9	37,2	37,2	37,4
Fev/09	23,7	25,6	27,6	26,4	30,2	31,3	32,0
Mar/09	22,9	23,5	23,9	24,2	25,4	25,2	25,9
Média	25,6	26,4	27,4	28,9	29,9	30,8	31,0
Desvio Padrão	4,4	4,8	5,3	4,9	4,7	4,6	5,1

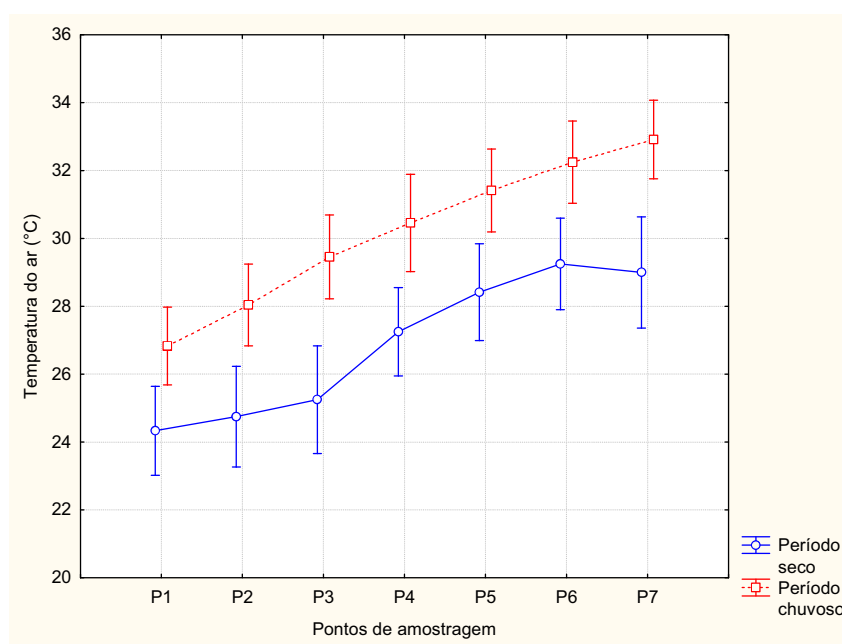


Figura 5. Médias dos valores de temperatura do ar (°C) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Os resultados da análise da variância fatorial para a variável dependente temperatura do ar se encontram na Tabela 4.

Tabela 4. Análise de variância para a temperatura do ar (°C) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Temperatura do Ar	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	458,4	458,4	21,122	0,000009
Pontos de amostragem	6	659,3	109,9	5,064	0,000091
Período*Pontos amostragem	6	12,2	2,0	0,094	0,996902
Erro (Resíduo)	154	3342,0	21,7		

Para o fator pontos de amostragem ao nível de 5% de significância, houve diferenças entre eles (Tabela 4). Aplicando-se o Teste de Tukey nos resultados obtidos, verificou-se que as diferenças foram estatisticamente significativas e que os maiores valores foram encontrados nos pontos de amostragem P6 e P7 e os menores no P1 (Tabela 5). No grupo de Tukey, letras diferentes significam que os níveis do fator analisado são diferentes.

Tabela 5. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando temperatura do ar (°C).

Pontos de amostragem	Média	Grupo de Tukey		
P7	30,96	A		
P6	30,75	A		
P5	29,92	A	B	
P4	28,85	A	B	C
P3	27,35	A	B	C
P2	26,40		B	C
P1	25,58			C

Para o fator período de estudo, ao nível de 5% de significância, houve diferenças entre os períodos chuvoso/quente e seco/frio, conforme se observa na Tabela 6, que apresenta os resultados da aplicação do Teste de Tukey.

Tabela 6. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando a temperatura do ar (°C).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	30,20	A
Seco/frio	26,89	B

Em relação ao fator período de estudo, seco/frio e chuvoso/quente, as temperaturas foram distintas. Quanto aos pontos de coletas, verifica-se o aumento das médias deste

parâmetro de modo espacial, ou seja, o ponto P7 apresentou a maior média enquanto o P1 a menor média. Esta diferença entre os pontos é atribuída ao procedimento constante para a coleta de amostras, que obedeceu a uma seqüência do ponto P1 ao P7, correspondendo a uma diferença de 4 horas entre o primeiro ponto até o último, ou seja, as coletas se iniciaram às 7:00h com término às 11:00h. Assim o efeito insolação foi a causa mais provável das diferenças estatisticamente significativas (Tabela 5).

Vale destacar que as médias da temperatura do ar encontradas neste estudo para os períodos chuvoso/quente e seco/frio, 30,2°C e 26,9°C respectivamente, foram superiores aquelas observadas por Palma-Silva (2006) que estudou a qualidade da água em cinco pontos de amostragem do trecho do rio Corumbataí entre Rio Claro e sua foz no rio Piracicaba. Este autor verificou que a média da temperatura do ar foi de 27,4°C para o período chuvoso/quente e 21,0°C para o período seco/frio.

4.1.1.2 Temperatura da água

Os resultados para o parâmetro temperatura da água (°C) encontram-se na Tabela 7 e as médias dos mesmos referentes aos períodos seco/frio e chuvoso/quente estão representadas na Figura 6. A análise da variância fatorial dos resultados da temperatura da água se encontra na Tabela 8.

Tabela 7. Variação espaço-temporal da temperatura da água (°C) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	22,4	23,2	22,4	24,4	24,5	24,3	24,7
Mai/07	17,3	16,8	15,9	16,5	16,9	16,8	16,5
Jun/07	16,5	16,3	16,0	17,8	17,1	17,6	17,8
Jul/07	18,5	18,7	18,4	18,9	19,0	18,7	18,8
Ago/07	17,7	17,5	18,0	19,3	19,4	19,4	19,6
Set/07	23,6	23,8	23,6	23,1	23,3	23,3	23,4
Out/07	22,5	22,7	23,8	25,0	25,5	26,7	26,3
Nov/07	22,6	22,2	23,5	24,6	24,4	25,4	25,4
Dez/07	20,7	20,9	21,2	22,2	21,9	21,7	22,0
Jan/08	21,9	22,0	22,8	23,9	23,9	24,6	24,6
Fev/08	24,4	24,3	24,3	24,6	25,1	24,9	25,0
Mar/08	22,0	21,2	22,2	23,4	23,3	23,7	23,7
Abr/08	19,4	18,9	20,0	21,1	20,2	20,2	20,6
Mai/08	18,7	16,7	19,4	18,7	18,7	18,5	18,5
Jun/08	15,9	16,1	16,0	16,3	16,3	16,5	17,2
Jul/08	19,9	19,4	19,3	19,5	19,6	20,1	21,2
Ago/08	19,2	19,1	19,0	19,5	19,8	19,7	19,6
Set/08	23,2	23,3	23,0	22,5	22,8	22,7	23,0
Out/08	24,2	24,4	24,4	24,7	25,2	25,3	25,4
Nov/08	22,6	22,5	22,3	22,6	22,5	22,4	22,6
Dez/08	23,7	23,3	23,6	23,9	23,9	24,1	24,2
Jan/09	24,3	24,3	24,4	24,3	24,4	24,4	24,5
Fev/09	23,5	23,4	23,5	23,8	23,7	23,9	23,9
Mar/09	22,9	22,7	23,1	23,4	22,6	23,1	23,1
Média	21,2	21,0	21,3	21,8	21,8	22,0	22,2
Desvio Padrão	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	3,0	2,9

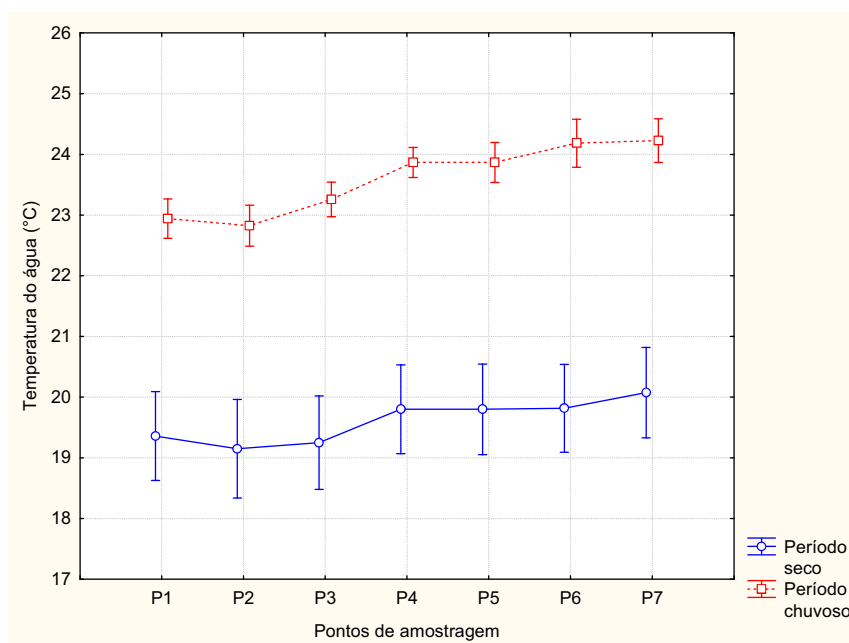


Figura 6. Médias do parâmetro temperatura da água (°C) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Tabela 8. Análise de variância para a temperatura da água (°C) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Temperatura da Água	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	668,01	668,01	165,38	0,000000
Pontos de amostragem	6	30,45	5,07	1,26	0,280892
Período*Pontos amostragem	6	2,66	0,44	0,11	0,995179
Erro (Resíduo)	154	622,04	4,04		

Para o fator pontos de amostragem, ao nível de 5% de significância, não houve diferenças estatisticamente significativas quanto aos resultados de temperatura da água ($p > 0,05$) (Tabela 8). Para o fator período de estudo, ao nível de 5% de significância, houve diferenças entre os mesmos, sendo que no chuvoso/quente ocorreu a maior média e no seco/frio, a menor média, como era esperado. A análise com Teste de Tukey destes resultados se encontra na Tabela 9.

Tabela 9. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando a temperatura da água (°C)

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	23,60	A
Seco/frio	19,61	B

A temperatura é um parâmetro físico de extrema importância para manter o equilíbrio entre a natureza aquática e o ambiente. A temperatura da água nos diferentes pontos de amostragem variou de forma semelhante, ao contrário do que foi observado para a temperatura do ar (os pontos diferiram estatisticamente para este parâmetro). Isto se deve, provavelmente, ao maior calor latente da água, sendo que esta tem maior resistência às mudanças de temperatura do que o ar. O tempo gasto para a realização das coletas, aproximadamente 4 horas, não foi suficiente para que grandes mudanças na temperatura da água fossem observadas nos pontos amostrados. O menor valor da temperatura da água foi 15,9 °C observado no P3 em maio de 2007 e no P1 em junho de 2008 e o maior valor foi 26,7 °C, observado no P6 em outubro de 2007.

4.1.1.3 pH

Os valores do parâmetro pH se encontram na Tabela 10. Estes valores são expressos através de médias para os períodos seco/frio e chuvoso/quente na Figura 7. A análise da variância fatorial dos resultados da variável dependente pH se encontra na Tabela 11.

Tabela 10. Variação espaço-temporal do pH determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	5,27	6,20	6,19	6,67	5,64	6,46	6,69
Mai/07	5,06	5,31	5,36	6,01	6,22	6,66	6,57
Jun/07	4,64	5,05	5,00	5,63	6,12	6,60	6,57
Jul/07	4,86	5,30	5,36	5,76	6,20	6,43	6,51
Ago/07	4,90	5,30	5,70	5,94	6,40	6,74	6,77
Set/07	5,40	5,80	6,16	6,32	6,55	6,97	6,96
Out/07	5,37	5,76	6,26	6,45	6,71	7,20	6,99
Nov/07	5,78	5,91	6,39	6,64	6,99	7,47	7,30
Dez/07	5,13	5,46	5,59	5,80	6,27	6,55	6,68
Jan/08	5,49	5,82	5,99	6,17	6,48	6,96	6,92
Fev/08	5,52	5,82	6,01	6,52	6,96	6,85	6,96
Mar/08	6,04	6,09	6,44	6,72	7,12	7,50	7,14
Abr/08	5,54	5,72	6,27	6,61	6,72	7,09	7,08
Mai/08	5,07	5,11	5,86	6,19	6,14	6,69	6,45
Jun/08	4,96	5,18	5,54	5,74	6,02	6,55	6,71
Jul/08	5,30	5,41	5,60	5,72	6,24	6,67	6,82
Ago/08	5,05	5,42	5,64	5,90	6,16	6,71	6,41
Set/08	5,47	5,64	5,73	5,76	6,12	6,56	6,62
Out/08	5,63	5,71	5,86	6,08	6,52	7,01	6,95
Nov/08	5,46	5,79	6,15	5,98	6,24	6,74	6,64
Dez/08	5,46	5,63	5,79	5,95	6,27	6,88	6,64
Jan/09	5,59	5,81	5,93	6,12	6,64	7,44	7,34
Fev/09	5,60	5,79	6,01	6,10	6,41	7,00	6,89
Mar/09	5,85	6,00	6,31	6,38	6,39	6,92	6,90
Média	5,35	5,63	5,88	6,13	6,40	6,86	6,81
Desvio Padrão	0,34	0,31	0,37	0,34	0,34	0,31	0,25

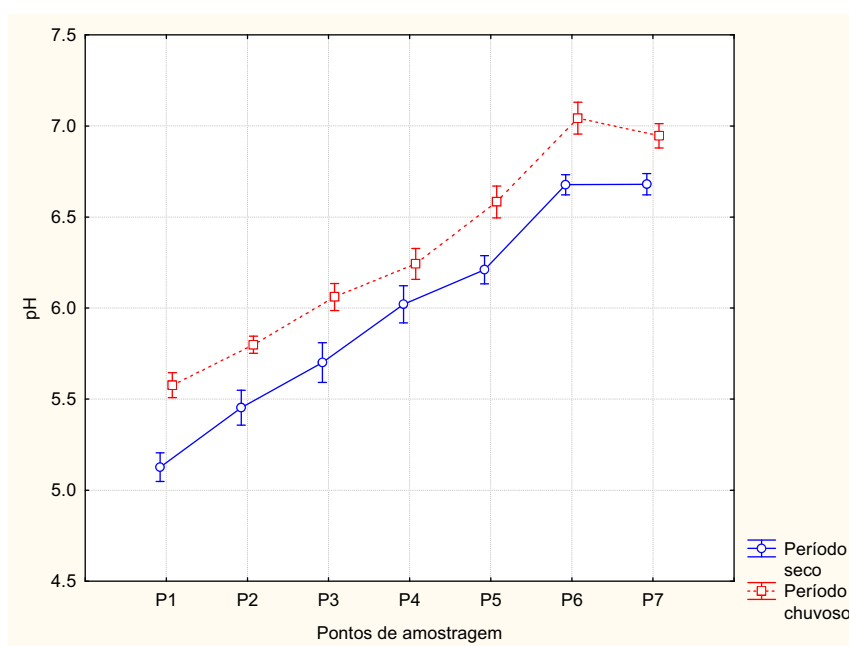


Figura 7. Médias do parâmetro pH em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Tabela 11. Análise de variância para o pH nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

pH	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	4,862	4,862	63,61	0,000000
Pontos de amostragem	6	47,751	7,958	104,12	0,000000
Período*Pontos amostragem	6	0,203	0,034	0,44	0,849983
Erro (Resíduo)	154	11,772	0,076		

Ambos os fatores considerados nesta análise de variância, pontos de amostragem e período de estudo, ao nível de 5% de significância, apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Os resultados do Teste de Tukey para cada fator estudado se encontram nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o pH.

Pontos de amostragem	Média	Grupo de Tukey
P6	6,86	A
P7	6,81	A
P5	6,40	B
P4	6,13	C
P3	5,88	D
P2	5,63	E
P1	5,35	F

Tabela 13. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o pH.

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	6,32	A
Seco/frio	5,98	B

Os resultados para o parâmetro pH mostraram que os menores valores foram encontrados no ponto P1, ponto próximo às nascentes do rio Cabeça, e que há tendência de aumento destes valores à medida que se aproxima da foz deste rio (Tabela 10). Os dois pontos no rio Passa Cinco, P6 e P7 foram os que apresentaram os maiores valores para esse parâmetro e apesar do caráter mais ácido das águas do rio Cabeça, estas não foram capazes de influenciar mudanças significativas nas águas do Passa Cinco, pois os pontos P6 e P7 não apresentaram diferenças estatisticamente significativas (Tabela 12). Todos os pontos amostrados no rio Cabeça tiveram pH diferente (Tabela 12), indicando que provavelmente diferentes fatores ambientais, naturais ou antrópicos, estão presentes em cada um destes pontos de amostragem. Apesar do pH ser considerado uma das variáveis ambientais mais

importantes, é uma das mais difícil de ser interpretada devido aos inúmeros fatores que podem influenciá-lo (ESTEVES, 1998).

A Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) estabeleceu que para os corpos hídricos de águas doces, o pH deve estar entre os limites de 6,0 e 9,0. Valores de pH abaixo de 6,0 foram encontrados principalmente no P1, P2 e P3 revelando o caráter ácido das águas deste corpo hídrico. Os valores de pH refletem o poder solvente da água e, dessa forma, indicam suas possíveis reações químicas com rochas e solos. Os valores de pH encontrados neste estudo pode ser resultado de condições naturais representadas pelas feições geológicas e pedológicas da área de estudo que influenciam o pH da águas superficiais da região.

Os maiores valores de pH foram encontrados no período chuvoso/quente em todos os pontos de amostragem, talvez em decorrência da lixiviação e erosão mais intensa dos solos das áreas agrícolas devido a maior pluviosidade justamente na época de preparo do solo, que fica mais exposto sem cobertura vegetal, e recebe aplicação de aditivos agrícolas. Outro fator a ser considerado é a proliferação de algas e cianobactérias, que promove a assimilação de gás carbônico do meio pelo processo fotossintético, diminuindo assim a concentração desse gás na água e elevando o pH (ESTEVES, 1998).

4.1.1.4 Turbidez

Os resultados para a turbidez se encontram na Tabela 14. A Figura 8 apresenta as médias deste parâmetro em cada ponto de amostragem, para os períodos seco/frio e chuvoso/quente. Os resultados da análise da variância fatorial para a variável dependente turbidez se encontram na Tabela 15.

Tabela 14. Variação espaço-temporal da turbidez (UNT) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	8,2	20,4	26,7	24,0	22,7	18,6	21,0
Mai/07	9,3	20,0	26,2	30,8	28,8	18,7	21,8
Jun/07	8,7	15,8	16,9	18,0	14,0	7,6	11,2
Jul/07	10,1	28,1	38,5	31,2	26,2	43,0	39,0
Ago/07	7,7	11,6	13,7	12,9	10,6	6,4	12,2
Set/07	7,0	12,6	14,9	14,4	10,0	5,7	14,1
Out/07	8,6	23,1	26,3	18,7	17,1	11,8	15,2
Nov/07	8,0	19,1	19,6	16,6	14,3	10,2	11,3
Dez/07	57,6	43,5	45,6	79,0	205,3	164,0	269,0
Jan/08	12,0	25,2	28,4	27,4	27,8	30,5	29,7
Fev/08	35,3	66,6	81,9	65,2	52,6	148,7	127,7
Mar/08	15,0	8,3	19,0	18,7	17,6	17,1	16,0
Abr/08	9,3	18,4	28,7	22,7	22,7	13,9	19,0
Mai/08	6,1	10,6	13,6	13,7	12,2	9,6	10,6
Jun/08	6,7	14,7	15,2	11,7	11,1	8,7	8,1
Jul/08	5,7	8,7	10,6	9,0	9,8	4,9	8,1
Ago/08	5,4	8,8	11,2	11,5	11,0	7,1	7,6
Set/08	11,9	16,7	15,6	27,7	33,7	17,7	29,6
Out/08	6,8	8,6	10,2	10,3	8,6	5,2	6,6
Nov/08	5,7	10,9	14,0	21,5	31,6	21,8	29,8
Dez/08	13,7	31,0	37,3	50,2	55,7	45,5	53,9
Jan/09	7,3	16,1	22,3	25,5	22,3	24,2	20,4
Fev/09	9,0	19,1	22,8	27,3	29,4	23,9	27,4
Mar/09	11,4	29,0	30,3	29,0	28,7	22,6	26,3
Média	11,9	20,3	24,6	25,7	30,2	28,6	34,8
Desvio Padrão	11,4	13,1	15,4	17,1	39,3	40,9	55,6

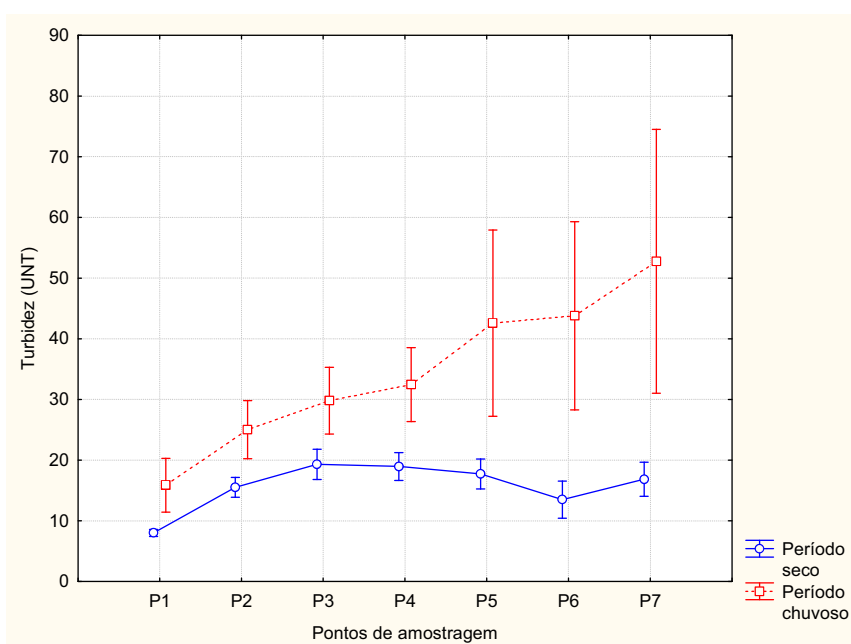


Figura 8. Médias do parâmetro turbidez (UNT) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Tabela 15. Análise de variância para a turbidez (UNT) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Turbidez	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	15027,4	15027,4	15,9890	0,000099
Pontos de amostragem	6	7910,2	1318,4	1,4027	0,216945
Período*Pontos amostragem	6	4590,5	765,1	0,8140	0,560533
Erro (Resíduo)	154	144738,1	939,9		

As análises estatísticas indicaram que o fator pontos de amostragem, ao nível de 5% de significância, não apresentou diferenças significativas ($p > 0,05$), ao contrário do fator período de estudo que foi submetido ao teste de Tukey (Tabela 16).

Tabela 16. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando a turbidez (UNT).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	34,62	A
Seco/frio	15,71	B

Os maiores valores de turbidez encontrados no período chuvoso/quente foram devido ao escoamento superficial mais intenso, decorrente da maior pluviosidade, introduzindo assim, maior quantidade de sedimentos nos corpos hídricos. O limite estabelecido para este parâmetro pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) para rios de classe 2 é de 100 UNT sendo que em dezembro de 2007 nos pontos P5, P6 e P7 e em fevereiro de 2008 nos pontos P6 e P7 foram as únicas ocasiões nas quais os valores foram superiores ao limite estabelecido pela legislação vigente. Valores altos de turbidez, além de afetar a produtividade aquática devido à redução da fotossíntese, afetam adversamente os usos domésticos, industriais e recreacionais da água.

4.1.1.5 Cor aparente

Os resultados para a cor aparente se encontram na Tabela 17 e a Figura 9 apresenta as médias deste parâmetro nos períodos seco/frio e chuvoso/quente, nos diferentes pontos de amostragem. Os resultados da análise da variância fatorial para a variável dependente cor aparente são apresentados na Tabela 18.

Tabela 17. Variação espaço-temporal da cor aparente (mg PtCo.L^{-1}) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	84,3	156,3	191,3	204,0	199,7	142,3	165,0
Mai/07	70,3	135,0	171,7	201,7	190,7	119,0	142,7
Jun/07	63,0	102,7	118,3	137,7	110,3	66,0	95,3
Jul/07	65,3	154,7	213,3	193,7	166,0	232,7	221,0
Ago/07	67,7	90,0	112,7	116,7	97,0	64,0	91,0
Set/07	79,0	110,3	130,0	143,3	128,0	74,3	123,3
Out/07	104,0	183,3	225,7	195,0	181,0	137,3	181,3
Nov/07	80,3	140,0	152,0	166,0	137,3	97,3	115,0
Dez/07	338,7	251,3	299,0	475,7	1320,0	1093,3	1616,7
Jan/08	110,0	182,3	221,7	227,0	234,0	207,7	217,3
Fev/08	235,0	376,0	506,0	383,0	303,0	786,7	606,7
Mar/08	128,7	87,0	183,3	193,7	180,3	141,7	152,3
Abr/08	74,3	136,7	224,0	205,0	206,7	126,7	175,3
Mai/08	51,3	83,7	115,3	129,3	125,7	95,3	108,7
Jun/08	48,7	87,3	103,3	96,7	93,0	71,3	78,7
Jul/08	41,7	56,0	74,0	72,0	78,3	34,3	61,0
Ago/08	57,3	77,7	94,7	105,0	130,7	120,0	140,3
Set/08	90,0	141,0	156,7	264,3	315,7	173,7	266,7
Out/08	81,7	91,7	106,7	116,3	99,0	64,0	75,7
Nov/08	64,7	95,7	128,7	194,3	248,0	166,7	217,7
Dez/08	103,3	218,0	293,3	362,0	397,3	268,7	366,0
Jan/09	78,0	126,0	160,0	176,0	156,0	126,0	122,0
Fev/09	92,1	154,1	193,7	223,7	233,4	162,3	199,0
Mar/09	132,7	239,3	279,7	270,0	266,7	186,3	213,7
Média	97,59	144,84	185,63	202,17	233,24	198,23	239,68
Desvio Padrão	64,5	71,3	93,0	95,6	244,8	239,8	314,8

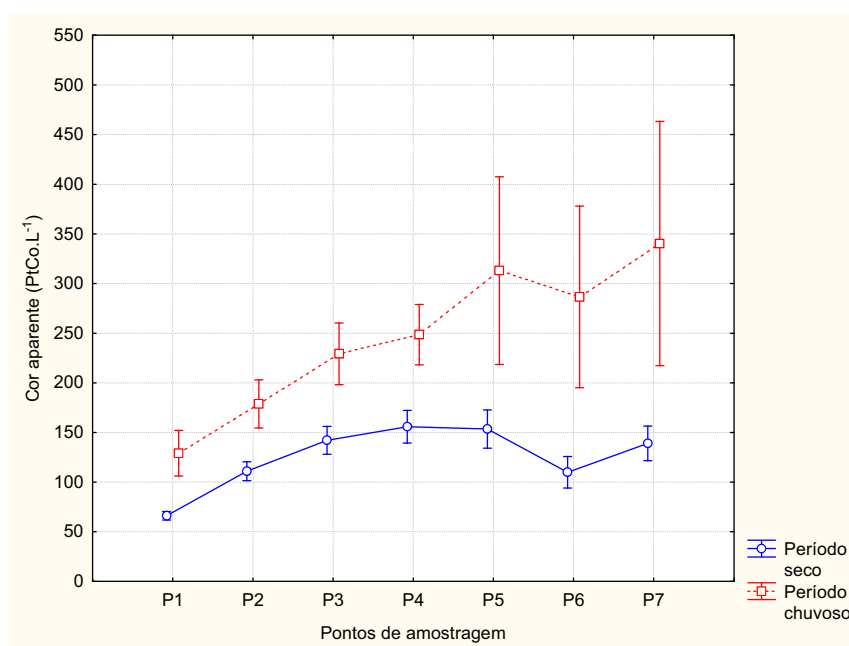


Figura 9. Médias do parâmetro cor aparente (mg PtCo.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Tabela 18. Análise de variância para a cor aparente (mg PtCo.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Cor aparente	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	616181	616181	19,4852	0,000019
Pontos de amostragem	6	360865	60144	1,9019	0,083851
Período*Pontos amostragem	6	114859	19143	0,6054	0,725754
Erro (Resíduo)	154	4869939	31623		

Somente o fator período de estudo apresentou diferenças estatisticamente significativas, ao nível de 5% de significância, sendo realizado o Teste de Tukey para este fator (Tabela 19). Para os pontos de amostragem não se verificou esta diferença.

Tabela 19. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando a cor aparente (mg PtCo.L^{-1}).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	246,47	A
Seco/frio	125,35	B

Da mesma forma que a variável turbidez, médias maiores para a cor aparente foram observadas para o período chuvoso/quente, no qual o escoamento superficial é mais intenso conforme relatado anteriormente. Em ambos os períodos, seco/frio e chuvoso/quente, as águas do rio Cabeça ao desaguar no rio Passa Cinco contribuíram para aumento dos valores da cor aparente fato que pode ser verificado analisando os valores obtidos nos pontos P6 e P7 (Tabela 17). Este aumento, entretanto, não foi suficiente para estes pontos apresentarem diferenças estatisticamente significativas. Os maiores valores de cor aparente foram encontrados em dezembro de 2007, neste mês o P7 apresentou o maior valor dentre todo o período de estudo ($1616,7 \text{ mg PtCo.L}^{-1}$), seguido do mês fevereiro de 2008. Em ambos os meses, observaram-se grandes quantidades de chuvas que antecederam os dias das coletas fator que influenciou os valores deste parâmetro e também os da turbidez.

4.1.1.6 Condutividade elétrica

A Tabela 20 apresenta os valores encontrados da condutividade elétrica nos pontos de amostragem, durante o período de estudo. As médias da condutividade elétrica em cada ponto de amostragem considerando os períodos seco/frio e chuvoso/quente são apresentadas na Figura 10.

Tabela 20. Variação espaço-temporal da condutividade elétrica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	22,3	28,3	34,0	37,7	43,0	63,3	54,3
Mai/07	18,7	25,0	31,3	33,7	38,0	59,7	48,0
Jun/07	19,3	23,7	28,0	32,7	36,7	58,3	50,0
Jul/07	22,3	27,0	33,0	34,7	38,3	57,3	52,7
Ago/07	20,3	24,7	29,0	33,3	39,0	63,3	52,7
Set/07	21,3	23,0	27,0	30,7	35,7	57,7	49,3
Out/07	27,0	27,7	35,0	40,0	44,3	71,7	59,0
Nov/07	21,7	26,7	32,0	37,3	41,7	63,0	54,0
Dez/07	22,3	26,0	32,7	34,3	45,7	53,3	52,7
Jan/08	21,3	28,7	35,3	39,0	43,0	78,3	65,7
Fev/08	20,3	27,7	32,7	40,3	45,7	49,7	49,7
Mar/08	20,7	29,3	34,0	38,3	43,0	70,0	60,7
Abr/08	19,7	27,7	34,0	38,3	41,0	64,3	53,3
Mai/08	18,3	25,3	30,0	34,3	37,7	61,7	53,0
Jun/08	18,7	24,0	28,0	33,0	37,0	61,0	51,0
Jul/08	19,3	21,7	25,7	29,0	32,7	55,3	47,3
Ago/08	21,7	23,0	26,7	32,7	36,7	60,0	50,7
Set/08	21,0	24,7	29,0	35,7	38,0	59,0	50,0
Out/08	20,7	22,7	25,7	31,0	35,0	51,0	45,7
Nov/08	20,0	23,7	28,7	32,0	36,0	56,0	47,0
Dez/08	22,7	31,0	40,7	41,7	42,0	75,0	58,7
Jan/09	25,0	31,7	38,0	47,0	54,7	327,3	216,7
Fev/09	23,1	31,3	38,0	44,7	54,3	131,7	100,0
Mar/09	24,0	33,7	40,0	46,7	54,7	108,0	87,0
Média	21,3	26,6	32,0	36,6	41,4	77,3	62,9
Desvio Padrão	2,1	3,2	4,4	4,9	6,1	56,3	35,1

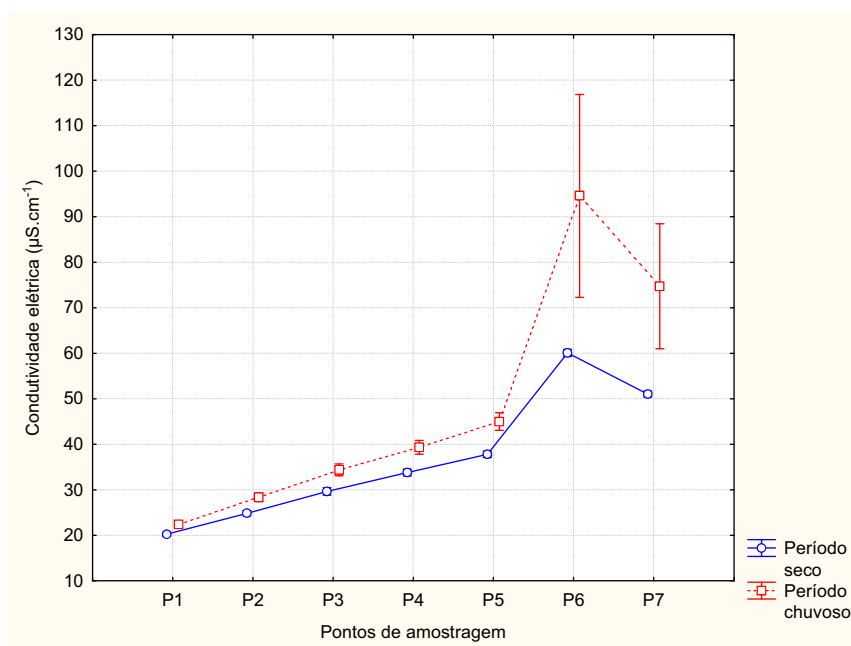


Figura 10. Médias do parâmetro condutividade elétrica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

A análise de variância fatorial para a variável dependente condutividade elétrica é apresentada na Tabela 21, sendo verificado que ambos os fatores estudados, pontos de amostragem e período de estudo, apresentaram diferenças estatisticamente significativas a 5% de significância.

Tabela 21. Análise de variância para a condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Condutividade elétrica	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	5677,1	5677,1	9,4935	0,002443
Pontos de amostragem	6	59422,6	9903,8	16,5616	0,000000
Período*Pontos amostragem	6	5575,0	929,2	1,5538	0,164349
Erro (Resíduo)	154	92091,3	598,0		

Os resultados do Teste de Tukey para ambos os fatores são apresentados nas Tabelas 22 e 23.

Tabela 22. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando a condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$).

Pontos de amostragem	Média	Grupo de Tukey
P6	77,33	A
P7	62,88	A
P5	41,41	B
P4	39,59	B
P3	32,02	B
P2	26,60	B
P1	21,32	B

Tabela 23. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando a condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	48,41	A
Seco/frio	36,78	B

Os pontos de amostragem localizados no rio Cabeça não foram diferentes estatisticamente entre si (grupo de Tukey B) da mesma forma que P6 não diferiu de P7 (grupo de Tukey A), ambos no Passa Cinco (Tabela 22). Pode-se verificar, entretanto, que P7 apresentou valores menores do que P6, muito provavelmente devido à diluição provocada pelas águas do rio Cabeça ao desaguar neste outro rio. Destaca-se que o aumento significativo apresentado por estes dois últimos pontos nos meses de janeiro a março de 2009, pode ser resultante de um possível lançamento de efluentes. No período chuvoso/quente foi

observada maior média para condutividade elétrica decorrente do carreamento de íons, juntamente com o escoamento superficial. Os resultados encontrados neste estudo foram semelhantes àqueles anotados por Cetra (2003) cujos valores de condutividade elétrica variaram de 17 a 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para as águas do rio Cabeça.

4.1.1.7 Sólidos totais dissolvidos (STD)

Os resultados para o parâmetro STD se encontram na Tabela 24 e as médias referentes a cada período, seco/frio e chuvoso/quente, são apresentadas na Figura 11.

Tabela 24. Variação espaço-temporal de sólidos totais dissolvidos (mg.L^{-1}) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	14,7	18,3	22,0	24,3	28,0	41,0	36,0
Mai/07	12,0	17,0	22,0	20,3	25,3	39,0	31,7
Jun/07	13,0	15,7	17,7	21,0	23,7	38,3	32,7
Jul/07	14,3	17,3	21,7	22,0	25,0	35,7	34,0
Ago/07	13,7	16,3	19,0	22,0	25,3	41,0	34,3
Set/07	14,0	15,0	17,7	20,0	23,7	37,3	32,0
Out/07	18,0	18,3	23,0	26,0	29,0	47,0	38,0
Nov/07	13,7	17,3	21,0	24,3	27,0	41,0	35,0
Dez/07	14,7	17,0	21,0	21,3	30,0	34,3	35,0
Jan/08	14,0	18,3	23,0	25,0	28,0	51,0	42,7
Fev/08	13,0	18,0	21,0	26,3	30,0	32,0	32,7
Mar/08	13,3	19,0	22,0	25,0	28,0	45,0	39,0
Abr/08	12,7	18,0	22,0	25,0	26,7	41,7	34,3
Mai/08	12,0	17,0	19,0	22,0	24,7	39,7	34,3
Jun/08	12,0	15,7	18,0	21,7	24,0	39,7	33,0
Jul/08	12,3	14,0	17,0	19,0	21,0	36,0	31,0
Ago/08	14,3	15,0	17,0	21,0	24,0	39,0	32,7
Set/08	14,0	16,0	19,0	23,0	24,7	38,0	33,0
Out/08	13,7	14,7	17,0	20,0	22,7	33,7	29,7
Nov/08	13,0	15,0	18,7	21,0	23,7	37,0	31,0
Dez/08	14,7	20,7	26,7	26,7	27,7	49,0	38,0
Jan/09	16,7	20,0	25,0	30,0	35,0	213,0	141,0
Fev/09	17,0	23,0	26,0	31,0	35,3	84,7	65,3
Mar/09	16,0	22,0	26,0	30,0	35,7	70,0	56,7
Média	14,0	17,4	20,9	23,7	27,0	50,2	41,0
Desvio Padrão	1,6	2,3	3,0	3,4	4,0	36,6	22,8

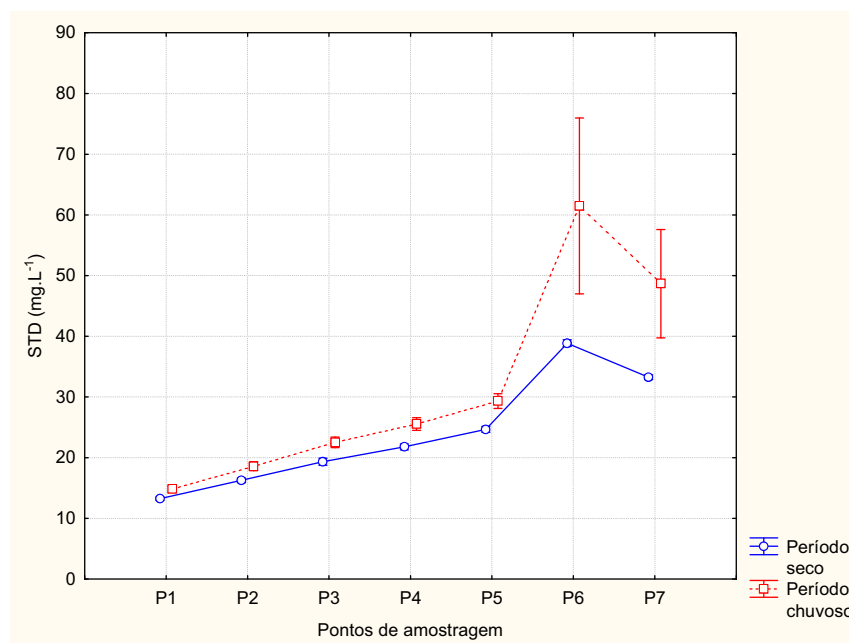


Figura 11. Médias do parâmetro sólidos totais dissolvidos (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Os resultados da análise da variância fatorial para a variável dependente STD são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25. Análise de variância para sólidos totais dissolvidos (mg.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

STD	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	2459,5	2459,5	9,7160	0,002180
Pontos de amostragem	6	24848,2	4141,4	16,3601	0,000000
Período*Pontos amostragem	6	2359,6	393,3	1,5536	0,164417
Erro (Resíduo)	154	38983,2	253,1		

O fator pontos de amostragem apresentou diferenças estatisticamente significativas quanto aos valores de STD da mesma forma que o fator período de estudo, ambos analisados a 5% de significância. Os resultados do teste de Tukey para estes fatores são apresentados nas Tabelas 26 e 27.

Tabela 26. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando sólidos totais dissolvidos (mg.L⁻¹).

Pontos de amostragem	Média	Grupo de Tukey
P6	50,17	A
P7	40,96	A
P5	27,00	B
P4	23,66	B
P3	20,94	B
P2	17,44	B
P1	14,03	B

Tabela 27. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando sólidos totais dissolvidos (mg.L⁻¹).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	31,57	A
Seco/frio	23,92	B

O comportamento dos valores de STD encontrados nos pontos de amostragens foi semelhante ao observado para condutividade elétrica, ou seja, não houve diferença estatisticamente significativa quanto aos pontos de amostragem no rio Cabeça, porém estes valores diferiram daqueles encontrados nos dois pontos do rio Passa Cinco. Apesar do ponto P7 apresentar menores médias do que P6 nos dois períodos estudados, devido provavelmente à diluição provocada pelo recebimento das águas do rio Cabeça, esses não diferiram entre si (mesmo Grupo de Tukey). Foi verificado um aumento significativo entre os meses de janeiro a março de 2009 nos pontos P6 e P7, conforme o verificado para os resultados de condutividade elétrica, reforçando uma possível descarga de efluentes neste corpo hídrico. Nenhum valor encontrado para este parâmetro foi superior aquele estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), que estabeleceu um limite máximo de 500 mg.L⁻¹ para corpos hídricos de classe 2.

4.1.1.8 Oxigênio dissolvido (OD)

Os resultados para o parâmetro OD se encontram na Tabela 28 e as médias referentes para cada período, seco/frio e chuvoso/quente, são apresentadas na Figura 12.

Tabela 28. Variação espaço-temporal de OD (mg.L^{-1}) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	8,87	9,59	9,55	9,28	10,07	9,94	9,96
Mai/07	9,40	10,07	10,10	10,24	10,80	10,65	11,06
Jun/07	9,73	11,05	10,95	10,40	11,42	11,24	10,86
Jul/07	8,41	9,03	9,22	8,86	9,74	9,48	9,42
Ago/07	8,73	9,62	9,43	8,82	9,73	9,65	9,79
Set/07	8,06	8,19	8,03	8,07	8,69	8,67	8,65
Out/07	7,54	8,13	8,09	7,37	8,18	8,12	8,10
Nov/07	7,37	7,95	7,88	7,22	8,28	8,07	8,08
Dez/07	7,37	7,91	7,49	7,26	8,18	8,13	8,04
Jan/08	7,37	7,76	7,72	7,62	7,76	7,77	7,74
Fev/08	7,20	7,56	7,38	7,50	7,91	7,88	7,93
Mar/08	8,44	8,55	8,35	7,79	8,77	8,81	8,54
Abr/08	8,34	8,78	8,49	8,20	8,91	8,97	8,97
Mai/08	8,48	9,01	8,60	8,76	8,93	8,94	9,06
Jun/08	8,77	8,99	9,08	8,75	9,19	9,27	9,13
Jul/08	9,14	9,19	9,25	8,93	9,18	9,36	9,10
Ago/08	8,88	9,10	9,04	8,56	8,93	9,11	9,21
Set/08	7,65	7,87	7,80	7,86	7,95	8,11	7,98
Out/08	7,55	7,61	7,61	7,11	7,46	7,70	7,49
Nov/08	7,36	7,95	7,65	7,18	7,56	7,54	7,73
Dez/08	7,41	7,05	6,76	6,78	7,27	7,00	7,26
Jan/09	6,59	6,75	6,67	6,73	7,12	7,18	7,25
Fev/09	6,97	7,13	6,93	6,77	7,25	7,10	7,21
Mar/09	5,94	6,29	5,96	6,02	6,84	6,06	6,35
Média	7,98	8,38	8,25	8,00	8,59	8,53	8,54
Desvio Padrão	0,9	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2

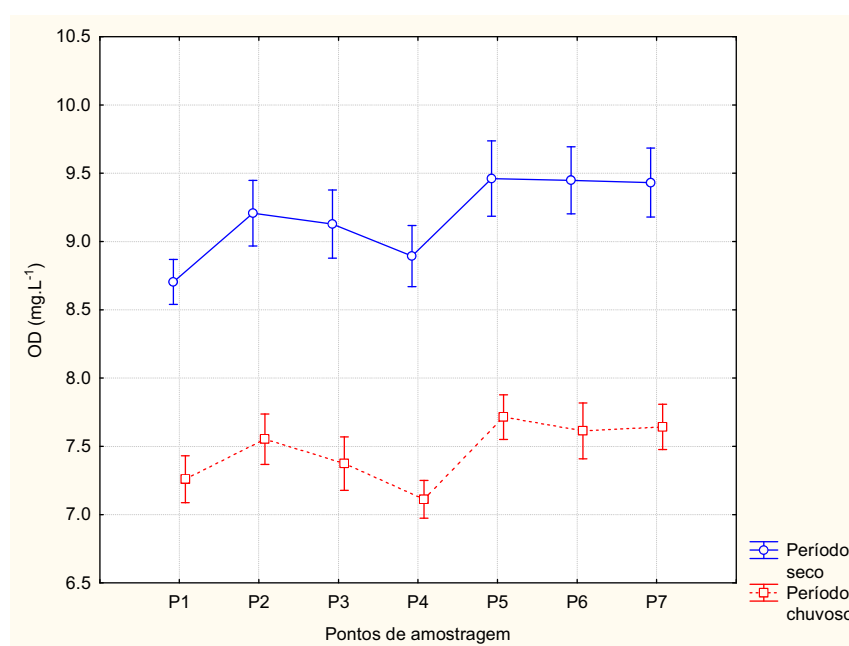


Figura 12. Médias do parâmetro OD (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso.

A Tabela 29 apresenta os resultados da análise da variância fatorial para a variável dependente OD.

Tabela 29. Análise de variância para OD (mg.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

OD	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	123,58	123,58	234,58	0,000000
Pontos de amostragem	6	9,28	1,55	2,94	0,096690
Período*Pontos amostragem	6	0,62	0,10	0,20	0,977551
Erro (Resíduo)	154	81,13	0,53		

Para o parâmetro OD, somente o fator período de estudo apresentou diferenças estatisticamente significativas analisado a 5% de significância. A Tabela 30 apresenta os resultados do Teste de Tukey para este fator. Entre os pontos de amostragem não foi verificada esta diferença.

Tabela 30. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o OD (mg.L^{-1}).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Seco/frio	9,18	A
Chuvoso/quente	7,47	B

A Tabela 30 mostra que o período seco/frio apresentou maior média para o parâmetro OD. Isso é explicado pelas temperaturas mais amenas nesta estação que contribuiu para a maior solubilidade desse gás na água. Os resultados para o OD corroboram com aqueles encontrados no estudo realizado por Cetra (2003) que indicou oxigênio em abundância ao redor de $9,0 \text{ mg.L}^{-1}$ nas águas do rio Cabeça sendo que os valores aqui observados foram próximos a estes principalmente no período seco/frio. O Decreto Estadual 8468/1976 (SÃO PAULO, 1976) e a Resolução 357/2005 (BRASIL, 2005) fixaram o valor mínimo de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de oxigênio dissolvido para corpos hídricos de classe 2 e nenhum valor deste parâmetro esteve abaixo do limite, sendo $5,94$ e $5,96 \text{ mg.L}^{-1}$ os menores valores encontrados no mês de março de 2009 nos pontos P1 e P3 respectivamente. O rio Cabeça é um corpo hídrico que apresenta cachoeiras, quedas e corredeiras conforme foi destacado por Conceição e Bonotto (2002) e observado em visitas de campo. Estas características são responsáveis pelo turbilhonamento das águas em alguns trechos permitindo a oxigenação mecânica, sendo este um dos fatores que explicam os valores de OD observados.

4.1.1.9 Amônia

Os resultados observados nos pontos de amostragem para o parâmetro amônia se encontram na Tabela 31. A Figura 13 apresenta as médias deste parâmetro nos pontos de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente. Os resultados da análise da variância fatorial para a variável dependente amônia se encontram na Tabela 32.

Tabela 31. Variação espaço-temporal de amônia (mg.L^{-1}) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	0,06	0,14	0,14	0,15	0,14	0,10	0,10
Mai/07	0,10	0,12	0,14	0,16	0,17	0,11	0,13
Jun/07	0,06	0,06	0,08	0,09	0,07	0,05	0,06
Jul/07	0,09	0,10	0,14	0,13	0,12	0,14	0,14
Ago/07	0,05	0,07	0,08	0,11	0,07	0,08	0,08
Set/07	0,14	0,02	0,04	0,09	0,08	0,01	0,03
Out/07	0,14	0,16	0,19	0,23	0,22	0,13	0,19
Nov/07	0,05	0,06	0,08	0,13	0,10	0,11	0,12
Dez/07	0,25	0,15	0,19	0,35	0,43	0,24	0,30
Jan/08	0,11	0,10	0,11	0,17	0,12	0,11	0,13
Fev/08	0,17	0,23	0,30	0,26	0,24	0,32	0,26
Mar/08	0,27	0,08	0,14	0,17	0,16	0,11	0,15
Abr/08	0,10	0,13	0,18	0,22	0,23	0,15	0,19
Mai/08	0,07	0,09	0,08	0,11	0,09	0,06	0,08
Jun/08	0,05	0,07	0,05	0,07	0,06	0,08	0,05
Jul/08	0,05	0,05	0,05	0,07	0,06	0,06	0,05
Ago/08	0,08	0,08	0,07	0,10	0,11	0,08	0,11
Set/08	0,13	0,13	0,27	0,26	0,28	0,18	0,22
Out/08	0,09	0,07	0,07	0,07	0,14	0,09	0,10
Nov/08	0,10	0,11	0,12	0,21	0,24	0,21	0,27
Dez/08	0,15	0,22	0,24	0,28	0,27	0,23	0,29
Jan/09	0,12	0,17	0,20	0,26	0,24	0,17	0,21
Fev/09	0,13	0,15	0,17	0,21	0,22	0,17	0,21
Mar/09	0,18	0,20	0,22	0,22	0,22	0,13	0,20
Média	0,11	0,12	0,14	0,17	0,17	0,13	0,15
Desvio Padrão	0,06	0,05	0,07	0,08	0,09	0,07	0,08

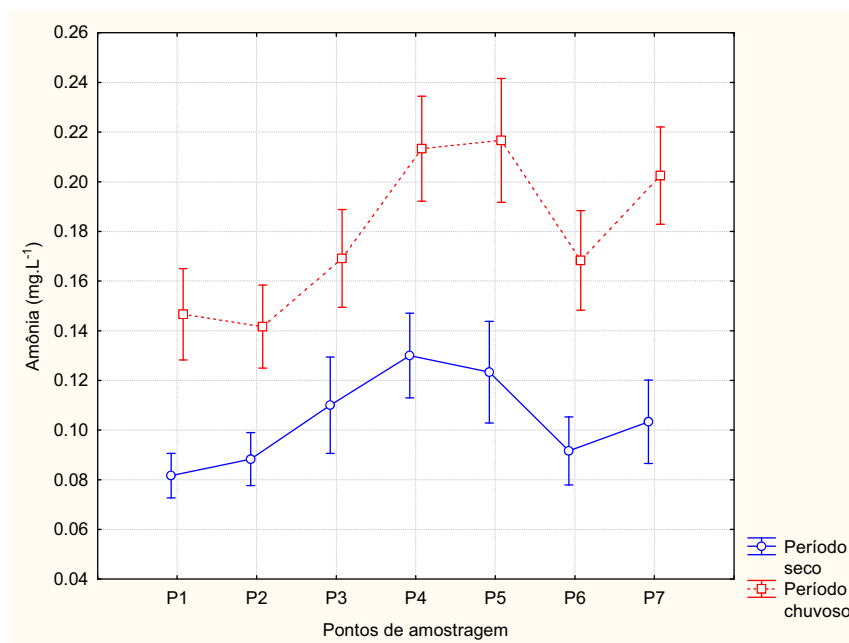


Figura 13. Médias do parâmetro amônia (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Tabela 32. Análise de variância para amônia (mg.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Amônia	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	0,240771	0,240771	60,9565	0,000000
Pontos de amostragem	6	0,082482	0,013747	3,4804	0,002965
Período*Pontos amostragem	6	0,010854	0,001809	0,4580	0,838459
Erro (Resíduo)	154	0,608283	0,003950		

O fator pontos de amostragem demonstrou diferença estatisticamente significativa a 5% de significância (Tabela 32), sendo apresentados os resultados do Teste de Tukey para este fator na Tabela 33.

Tabela 33. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando a amônia (mg.L^{-1}).

Pontos de amostragem	Média	Grupo de Tukey
P4	0,17	A
P5	0,17	A
P7	0,15	A B
P3	0,14	A B
P6	0,13	A B
P2	0,12	B
P1	0,11	B

Ao mesmo nível de 5% de significância, o período de estudo apresentou diferenças estatísticas entre si. A Tabela 34 traz os resultados do Teste de Tukey para este fator.

Tabela 34. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando a amônia (mg.L^{-1}).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	0,18	A
Seco/frio	0,10	B

Os maiores valores de amônia ocorreram nos pontos P4 e P5. Estes pontos diferiram estatisticamente dos pontos P1 e P2. O período seco/frio apresentou uma variação de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ (P6) a $0,23 \text{ mg.L}^{-1}$ (P5) enquanto que no período chuvoso/quente a variação foi de $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ (P1) a $0,43 \text{ mg.L}^{-1}$ (P5). Os valores de amônia encontrados nos pontos de amostragem foram inferiores àquele limite permitido pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), que estabeleceu um limite máximo de $3,7 \text{ mg.L}^{-1}$, para $\text{pH} \leq 7,5$. Mesmo sendo mais restritivo do que a legislação federal, com valor máximo fixado de amônia em $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$, o Decreto Estadual 8468/1976 (SÃO PAULO, 1976) não foi desrespeitado. A amônia representa a forma primária do nitrogênio logo após a degradação dos compostos nitrogenados, componentes das proteínas e aminoácidos, sendo oxidada a nitrito e, posteriormente, a nitrato. Dessa forma a sua presença permite identificar fontes orgânicas poluidoras recentes. Os maiores valores observados nos P4 e P5 podem indicar fontes orgânicas poluidoras próximas a tais pontos.

Vale destacar o estudo de Hirata (2006) que realizou uma abordagem ecológica da nitrificação no rio Passa Cinco e a partir dos valores das frações de nitrogênio inorgânico concluiu que este rio apresenta uma boa atividade nitrificante, uma vez que as concentrações de amônia encontram-se mais baixas do que as concentrações de nitrato. Neste estudo, os valores de amônia também foram inferiores aos valores de nitrato, concordando com esse autor.

4.1.1.10 Nitrato

Os resultados das determinações dos valores do parâmetro nitrato se encontram na Tabela 35. A Figura 14 apresenta as médias dos valores de nitrato para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Tabela 35. Variação espaço-temporal de nitrato (mg.L^{-1}) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	0,5	0,3	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4
Mai/07	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4
Jun/07	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Jul/07	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Ago/07	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
Set/07	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
Out/07	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Nov/07	0,2	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,3
Dez/07	0,3	0,1	0,2	0,6	1,0	0,2	0,5
Jan/08	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4
Fev/08	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
Mar/08	0,4	0,2	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
Abr/08	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5
Mai/08	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4
Jun/08	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Jul/08	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Ago/08	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3
Set/08	0,3	0,3	0,3	0,5	0,7	0,4	0,5
Out/08	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,3	0,3
Nov/08	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,3	0,5
Dez/08	0,3	0,3	0,5	0,5	0,6	0,9	0,6
Jan/09	0,3	0,3	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5
Fev/09	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,5	0,5
Mar/09	0,3	0,4	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6
Média	0,28	0,29	0,36	0,41	0,48	0,38	0,42
Desvio Padrão	0,08	0,07	0,10	0,09	0,16	0,14	0,09

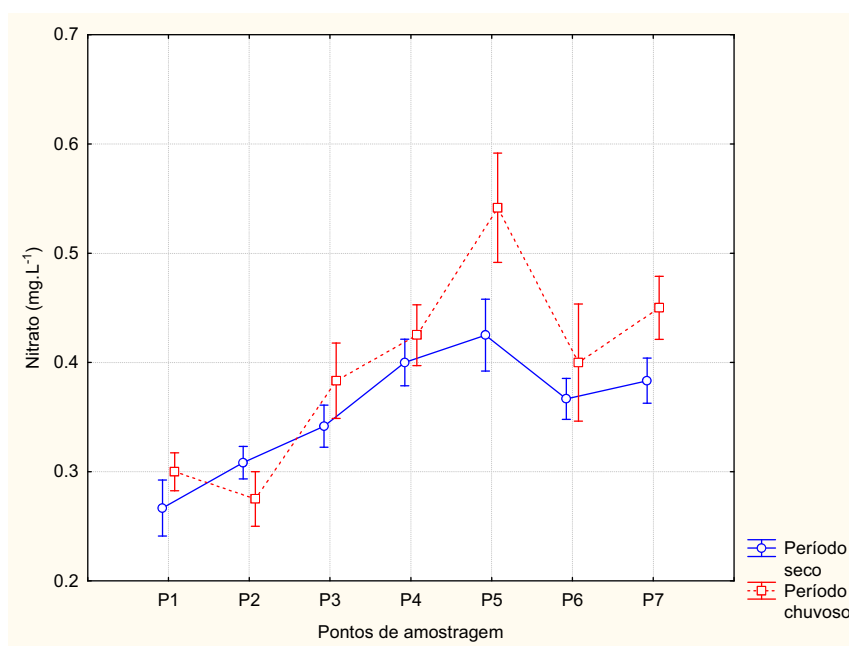


Figura 14. Médias do parâmetro nitrato (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Os resultados da análise da variância fatorial para a variável dependente nitrato são apresentados na Tabela 36.

Tabela 36. Análise de variância para nitrato (mg.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Nitrato	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	0,06881	0,06881	6,339	0,012833
Pontos de amostragem	6	0,73060	0,12177	11,218	0,000000
Período*Pontos amostragem	6	0,07369	0,01228	1,131	0,346652
Erro (Resíduo)	154	1,67167	0,01085		

Ao nível de 5% de significância, o fator pontos de amostragem apresentou diferenças estatisticamente significativas. Os resultados do Teste de Tukey com as comparações múltiplas para este fator são apresentados na Tabela 37.

Para o fator período seco/frio foi verificada diferença estatisticamente significativa em relação aos valores encontrados no período chuvoso/quente. A Tabela 38 apresenta os resultados para o Teste de Tukey.

Tabela 37. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o nitrato (mg.L^{-1}).

Pontos de amostragem	Média	Grupo de Tukey		
P5	0,48	A		
P7	0,42	A	B	
P4	0,41	A	B	
P6	0,38		B	
P3	0,36		B	C
P2	0,29			C
P1	0,28			C

Tabela 38. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o nitrato (mg.L^{-1}).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	0,40	A
Seco/frio	0,36	B

O nitrato é a forma mais comum de nitrogênio combinado encontrada nas águas naturais. Fontes naturais de nitrato nas águas superficiais incluem rochas ígneas, drenagem de solos e resíduos de animais e plantas. Níveis naturais, entretanto, raramente excedem $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$ mas podem ser aumentadas por águas residuais industriais e domésticas e deflúvio de áreas agrícolas (RODRÍGUEZ, 2001).

O maior valor, $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (P5) e o menor $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$ (P1) para nitrato foram encontrados no mesmo mês, ou seja, em dezembro de 2007. Os pontos P1 e P2 apresentaram as menores médias quando comparadas àquelas obtidas nos demais pontos, nos dois períodos estudados. Já no P5 foram observadas as maiores médias diferindo estatisticamente dos pontos P1, P2, P3 e P6. Vale destacar que P1 e P2 se caracterizam pela presença de pastagem e o P3 pastagem e cultura de cana-de-açúcar ao contrário de P5 cuja área adjacente é predominantemente a cultura canavieira. Da mesma forma, o P4, P6 e P7 possuem as mesmas características de P5 quanto ao uso das terras adjacentes, diferindo de P1 e P2. Isso indica que a cultura da cana-de-açúcar pode estar influenciando este parâmetro devido à aplicação de fertilizantes. Os períodos seco/frio e chuvoso/quente também diferiram entre si apesar das médias serem próximas para ambos (Tabela 38), indicando que as altas pluviosidades podem contribuir para introdução de nitrato nas águas dos corpos hídricos estudados. O Decreto Estadual 8468/1976 (SÃO PAULO, 1976) e a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) estipularam valor máximo de nitrato em $10,0 \text{ mg.L}^{-1}$ para rios de classe 2. Os valores encontrados não ultrapassaram este limite.

4.1.1.11 Nitrogênio total

Os resultados das determinações dos valores do parâmetro nitrogênio total se encontram na Tabela 39. As médias destes resultados para os períodos seco/frio e chuvoso/quente são apresentadas na Figura 15 para cada ponto de amostragem.

Tabela 39. Variação espaço-temporal de nitrogênio total (mg.L^{-1}) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	0,70	0,56	0,56	0,70	0,56	0,70	0,56
Mai/07	0,56	0,56	0,56	0,56	0,70	0,56	0,56
Jun/07	0,98	0,56	0,56	0,56	0,70	0,56	0,56
Jul/07	0,42	0,56	0,56	0,56	0,56	0,70	0,70
Ago/07	0,70	0,56	0,56	0,70	0,42	0,56	0,42
Set/07	0,56	0,42	0,56	0,70	0,56	0,56	0,56
Out/07	0,56	0,56	0,70	0,70	0,70	0,56	0,70
Nov/07	0,56	0,70	0,42	0,70	0,56	0,56	0,56
Dez/07	0,70	0,84	0,70	1,12	1,54	1,26	1,26
Jan/08	0,56	0,70	0,70	0,56	0,56	0,42	0,56
Fev/08	0,70	0,70	1,12	0,98	0,84	1,12	0,98
Mar/08	0,70	0,70	0,84	0,70	0,84	0,70	0,70
Abr/08	0,56	0,56	0,70	0,84	0,98	0,70	0,70
Mai/08	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,42	0,56
Jun/08	0,56	0,56	0,56	0,42	0,56	0,56	0,56
Jul/08	0,42	0,42	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
Ago/08	0,56	0,42	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
Set/08	0,56	0,56	0,70	0,84	1,12	0,70	0,84
Out/08	0,42	0,56	0,56	0,56	0,70	0,56	0,56
Nov/08	0,70	0,56	0,42	0,56	0,84	0,56	0,84
Dez/08	0,56	0,70	0,84	0,98	0,98	1,26	0,98
Jan/09	0,56	0,70	0,84	0,84	0,98	0,70	0,84
Fev/09	0,56	0,56	0,70	0,70	0,98	0,70	0,84
Mar/09	0,70	0,70	0,98	0,84	0,84	0,70	0,84
Média	0,60	0,60	0,66	0,70	0,76	0,68	0,70
Desvio Padrão	0,12	0,10	0,17	0,17	0,25	0,22	0,19

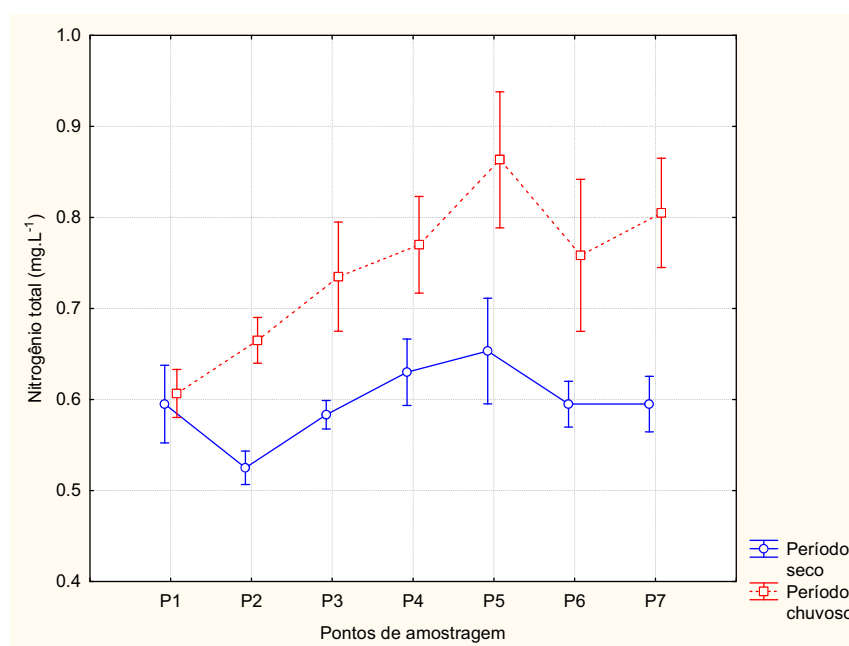


Figura 15. Médias do parâmetro nitrogênio total (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

A análise de variância fatorial para a variável dependente nitrogênio total é apresentada na Tabela 40.

Tabela 40. Análise de variância para nitrogênio total (mg.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Nitrogênio total	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	0,90347	0,90347	32,365	0,000000
Pontos de amostragem	6	0,48417	0,08069	2,891	0,010677
Período*Pontos amostragem	6	0,15983	0,02664	0,954	0,458292
Erro (Resíduo)	154	4,29893	0,02792		

Ambos os fatores analisados, pontos de amostragem e período de estudo, apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Os resultados do Teste de Tukey para cada fator são apresentados nas Tabelas 41 e 42.

Tabela 41. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o nitrogênio total (mg.L^{-1}).

Pontos de amostragem	Média	Grupo de Tukey	
P5	0,76	A	
P4	0,70	A	B
P7	0,70	A	B
P6	0,68	A	B
P3	0,66	A	B
P1	0,60		B
P2	0,60		B

Tabela 42. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o nitrogênio total (mg.L^{-1}).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	0,74	A
Seco/frio	0,60	B

O nitrogênio, sendo fator limitante, é importante do ponto de vista sanitário, já que ao ser incrementado em qualquer água, traz aumento da proliferação de microrganismos. Estes por sua vez, podem aumentar a demanda bioquímica de oxigênio do sistema.

O ponto P5 apresentou as maiores médias para ambos os períodos estudados e estes valores foram estatisticamente diferentes daqueles obtidos nos pontos P1 e P2. As maiores médias deste parâmetro encontradas no período chuvoso/quente podem estar relacionadas com o escoamento superficial mais intenso característico desse período. Em dezembro de 2007 observou-se aumento nos valores de nitrogênio total para os pontos amostrados decorrentes provavelmente das fortes chuvas que antecederam esta coleta. Merece ser

destacado que o ponto P1 apresentou médias próximas para os dois períodos, seco/frio e chuvoso/quente.

4.1.1.12 Fósforo total

Os valores do parâmetro fósforo total se encontram na Tabela 43 e a Figura 16 apresenta as médias deste parâmetro nos pontos de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente. Os resultados da análise de variância fatorial para a variável dependente fósforo total são apresentados na Tabela 44.

Tabela 43. Variação espaço-temporal de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	10,67	44,85	68,35	43,43	39,05	109,72	89,80
Mai/07	31,54	42,33	44,60	91,80	43,29	35,07	40,55
Jun/07	6,37	16,64	16,09	15,46	11,52	4,07	7,98
Jul/07	13,08	46,10	54,52	36,92	30,68	65,01	55,04
Ago/07	3,89	10,96	16,65	9,90	8,96	7,62	13,16
Set/07	9,46	23,90	26,85	32,83	23,35	17,72	32,83
Out/07	18,44	46,51	54,52	36,76	38,82	38,36	43,64
Nov/07	10,93	25,27	28,19	22,33	25,14	18,37	18,52
Dez/07	51,52	64,84	63,28	100,96	234,19	222,37	304,79
Jan/08	16,95	43,98	50,15	47,92	47,27	70,93	47,81
Fev/08	39,53	100,36	120,43	93,59	69,26	207,50	185,16
Mar/08	27,99	7,81	24,56	23,20	20,16	30,33	23,22
Abr/08	14,65	28,05	41,58	38,48	39,59	29,53	33,30
Mai/08	5,82	16,12	20,85	14,38	25,80	16,13	29,54
Jun/08	12,63	17,99	17,10	13,75	13,94	11,76	12,41
Jul/08	11,47	19,81	27,99	24,44	24,13	34,68	32,43
Ago/08	12,98	16,72	29,87	24,66	26,16	31,68	35,42
Set/08	17,79	64,03	48,18	100,48	105,99	48,89	84,17
Out/08	13,04	23,87	34,05	35,17	57,50	32,13	44,14
Nov/08	13,44	43,70	32,58	51,33	61,43	60,36	73,46
Dez/08	20,55	78,42	73,10	178,65	131,55	91,44	98,27
Jan/09	27,30	47,22	50,52	51,27	59,52	71,28	91,41
Fev/09	37,91	52,76	68,91	62,90	85,89	64,96	82,97
Mar/09	25,24	48,61	54,57	64,01	75,52	82,55	92,13
Média	18,88	38,78	44,48	50,61	54,11	58,44	65,51
Desvio Padrão	11,85	22,85	23,86	38,96	48,98	55,64	64,46

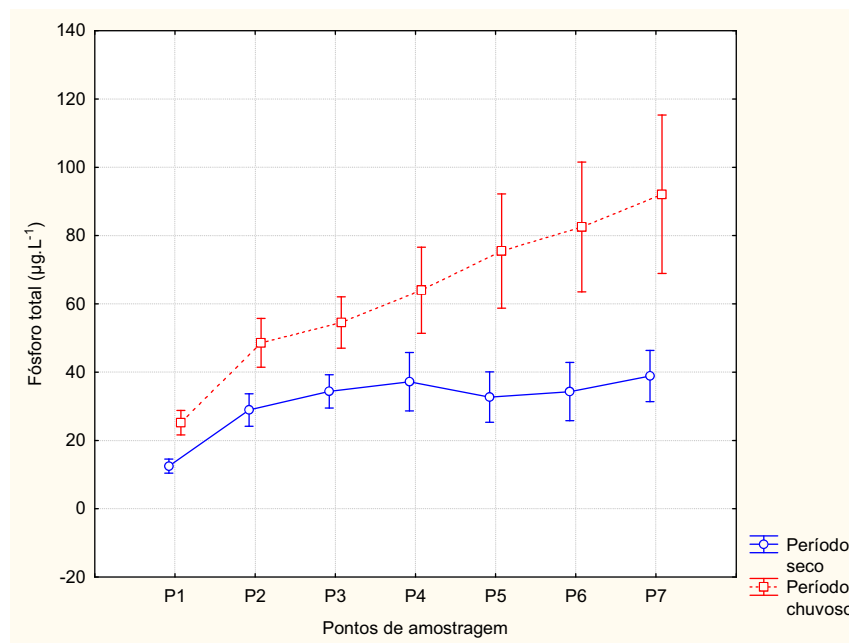


Figura 16. Médias do parâmetro fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Tabela 44. Análise de variância para fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Fósforo total	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	42864,7	42864,7	28,3045	0,000000
Pontos de amostragem	6	33619,7	5603,3	3,7000	0,001832
Período*Pontos amostragem	6	9136,3	1522,7	1,0055	0,423864
Erro (Resíduo)	154	233219,5	1514,4		

A análise estatística indica que houve diferença significativa para o fator pontos de amostragem a 5% de significância. Os resultados do Teste de Tukey para este fator são apresentados na Tabela 45, permitindo dessa forma a comparação múltipla entre os pontos de amostragem.

Tabela 45. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

Pontos de amostragem	Média	Grupo de Tukey
P7	65,51	A
P6	58,43	A
P5	54,11	A
P4	50,61	A B
P3	44,48	A B
P2	38,79	A B
P1	18,88	B

Da mesma forma, o fator período de estudo diferiu estatisticamente sendo que o Teste de Tukey para este fator é apresentado na Tabela 46.

Tabela 46. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso, considerando o fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	63,23	A
Seco/frio	31,26	B

A Resolução do CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) 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. Valores acima deste estabelecido pela Resolução foram observados no P6 ($109,72 \mu\text{g.L}^{-1}$) em abril de 2007; no P4 ($100,96 \mu\text{g.L}^{-1}$), P5 ($234,19 \mu\text{g.L}^{-1}$), P6 ($222,37 \mu\text{g.L}^{-1}$) e P7 ($304,79 \mu\text{g.L}^{-1}$) em dezembro de 2007; no P2 ($100,36 \mu\text{g.L}^{-1}$), P3 ($120,43 \mu\text{g.L}^{-1}$), P6 ($207,50 \mu\text{g.L}^{-1}$) e P7 ($185,16 \mu\text{g.L}^{-1}$) em fevereiro de 2008; no P4 ($100,48 \mu\text{g.L}^{-1}$) e P5 ($105,99 \mu\text{g.L}^{-1}$) em setembro de 2008 e no P4 ($178,65 \mu\text{g.L}^{-1}$) e P5 ($131,55 \mu\text{g.L}^{-1}$) em dezembro de 2008. Deve ser lembrado que nos meses de dezembro de 2007 e fevereiro de 2008 foram registradas fortes chuvas nos dias anteriores as coletas favorecendo o aporte de fósforo para os leitos dos rios estudados.

A comparação múltipla dos pontos de amostragem revelou que o ponto P1 diferiu estatisticamente de P5, P6 e P7. Os pontos sob influência da cultura canavieira, P4, P5, P6 e P7 apresentaram médias maiores no período chuvoso/quente comparados àqueles pontos sob influência de pastagem. Já no período seco/frio a diferenças entre as médias nos pontos de amostragem foram menores (Figura 16). A análise do fator período de estudo, demonstrou que o período chuvoso/quente apresentou média aproximadamente duas vezes maior que a média encontrada no período seco/frio para este parâmetro (Tabela 46). Segundo Tauk-Tornisielo e Palma-Silva (2008) a utilização sem orientação adequada de fertilizantes e corretivos, aplicados em doses excessivas àquelas realmente adequadas na cultura de cana-de-açúcar, atividade esta predominante na bacia do Corumbataí, contribui para que estes elementos sejam arrastados para os corpos de águas superficiais, principalmente no período de chuvas. Este fato poderia explicar os resultados obtidos quanto a maior incidência de fósforo nas águas dos rios aqui estudados, Cabeça e Passa Cinco, no período chuvoso/quente.

4.1.1.13 Sólidos suspensos totais

Os valores para o parâmetro sólidos suspensos totais se encontram na Tabela 47. A Figura 17 mostra as médias deste parâmetro para os períodos seco/frio e chuvoso/quente nos pontos de amostragem.

Tabela 47. Variação espaço-temporal de sólidos suspensos totais (mg.L⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	4,0	17,3	22,0	16,3	13,3	13,8	14,0
Mai/07	7,0	15,8	19,0	15,0	15,3	8,8	11,3
Jun/07	6,0	5,5	9,0	13,5	12,5	16,5	9,5
Jul/07	2,5	25,0	45,0	14,0	10,5	25,5	25,5
Ago/07	6,5	9,5	11,0	10,0	7,0	8,0	8,0
Set/07	5,5	11,5	8,5	6,0	4,5	2,0	11,5
Out/07	6,0	25,0	27,0	14,0	11,0	8,5	8,5
Nov/07	5,0	17,5	16,0	11,0	9,5	7,5	8,0
Dez/07	27,0	42,0	36,0	47,0	116,0	110,0	191,5
Jan/08	8,5	22,0	20,5	16,5	16,5	25,0	22,0
Fev/08	21,5	52,5	62,0	50,5	35,0	117,0	108,0
Mar/08	13,6	31,8	32,3	27,8	37,6	53,6	67,6
Abr/08	5,0	15,5	23,0	15,0	13,5	9,5	12,0
Mai/08	6,0	9,0	9,5	6,5	6,0	8,5	5,5
Jun/08	2,5	11,5	11,5	5,0	5,0	7,5	4,5
Jul/08	4,5	8,0	5,5	3,5	3,0	1,0	3,0
Ago/08	3,5	6,5	7,0	5,0	4,5	4,5	3,5
Set/08	13,0	15,0	12,5	18,0	20,0	12,0	19,5
Out/08	4,0	6,5	6,5	5,5	5,0	2,5	2,0
Nov/08	5,0	9,0	10,5	11,0	14,0	15,0	17,0
Dez/08	7,5	30,0	24,0	31,5	34,5	26,5	31,5
Jan/09	6,5	15,0	14,5	12,5	11,0	12,5	14,5
Fev/09	10,2	17,1	15,6	18,7	20,9	14,8	17,9
Mar/09	12,3	22,7	22,0	20,8	25,8	18,4	20,0
Média	8,04	18,38	19,60	16,44	18,83	22,03	26,51
Desvio Padrão	5,89	11,62	13,46	12,11	22,96	30,25	42,08

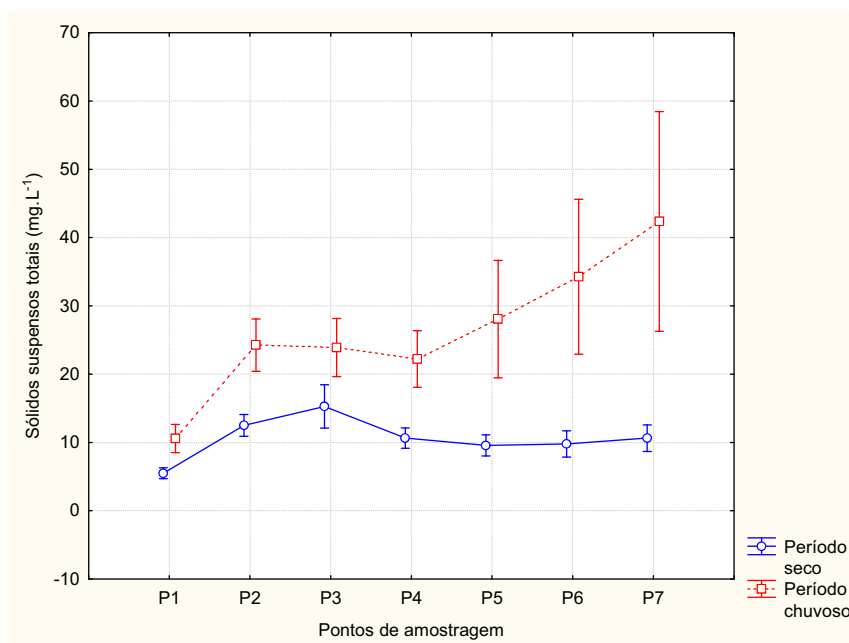


Figura 17. Médias do parâmetro sólidos suspensos totais (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Os resultados da análise de variância fatorial para a variável dependente sólidos suspensos totais se encontram na Tabela 48.

Tabela 48. Análise de variância para sólidos suspensos totais (mg.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Sólidos suspensos totais	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	10701,50	10701,50	23,0726	0,000004
Pontos de amostragem	6	4596,85	766,14	1,6518	0,136557
Período*Pontos amostragem	6	3219,24	536,54	1,1568	0,332434
Erro (Resíduo)	154	71428,01	463,82		

Ao nível de 5% de significância, o fator período de estudo apresentou diferenças estatísticas significativas, sendo os resultados do Teste de Tukey apresentados na Tabela 49. Para o fator pontos de amostragem não houve diferenças.

Tabela 49. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando os sólidos suspensos totais (mg.L^{-1}).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	26,53	A
Seco/frio	10,57	B

As variações dos valores foram semelhantes para os pontos de amostragem. A maior média desse parâmetro no período chuvoso/quente é decorrente do escoamento superficial mais intenso, devido às quantidades maiores de chuvas. Os maiores valores observados em dezembro de 2007 e fevereiro de 2008 foram decorrentes de fortes chuvas que antecederam as coletas. Para evitar a redução da passagem de luz decorrente do excesso de sólidos totais nas águas e seus efeitos negativos, torna-se necessária medidas mitigadoras, como a preservação ou reposição das matas ciliares ao longo das cavas principais dos rios.

4.1.2 Metais

Dos metais analisados, Cr, Cu e Ni, considerados tóxicos, não foram detectados em nenhuma amostra, provavelmente estando em concentrações menores àquelas possíveis de serem detectadas pelas metodologias utilizadas e sensibilidade do equipamento. O cádmio foi detectado, na ordem de mg.L^{-1} , no mês de julho de 2007: 0,008 (P2); 0,007 (P3), 0,007 (P4), 0,007 (P5), 0,008 (P6) e 0,007 (P7); em agosto de 2007: 0,005 (P2) e 0,004 (P4) e em setembro de 2007: 0,006 (P2), 0,004 (P3), 0,006 (P4), 0,004 (P5), 0,006 (P6) e 0,004 (P7). Já o chumbo foi detectado (mg.L^{-1}) no P1 (0,03), P4 (0,04), P6 (0,03) e P7 (0,05) em maio de 2008; no P2 (0,05), P3 (0,04) e P4 (0,04) em junho de 2008; no P1(0,04), P2 (0,04), P3 (0,03), P6 (0,05) e P7 (0,05) em janeiro de 2008 e no P1(0,03), P2 (0,04), P3 (0,04), P6 (0,03) e P7 (0,03) em março de 2008. Todos estes valores ficaram abaixo do limite máximo estabelecido pelo Decreto Estadual 8468/1976 (SÃO PAULO, 1976) para rios de classe 2 que fixou como padrões os valores de 0,01 mg.L^{-1} para o Cd e 0,1 mg.L^{-1} para o Pb. A Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) é mais restritiva para estes dois metais fixando os limites máximos de 0,001 mg.L^{-1} para o Cd e 0,01 mg.L^{-1} para o Pb. Sendo assim, os valores encontrados para Cd e Pb foram superiores ao limite máximo estabelecido pela legislação federal. Os fertilizantes utilizados na agricultura podem apresentar metais como impurezas sendo que o Cd e Pb detectados nos corpos hídricos analisados podem ser decorrentes da aplicação desse insumo agrícola.

Os metais são considerados como poluentes comuns nas águas e sua origem pode ser natural (ligada à composição de rochas e solos) ou antrópica (provenientes de lançamentos industriais e domésticos ou lixiviação de produtos agrícolas e de resíduos sólidos) (TINTOR, 2008). A seguir são apresentados os resultados para os demais metais estudados: Fe, Al, Zn, Mn, Ca e Mg.

4.1.2.1 Ferro

O ferro (Fe) foi encontrado em todas as amostras analisadas (Tabela 50). A Figura 18 apresenta as médias de Fe para os períodos seco/frio e chuvoso/quente nos pontos de amostragem. Os resultados da análise de variância fatorial para a variável dependente Fe se encontram na Tabela 51.

Tabela 50. Variação espaço-temporal de Fe (mg.L⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	0,74	0,89	1,10	1,15	1,22	0,80	0,96
Mai/07	0,53	0,59	0,80	0,91	0,92	0,58	0,72
Jun/07	0,55	0,54	0,60	0,70	0,62	0,42	0,52
Jul/07	0,57	0,63	0,82	0,83	0,80	0,62	0,74
Ago/07	0,71	0,65	0,72	0,84	0,75	0,46	0,58
Set/07	1,02	0,76	0,86	0,91	0,83	0,49	0,61
Out/07	1,31	0,99	1,11	1,25	1,04	0,74	0,89
Nov/07	0,92	0,84	1,01	1,13	1,08	0,78	0,94
Dez/07	1,31	0,96	1,26	1,54	1,29	0,60	0,76
Jan/08	0,81	0,90	1,22	1,41	1,29	0,86	1,11
Fev/08	0,82	0,92	1,22	1,40	1,40	0,83	0,96
Mar/08	0,83	0,68	1,08	1,18	1,23	0,82	0,96
Abr/08	0,58	0,72	1,11	1,17	1,29	0,65	0,94
Mai/08	0,46	0,53	0,68	0,82	0,86	0,46	0,64
Jun/08	0,53	0,48	0,57	0,68	0,64	0,45	0,52
Jul/08	0,39	0,34	0,41	0,51	0,49	0,33	0,42
Ago/08	0,56	0,47	0,54	0,70	0,66	0,48	0,56
Set/08	0,64	0,69	0,79	1,15	1,31	0,69	1,01
Out/08	0,90	0,64	0,72	0,81	0,73	0,55	0,63
Nov/08	0,73	0,65	0,90	1,19	1,23	0,89	1,03
Dez/08	0,86	1,12	1,34	1,33	1,22	0,95	1,43
Jan/09	1,03	1,20	1,82	1,96	1,81	1,10	1,29
Fev/09	1,09	1,31	1,91	1,93	1,90	1,25	1,46
Mar/09	1,16	1,36	1,80	1,82	1,97	1,17	1,55
Média	0,79	0,79	1,02	1,14	1,11	0,71	0,88
Desvio Padrão	0,26	0,27	0,40	0,40	0,40	0,25	0,32

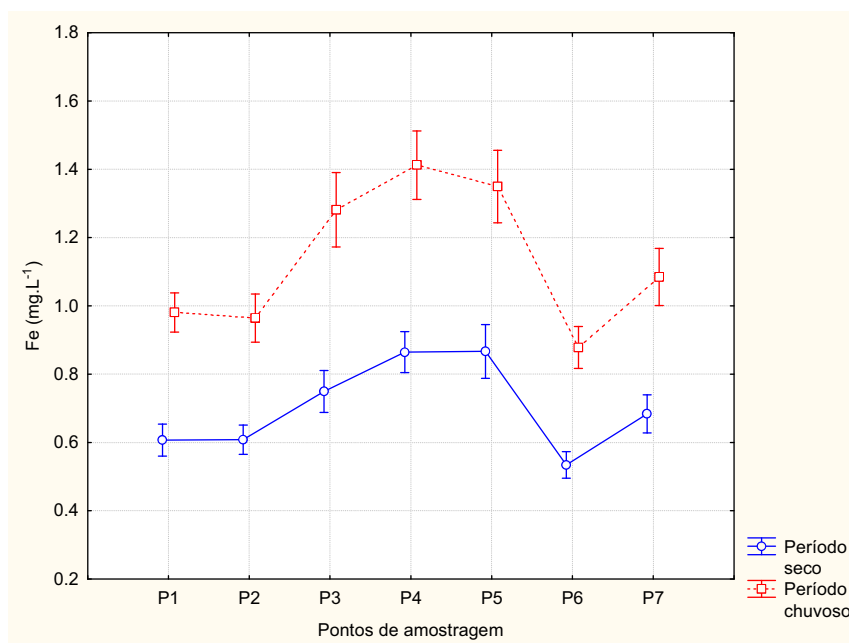


Figura 18. Médias do parâmetro Fe (mg.L⁻¹) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Tabela 51. Análise de variância para Fe (mg.L⁻¹) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Ferro	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	7,9087	7,9087	123,885	0,000000
Pontos de amostragem	6	4,1485	0,6914	10,831	0,000000
Período*Pontos amostragem	6	0,2634	0,0439	0,688	0,659788
Erro (Resíduo)	154	9,8312	0,0638		

Ao nível de 5% de significância, o fator pontos de amostragem apresentou diferenças estatísticas significativas assim como o fator período de estudo. Os resultados do Teste de Tukey para os dois fatores são apresentados nas Tabelas 52 e 53.

Tabela 52. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o Fe (mg.L⁻¹).

Pontos de amostragem	Média	Grupo de Tukey		
P4	1,14	A		
P5	1,11	A		
P3	1,02	A	B	
P7	0,88		B	C
P1	0,79			C
P2	0,79			C
P6	0,71			C

Tabela 53. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o Fe (mg.L⁻¹).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	1,14	A
Seco/frio	0,70	B

O elemento Fe foi identificado em maiores quantidades no período de maior pluviosidade. Segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), o limite máximo permitido para este parâmetro em corpos hídricos de classe 2 é 0,3 mg.L⁻¹. Verificou-se que os valores encontrados foram superiores a este limite. Tauk-Tornisielo et al. (2008) também encontraram valores acima do permitido pela legislação vigente no trecho do rio Corumbataí que vai desde o município de Rio Claro até a foz, quando deságua no rio Piracicaba, sendo que em algumas ocasiões os valores foram próximos a 20 mg.L⁻¹. Tintor (2008) também observou valores acima deste limite em diversos pesque-pague na bacia do rio Corumbataí.

Tintor (2008) e Tauk-Tornisielo et al. (2008) demonstraram a influência do tipo de solo presente na região, latossolo vermelho amarelo e podzólico avermelhado amarelo, ricos em Fe, como sendo um dos fatores responsáveis por altas concentrações deste nos corpos de água superficiais da bacia do rio Corumbataí. Os valores tende a aumentar quando as partículas de solo são carregadas para os corpos hídricos nas épocas chuvosas. O rio Cabeça e Passa Cinco por estarem presentes em áreas com os mesmos tipos de solos, também tem este fator como o principal atuante na concentração de Fe em suas águas.

A Tabela 52 mostra que os pontos de amostragem diferiram entre si. Os pontos P3, P4 e P5 foram semelhantes entre si diferindo dos demais pontos (exceto P3, no rio Cabeça, não diferiu de P7, no rio Passa Cinco) apresentando os maiores valores para este parâmetro. O P6 apresentou as menores médias para os dois períodos mas não diferiu de P7.

4.1.2.2 Alumínio

A Tabela 54 apresenta os valores para o alumínio (Al) nos pontos de amostragem durante o período de estudo. Estes resultados são apresentados na Figura 19 na forma de médias para cada período estudado, seco/frio e chuvoso/quente, nos pontos de amostragem.

Tabela 54. Variação espaço-temporal de Al (mg.L^{-1}) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	0,12	0,19	0,21	0,27	0,33	0,24	0,27
Mai/07	0,21	0,16	0,20	0,25	0,29	0,21	0,22
Jun/07	0,11	0,12	0,13	0,20	0,17	0,09	0,13
Jul/07	0,11	0,20	0,31	0,26	0,23	0,33	0,40
Ago/07	0,06	0,12	0,14	0,15	0,14	0,11	0,11
Set/07	0,07	0,10	0,18	0,16	0,19	0,07	0,11
Out/07	0,06	0,20	0,21	0,38	0,31	0,14	0,32
Nov/07	0,05	0,12	0,15	0,21	0,21	0,08	0,10
Dez/07	1,34	0,39	0,42	1,79	2,19	0,98	1,47
Jan/08	0,11	0,30	0,26	0,48	0,35	0,39	0,53
Fev/08	0,36	0,71	0,78	0,56	0,49	0,89	0,87
Mar/08	0,10	0,20	0,05	0,16	0,17	0,09	0,10
Abr/08	0,03	0,06	0,22	0,11	0,24	0,08	0,14
Mai/08	0,08	0,12	0,11	0,26	0,20	0,16	0,17
Jun/08	0,07	0,13	0,13	0,13	0,15	0,09	0,12
Jul/08	0,06	0,08	0,10	0,19	0,22	0,09	0,20
Ago/08	0,04	0,08	0,09	0,14	0,19	0,08	0,12
Set/08	0,17	0,33	0,36	0,88	1,15	0,42	0,81
Out/08	0,05	0,07	0,10	0,10	0,11	0,06	0,06
Nov/08	0,01	0,14	0,16	0,53	0,81	0,46	0,78
Dez/08	0,18	0,42	0,17	0,39	0,38	0,40	1,19
Jan/09	0,07	0,11	0,18	0,31	0,35	0,28	0,26
Fev/09	0,08	0,20	0,17	0,32	0,40	0,31	0,52
Mar/09	0,09	0,26	0,27	0,28	0,34	0,34	0,33
Média	0,15	0,20	0,21	0,35	0,40	0,27	0,39
Desvio Padrão	0,26	0,15	0,15	0,35	0,44	0,24	0,38

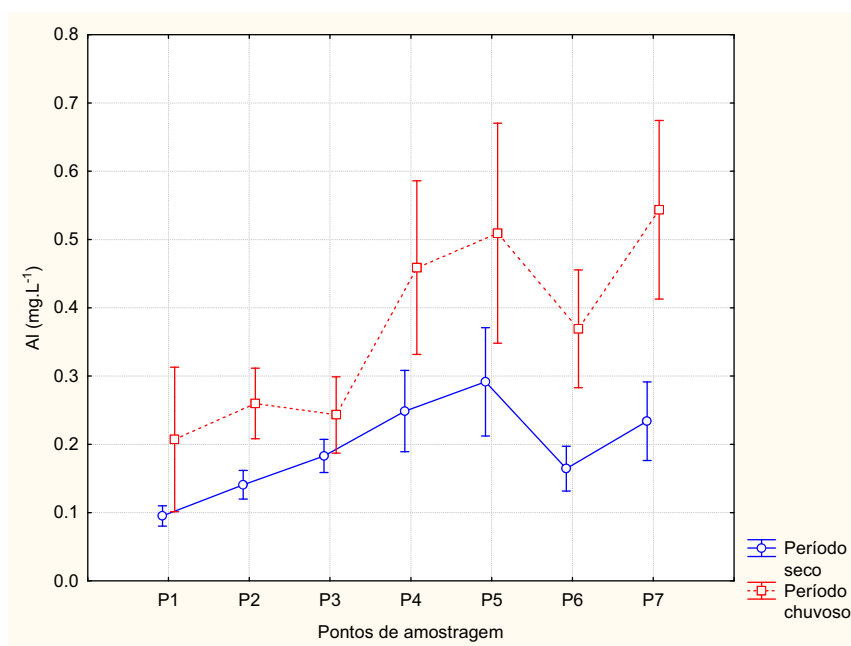


Figura 19. Médias do parâmetro Al (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Os resultados da análise de variância fatorial para a variável dependente Al são apresentados na Tabela 55.

Tabela 55. Análise de variância para Al (mg.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Alumínio	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	1,30434	1,30434	15,3429	0,000134
Pontos de amostragem	6	1,42467	0,23744	2,7930	0,013168
Período*Pontos amostragem	6	0,25414	0,04236	0,4982	0,808972
Erro (Resíduo)	154	13,09201	0,08501		

Ao nível de 5% de significância, o fator pontos de amostragem apresentou diferenças estatísticas significativas da mesma forma que o fator período de estudo. Os resultados do Teste de Tukey para estes dois fatores são apresentados nas Tabelas 56 e 57.

Tabela 56. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o Al (mg.L^{-1}).

Pontos de amostragem	Média	Grupo de Tukey	
P5	0,40	A	
P7	0,39	A	B
P4	0,35	A	B
P6	0,27	A	B
P3	0,21	A	B
P2	0,20	A	B
P1	0,15		B

Tabela 57. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o Al (mg.L^{-1}).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	0,37	A
Seco/frio	0,19	B

A única diferença entre os pontos de amostragem ocorreu entre P5 e P1. O ponto P7 apresentou maiores médias do que o ponto P6 nos dois períodos de estudo, entretanto, estes não diferiram estatisticamente entre si. Os maiores valores para o Al foram encontrados no período chuvoso/quente. Da mesma forma que Fe, o Al tem grande ocorrência natural nos tipos de solos da microbacia estudada sendo carregado em maiores quantidades para os corpos superficiais no período chuvoso. A Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) fixou o limite de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ para os rios de classe 2. O ponto P4 apresentou a maior porcentagem de valores acima do padrão estabelecido, 58,3% das amostras, enquanto que P1 apresentou a

menor porcentagem, 8,3%. Os demais pontos, P2, P3, P5, P6 e P7 apresentaram 25,0%, 25,0%, 50,0%, 41,7% e 50,0% respectivamente, de valores acima daquele estabelecido pela legislação.

Os resultados obtidos por Lima-Júnior (2003), em estudos de qualidade da água no alto, médio e baixo curso do rio Corumbataí, demonstraram valores de Al ao redor de 0,1 mg.L⁻¹ no período seco/frio e 2,8 mg.L⁻¹ no período chuvoso/quente no trecho do baixo curso. Nos trechos do alto e médio cursos, o maior valor de Al observado foi de 1,5 mg.L⁻¹. Tauk-Tornisielo et al. (2008), também analisando este elemento no mesmo rio encontraram que no ponto de amostragem a montante da cidade de Rio Claro os valores não ultrapassaram o limite definido pela legislação vigente, entretanto, em quatro outros pontos após esta cidade até a foz desse rio, a maioria dos valores foi superior ao padrão.

4.1.2.3 Zinco

A Tabela 58 apresenta os valores para o zinco (Zn) nos pontos de amostragem durante o período de estudo. Estes resultados são apresentados na Figura 20 na forma de médias para cada período estudado, seco/frio e chuvoso/quente, nos pontos de amostragem.

Tabela 58. Variação espaço-temporal de Zn (mg.L^{-1}) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	0,051	0,052	0,042	0,048	0,042	0,042	0,040
Mai/07	0,048	0,043	0,043	0,044	0,044	0,064	0,044
Jun/07	0,042	0,040	0,038	0,037	0,038	0,034	0,032
Jul/07	0,039	0,036	0,041	0,038	0,033	0,040	0,033
Ago/07	0,034	0,038	0,035	0,040	0,032	0,033	0,028
Set/07	0,078	0,038	0,038	0,041	0,042	0,038	0,035
Out/07	0,035	0,029	0,029	0,029	0,027	0,026	0,037
Nov/07	0,041	0,037	0,034	0,033	0,031	0,031	0,029
Dez/07	0,073	0,036	0,033	0,034	0,034	0,039	0,059
Jan/08	0,052	0,031	0,034	0,038	0,036	0,035	0,032
Fev/08	0,047	0,042	0,041	0,033	0,032	0,035	0,034
Mar/08	0,047	0,028	0,029	0,030	0,028	0,026	0,029
Abr/08	0,032	0,037	0,032	0,036	0,036	0,029	0,028
Mai/08	0,027	0,021	0,018	0,017	0,017	0,016	0,015
Jun/08	0,038	0,019	0,016	0,018	0,015	0,016	0,017
Jul/08	0,030	0,025	0,017	0,023	0,019	0,020	0,016
Ago/08	0,046	0,047	0,043	0,037	0,044	0,036	0,041
Set/08	0,048	0,040	0,045	0,036	0,045	0,046	0,035
Out/08	0,048	0,033	0,048	0,040	0,038	0,044	0,034
Nov/08	0,032	0,025	0,026	0,029	0,039	0,027	0,034
Dez/08	0,028	0,026	0,018	0,021	0,016	0,015	0,019
Jan/09	0,016	0,017	0,017	0,019	0,013	0,017	0,014
Fev/09	0,021	0,020	0,021	0,013	0,020	0,018	0,011
Mar/09	0,032	0,028	0,020	0,018	0,021	0,021	0,014
Média	0,041	0,033	0,032	0,045	0,031	0,031	0,030
Desvio Padrão	0,014	0,009	0,010	0,069	0,010	0,012	0,011

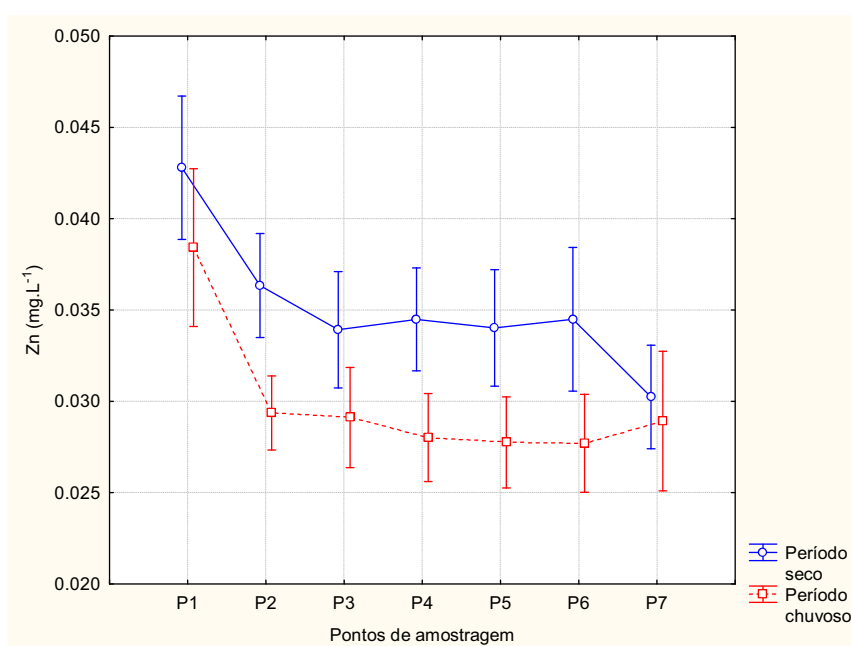


Figura 20. Médias do parâmetro Zn (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Os resultados da análise de variância fatorial para a variável dependente Zn se encontram na Tabela 59.

Tabela 59. Análise de variância para Zn (mg.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Zinco	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	0,001173	0,001173	9,823	0,002064
Pontos de amostragem	6	0,001953	0,000325	2,725	0,015238
Período*Pontos amostragem	6	0,000146	0,000024	0,204	0,975243
Erro (Resíduo)	154	0,018395	0,000119		

Ao nível de 5% de significância, o fator pontos de amostragem diferiu estatisticamente entre si. Os resultados do Teste de Tukey com as comparações múltiplas para este fator são apresentados na Tabela 60. Para o fator período de estudo também foram verificadas diferenças estatisticamente significativas entre o período seco/frio e chuvoso/quente. A Tabela 61 apresenta os resultados para o Teste de Tukey.

Tabela 60. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o Zn (mg.L^{-1}).

Pontos de amostragem	Média	Grupo de Tukey	
P1	0,041	A	
P2	0,033	A	B
P3	0,032	A	B
P4	0,031		B
P6	0,031		B
P5	0,031		B
P7	0,030		B

Tabela 61. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o Zn (mg.L^{-1}).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Seco/frio	0,035	A
Chuvoso/quente	0,030	B

Nenhum valor encontrado para os pontos de amostragem foi superior aquele estabelecido como limite máximo pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) para rios de classe 2, ou seja, $0,18 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo este padrão máximo mais restritivo do que àquele fixado pelo Decreto Estadual 8468/1976 (SÃO PAULO, 1976) que foi de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$. No rio Corumbataí, Lima-Júnior (2003) encontrou valores abaixo do padrão federal em três pontos deste corpo hídrico e Falqueto (2008) também não verificou desrespeito ao limite da

legislação federal analisando o Zn. Mas ao contrário desses autores, Tauk-Tornisielo et al. (2008) verificaram concentrações superiores ao limite padrão, obtendo valores de Zn de até $0,55 \text{ mg.L}^{-1}$, principalmente no distrito de Assistência, jusante ao município de Rio Claro, no SEMAE, localizado no Campo Fino onde se localiza a Estação de Tratamento de Água do município de Piracicaba e na foz do rio Corumbataí, no bairro Santa Terezinha, já na área urbana desse município.

Verifica-se que o ponto P1 apresentou os maiores valores para o Zn nos dois períodos estudados, seco/frio e chuvoso/quente, seguido de P2. P1 diferiu estatisticamente de P4, P5, P6 e P7. Outro aspecto importante é que as médias encontradas nos pontos de amostragem foram maiores no período seco/frio se diferenciando dos outros parâmetros analisados até aqui que geralmente apresentaram maiores valores para o período de maior pluviosidade. Neste caso, a menor vazão decorrente do período seco/frio pode estar influenciando este padrão encontrado para o Zn (Tabela 61 e Figura 20). Outra explicação foi dada por Barreto (1999), que ao estudar a distribuição de metais no rio Monjolinho na bacia do Alto Jacaré-Guaçu (SP), apontou que o Zn presente nas águas superficiais pode ser decorrente das queimadas das plantações de cana-de-açúcar. Este fato pode estar associado as maiores concentrações de zinco principalmente no período seco/frio, devido ao costume das queimadas serem mais constantes nessa época (ZIOLLI, 1995 apud RODRÍGUEZ, 2001).

4.1.2.4 Manganês

A Tabela 62 apresenta os valores para o manganês (Mn) nos pontos de amostragem durante o período de estudo. As médias dos valores de Mn estão apresentadas na Figura 21 para cada período estudado, seco/frio e chuvoso/quente, nos pontos de amostragem.

Tabela 62. Variação espaço-temporal de Mn (mg.L^{-1}) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	0,037	0,048	0,063	0,031	0,023	0,005	0,009
Mai/07	0,041	0,041	0,048	0,031	0,020	0,009	0,011
Jun/07	0,038	0,037	0,045	0,035	0,021	0,008	0,011
Jul/07	0,035	0,042	0,048	0,034	0,023	0,007	0,009
Ago/07	0,034	0,036	0,045	0,056	0,019	0,008	0,010
Set/07	0,027	0,018	0,015	0,007	0,003	0,001	0,001
Out/07	0,078	0,038	0,020	0,043	0,027	0,005	0,004
Nov/07	0,055	0,031	0,031	0,035	0,019	0,006	0,008
Dez/07	0,037	0,026	0,022	0,013	0,007	0,003	0,004
Jan/08	0,165	0,035	0,024	0,026	0,013	0,005	0,005
Fev/08	0,038	0,021	0,028	0,009	0,011	0,004	0,004
Mar/08	0,049	0,045	0,048	0,029	0,015	0,005	0,006
Abr/08	0,043	0,039	0,067	0,029	0,013	0,004	0,004
Mai/08	0,032	0,035	0,051	0,028	0,015	0,005	0,007
Jun/08	0,030	0,029	0,048	0,029	0,012	0,003	0,005
Jul/08	0,030	0,033	0,039	0,026	0,012	0,005	0,006
Ago/08	0,039	0,035	0,046	0,042	0,021	0,008	0,010
Set/08	0,034	0,019	0,015	0,010	0,007	0,004	0,000
Out/08	0,014	0,001	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000
Nov/08	0,033	0,010	0,004	0,004	0,004	0,002	0,003
Dez/08	0,075	0,114	0,119	0,041	0,012	0,005	0,006
Jan/09	0,077	0,068	0,051	0,078	0,042	0,022	0,018
Fev/09	0,065	0,090	0,075	0,077	0,046	0,022	0,020
Mar/09	0,067	0,129	0,127	0,066	0,049	0,020	0,021
Média	0,049	0,043	0,045	0,033	0,018	0,007	0,008
Desvio Padrão	0,030	0,030	0,031	0,021	0,013	0,006	0,006

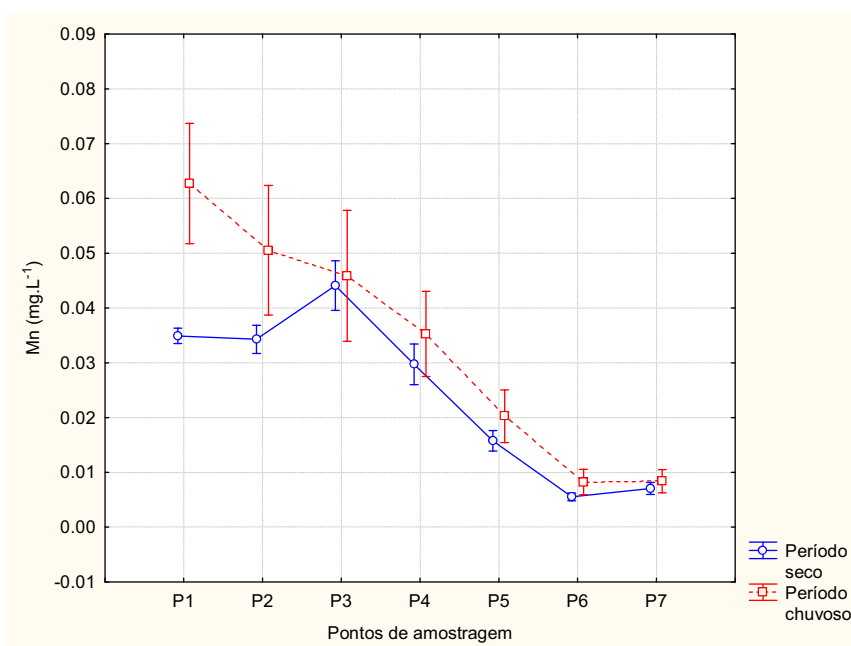


Figura 21. Médias do parâmetro Mn (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Os resultados da análise de variância fatorial para a variável dependente Mn se encontram na Tabela 63.

Tabela 63. Análise de variância para Mn (mg.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Manganês	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	0,003079	0,003079	6,6027	0,011132
Pontos de amostragem	6	0,045668	0,007611	16,3206	0,000000
Período*Pontos amostragem	6	0,003531	0,000589	1,2620	0,278158
Erro (Resíduo)	154	0,071820	0,000466		

Ao nível de 5% de significância, o fator pontos de amostragem apresentou diferenças estatísticas significativas assim como o fator período de estudo. Os resultados do Teste de Tukey para os dois fatores são apresentados nas Tabelas 64 e 65.

Tabela 64. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando a Mn (mg.L^{-1}).

Pontos de amostragem	Média	Grupo de Tukey		
P1	0,049	A		
P3	0,045	A		
P2	0,042	A		
P4	0,032	A	B	
P5	0,018		B	C
P7	0,008			C
P6	0,007			C

Tabela 65. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o Mn (mg.L^{-1}).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	0,334	A
Seco/frio	0,245	B

Segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) o limite máximo de Mn para rios classe 2 é $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$, ou seja, $100 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$. Valores acima deste padrão foram observados somente no P1 ($165 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) no mês de janeiro de 2008; no P2 ($114 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) e P3 ($119 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) em dezembro de 2008; no P5 ($456 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) em fevereiro de 2009 e no P2 ($129 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) e P3 ($127 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) em março de 2009.

No período chuvoso/quente, verificou-se que as médias decresceram do ponto P1 para o ponto P7. Este último e o P6 foram aqueles que apresentaram as médias menores para os dois períodos estudados. No período seco/frio, P3 deteve a maior média. Entre os pontos de amostragem, o teste de Tukey revelou a formação de 4 grupos: P1, P2 e P3 (grupo A), P4

(grupo AB), P5 (grupo BC) e P6 e P7 (grupo C). Para o fator período de estudo, ocorreram diferenças estatisticamente significativas, estas sendo mais influenciadas pelos valores encontrados em P1 e P2 que apresentaram as maiores diferenças para os resultados obtidos em cada período. O Mn está presente em quase todos os solos, principalmente na forma de dióxido de manganês, podendo ser uma fonte natural desse elemento para os corpos hídricos. Este fato é válido para a microbacia do rio Cabeça.

4.1.2.5 Cálcio

A Tabela 66 apresenta os valores para o cálcio (Ca) nos pontos de amostragem durante o período de estudo e a Figura 22 as médias para cada período estudado, seco/frio e chuvoso/chuvoso, nos pontos de amostragem.

Tabela 66. Variação espaço-temporal de Ca (mg.L⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	1,58	2,33	2,63	3,10	3,60	4,11	3,89
Mai/07	1,03	1,73	2,24	2,60	3,18	3,95	3,61
Jun/07	1,19	1,69	2,14	2,51	2,88	3,48	3,34
Jul/07	1,11	1,77	2,36	2,57	2,99	3,38	3,36
Ago/07	1,29	1,76	2,27	2,74	3,15	4,00	3,64
Set/07	1,53	1,67	2,13	2,52	3,11	3,85	3,51
Out/07	1,63	1,97	2,49	2,70	3,05	4,01	3,55
Nov/07	1,35	1,95	2,46	2,93	3,29	3,82	3,69
Dez/07	1,76	1,92	2,38	2,53	2,93	3,48	3,59
Jan/08	1,46	2,31	2,79	3,29	3,48	4,53	4,17
Fev/08	1,27	2,00	2,29	3,21	3,53	3,23	3,42
Mar/08	2,29	1,34	2,75	3,21	3,46	4,19	3,88
Abr/08	1,14	1,98	2,54	3,00	3,14	3,91	3,62
Mai/08	1,15	1,76	2,16	2,60	2,93	3,60	3,41
Jun/08	1,15	1,68	2,13	2,42	2,76	3,71	3,61
Jul/08	0,99	1,55	1,85	2,20	2,58	3,51	3,19
Ago/08	1,25	1,83	2,17	2,61	3,09	3,95	3,49
Set/08	1,21	1,68	1,83	2,06	2,41	3,38	2,95
Out/08	1,36	1,71	2,31	2,57	2,90	3,48	3,38
Nov/08	1,28	1,79	2,23	2,37	2,78	3,47	3,21
Dez/08	1,30	2,18	3,04	2,90	2,83	4,34	3,59
Jan/09	1,63	2,42	3,17	3,77	4,21	11,99	8,57
Fev/09	1,77	2,57	3,19	3,80	4,87	7,84	5,99
Mar/09	1,73	2,58	3,16	3,71	4,44	5,83	5,27
Média	1,33	1,92	2,45	2,83	3,23	4,38	3,91
Desvio Padrão	0,42	0,32	0,39	0,47	0,58	1,89	1,19

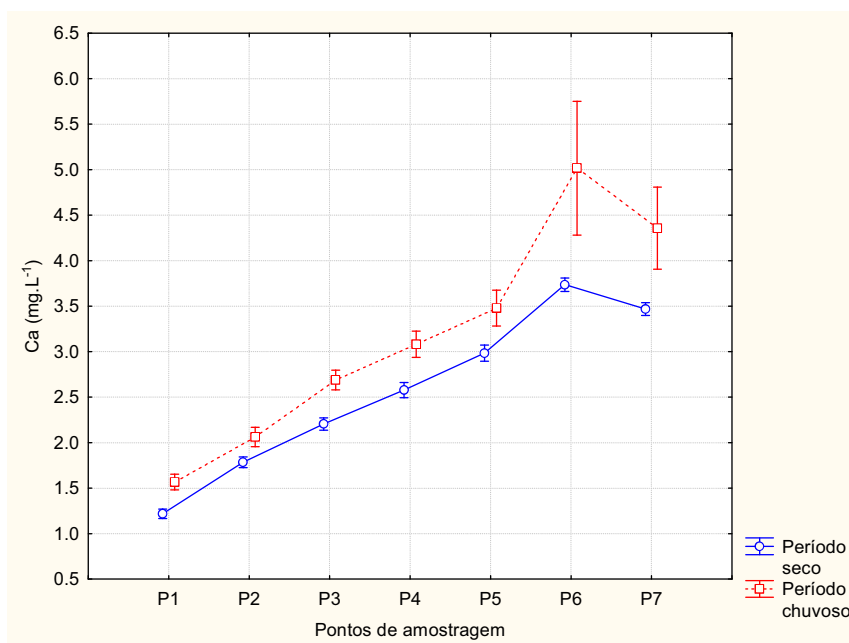


Figura 22. Médias do parâmetro Ca (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Os resultados da análise de variância fatorial para a variável dependente Ca se encontram na Tabela 67.

Tabela 67. Análise de variância para Ca (mg.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Cálcio	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	15,675	15,675	21,003	0,000009
Pontos de amostragem	6	161,934	26,989	36,163	0,000000
Período*Pontos amostragem	6	4,482	0,747	1,001	0,426840
Erro (Resíduo)	154	114,933	0,746		

Ao nível de 5% de significância, o fator pontos de amostragem apresentou diferenças estatisticamente significativas, assim como o fator período de estudo. Os resultados do Teste de Tukey para os dois fatores são apresentados nas Tabelas 68 e 69.

Tabela 68. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o Ca (mg.L^{-1}).

Pontos de amostragem	Média	Grupo de Tukey					
P6	4,38	A					
P7	3,91	A	B				
P5	3,23		B	C			
P4	2,83			C	D		
P3	2,45				D	E	
P2	1,92					E	F
P1	1,39						F

Tabela 69. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o Ca (mg.L^{-1}).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	3,18	A
Seco/frio	2,57	B

O cálcio não tem seus valores fixados pelo Decreto Estadual 8468/1976 (SÃO PAULO, 1976) e Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), mas este elemento foi mensurado devido a sua importância na agricultura, assim como o Mg, e a importância nas cadeias alimentares. Verifica-se que o Ca sofreu acréscimo ao longo do rio Cabeça e os dois pontos no rio Passa Cinco, P6 e P7, apresentaram os maiores valores para esse parâmetro. Destaca-se o aumento de Ca nesses dois pontos no período de janeiro a março de 2009, padrão também observado para a condutividade elétrica e STD nos mesmos pontos e períodos. Além da possibilidade deste aumento de Ca ser decorrente de algum lançamento de efluentes, é preciso considerar o deflúvio superficial agrícola em áreas não pertencentes à área de drenagem da microbacia do rio Cabeça, que podem ter recebido calcário para a correção e adubação. Os pontos de amostragem foram diferentes estatisticamente entre si (Tabela 68). O período chuvoso/quente apresentou as maiores médias encontradas nos pontos de amostragem indicando que a pluviosidade tem papel significativo no arraste deste elemento para os corpos hídricos.

4.1.2.6 Magnésio

A Tabela 70 apresenta os valores para o cálcio (Mg) nos pontos de amostragem durante o período de estudo. Estes resultados são apresentados na Figura 23 na forma de médias para cada período estudado, seco/frio e chuvoso/quente, nos pontos de amostragem.

Tabela 70. Variação espaço-temporal de Mg (mg.L^{-1}) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	0,89	0,97	1,10	1,24	1,56	2,91	2,31
Mai/07	0,69	0,75	0,93	1,04	1,31	2,89	2,13
Jun/07	0,78	0,79	0,88	0,99	1,22	2,60	2,02
Jul/07	0,77	0,84	1,01	1,10	1,34	2,45	2,16
Ago/07	0,84	0,84	0,95	1,12	1,39	2,98	2,31
Set/07	0,94	0,80	0,92	1,01	1,35	2,65	2,01
Out/07	1,07	0,95	1,08	1,18	1,36	3,03	2,21
Nov/07	0,85	0,86	1,00	1,15	1,41	2,72	2,15
Dez/07	0,87	0,85	1,02	1,24	1,67	2,16	2,18
Jan/08	1,48	0,94	1,09	1,29	1,50	3,47	2,81
Fev/08	0,69	0,82	0,95	1,28	1,48	1,96	1,93
Mar/08	0,94	0,82	1,06	1,25	1,46	3,17	2,52
Abr/08	0,75	0,88	1,03	1,26	1,36	2,84	2,23
Mai/08	0,67	0,75	0,86	1,03	1,21	2,66	2,12
Jun/08	0,74	0,74	0,86	0,96	1,13	2,68	2,21
Jul/08	0,81	0,71	0,79	0,89	1,08	2,60	1,96
Ago/08	0,80	0,82	0,91	1,06	1,27	2,73	2,08
Set/08	0,75	0,76	0,83	0,90	1,05	2,60	1,85
Out/08	0,86	0,78	0,90	1,01	1,20	2,12	1,79
Nov/08	0,78	0,80	0,92	0,98	1,21	2,33	1,83
Dez/08	0,82	0,97	1,29	1,30	1,38	3,29	2,34
Jan/09	0,99	1,02	1,28	1,57	1,89	12,58	7,80
Fev/09	1,02	1,11	1,30	1,57	1,98	7,99	5,88
Mar/09	1,07	1,13	1,31	1,56	2,06	5,60	4,13
Média	0,87	0,86	1,01	1,17	1,41	3,46	2,62
Desvio Padrão	0,17	0,11	0,15	0,20	0,26	2,31	1,41

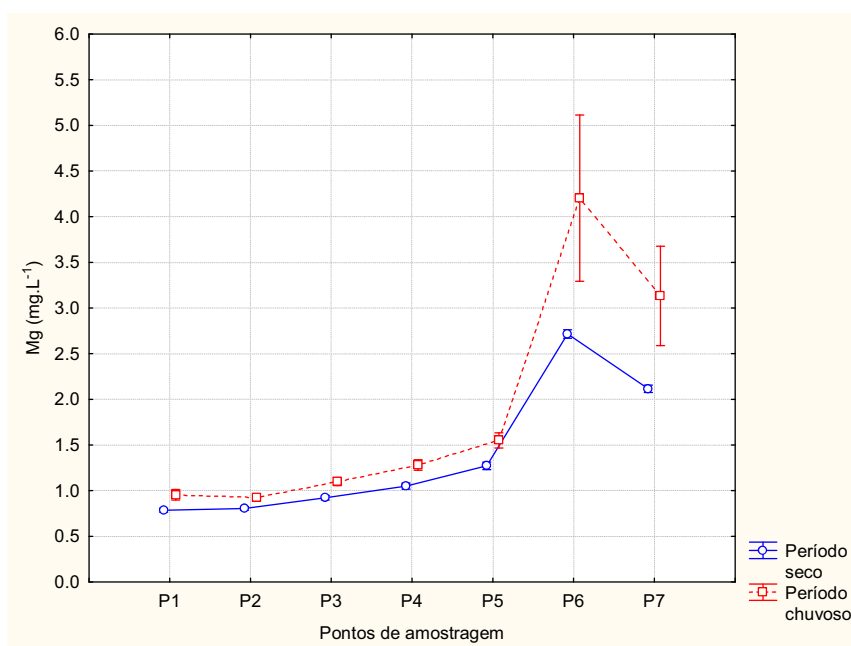


Figura 23. Médias do parâmetro Mg (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Os resultados da análise de variância fatorial para a variável dependente Mg se encontram na Tabela 71.

Tabela 71. Análise de variância para Mg (mg.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Magnésio	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	10,3609	10,3609	10,4996	0,001463
Pontos de amostragem	6	147,5211	24,5868	24,9160	0,000000
Período*Pontos amostragem	6	10,3384	1,7231	1,7461	0,113884
Erro (Resíduo)	154	151,9657	0,9868		

Ao nível de 5% de significância, o fator pontos de amostragem apresentou diferenças estatísticas significativas assim como o fator período de estudo. Os resultados do Teste de Tukey para os dois fatores são apresentados nas Tabelas 72 e 73.

Tabela 72. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando o Mg (mg.L^{-1}).

Pontos de amostragem	Média	Grupo de Tukey
P6	3,46	A
P7	2,62	A
P5	1,41	B
P4	1,17	B
P3	1,01	B
P1	0,87	B
P2	0,86	B

Tabela 73. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando o Mg (mg.L^{-1}).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	1,88	A
Seco/frio	1,38	B

Da mesma forma que o cálcio, o magnésio não teve seus valores fixados pelo Decreto Estadual 8468/1976 (SÃO PAULO, 1976) e pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). Os maiores valores observados foram nos pontos P6 e P7 no rio Passa Cinco. Também foi verificado aumento deste parâmetro nesses pontos no período de janeiro a março de 2009, da mesma forma que ocorreu com os parâmetros condutividade elétrica, STD e Ca. Nenhum ponto amostrado do rio Cabeça diferiu entre si, mas estes foram estatisticamente diferentes dos pontos estabelecidos no rio Passa Cinco. As médias de Mg para os pontos amostrados no rio Cabeça foram muito próximas entre si (Figura 23). Foram verificadas diferenças estatisticamente significativas para os períodos chuvoso/quente e seco/frio, fato que teve

grande contribuição dos maiores valores observados nos pontos do rio Passa Cinco nos últimos três meses de coletas conforme relatado anteriormente.

4.1.3 Parâmetros biológicos

4.1.3.1 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Os valores de DBO encontram-se na Tabela 74. A Figura 24 apresenta as médias deste parâmetro para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, nos pontos de amostragem. A análise de variância para este parâmetro demonstrou que os dois fatores analisados, pontos de amostragem e período de estudo, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, pois em ambos os casos $p > 0,05\%$ (Tabela 75).

Tabela 74. Variação espaço-temporal da DBO (mg.L^{-1}) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	3,6	4,2	4,4	4,7	4,0	3,7	3,5
Mai/07	3,1	2,6	14,5	3,7	3,1	4,2	3,2
Jun/07	7,54	9,4	10,3	8,1	7,6	9,0	9,1
Jul/07	6,8	15,8	8,6	7,9	6,2	8,0	8,3
Ago/07	10,1	12,5	10,5	12,5	11,3	12,0	11,6
Set/07	14,1	11,7	13,7	11,8	13,5	17,3	19,0
Out/07	4,1	3,5	4,3	4,2	6,1	5,1	7,7
Nov/07	7,2	7,6	7,8	7,2	7,7	8,4	10,0
Dez/07	6,7	7,3	6,3	7,9	6,5	8,9	7,3
Jan/08	5,4	6,7	7,2	6,3	7,7	6,3	8,0
Fev/08	7,6	6,8	6,7	7,2	7,4	7,5	8,2
Mar/08	14,8	8,7	7,9	10,6	9,0	8,7	7,8
Abr/08	3,4	3,8	4,3	3,8	3,9	4,7	4,3
Mai/08	8,8	8,8	7,6	3,7	2,1	2,0	3,6
Jun/08	2,2	2,4	1,9	1,5	3,1	2,8	9,3
Jul/08	2,6	3,3	2,7	2,9	3,2	3,0	7,0
Ago/08	2,2	2,7	2,2	3,0	1,8	3,2	3,0
Set/08	7,4	7,7	9,3	9,1	7,2	5,1	5,4
Out/08	9,9	10,0	11,1	11,5	11,2	11,7	9,5
Nov/08	6,9	7,8	8,2	7,9	7,6	7,3	8,5
Dez/08	4,3	4,4	5,2	5,4	4,5	6,6	5,8
Jan/09	4,3	4,3	5,4	5,3	5,2	5,3	3,7
Fev/09	5,2	5,5	6,3	6,2	5,8	6,4	6,0
Mar/09	12,5	12,8	11,3	11,2	14,5	12,9	10,7
Média	6,7	7,1	7,4	6,8	6,7	7,1	7,5
Desvio Padrão	3,6	3,6	3,4	3,1	3,4	3,7	3,5

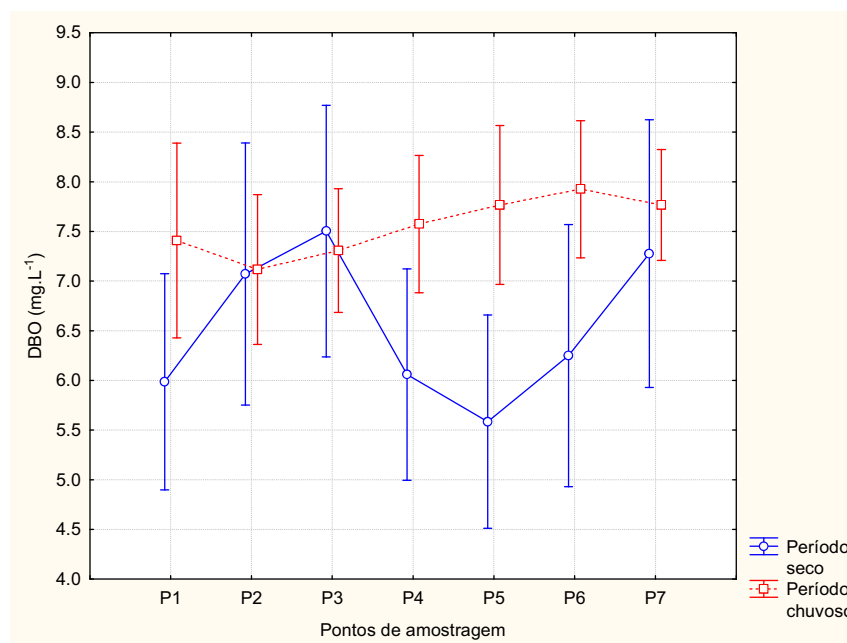


Figura 24. Médias do parâmetro DBO (mg.L^{-1}) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Tabela 75. Análise de variância para a DBO (mg.L^{-1}) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

DBO	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	43,615	43,615	3,5842	0,060206
Pontos de amostragem	6	16,090	2,682	0,2204	0,969773
Período*Pontos amostragem	6	29,356	4,893	0,4021	0,876808
Erro (Resíduo)	154	1873,971	12,169		

O Decreto Estadual 8468/1976 (SÃO PAULO, 1976) e a Resolução do CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) estabeleceram limites e/ou condições para o parâmetro DBO que não deve ultrapassar 5 mg.L^{-1} para os rios de classe 2. Verificou-se que para os pontos P1 e P2, 63% das amostras apresentaram valores superiores a este limite, enquanto que 67%, 67% e 71% das amostras estavam em desacordo com a legislação para os pontos P4, P5 e P6, respectivamente. Os pontos P3 e P7 foram os que apresentaram maior quantidade de valores fora do limite para este parâmetro, sendo 75% das amostras em cada ponto (Figura 25). Dessa forma, estes resultados desenquadram o rio Cabeça e Passa Cinco como sendo de classe 2 podendo estes corpos hídricos serem reenquadrados na classe 3 cujo limite é 10 mg.L^{-1} ou até mesmo classe 4 pois alguns valores ultrapassaram este valor.

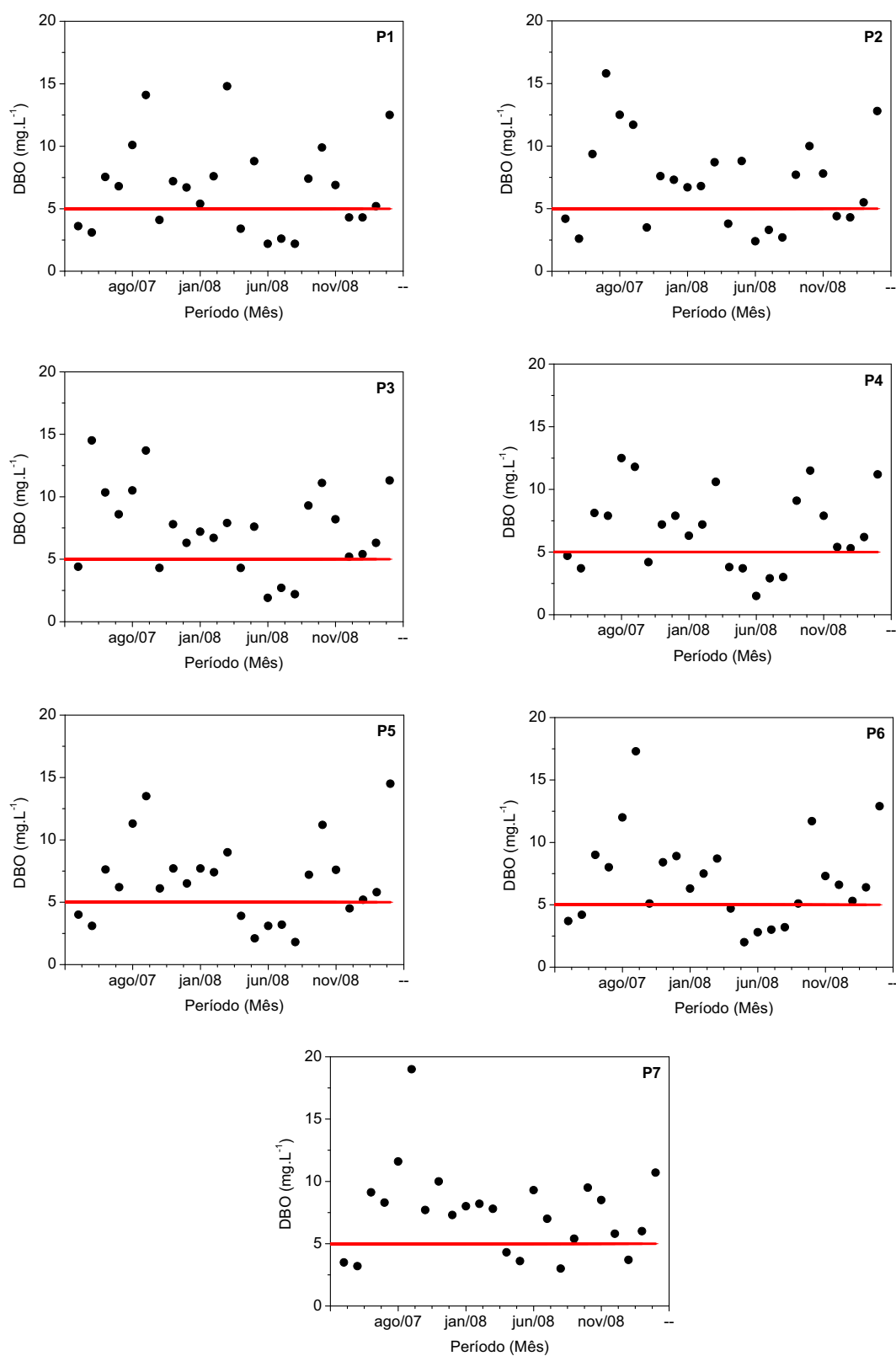


Figura 25. Valores de DBO para os pontos de amostragens durante o período de abril de 2007 a março de 2009. A linha de referência vermelha indica o valor máximo permitido, 5 mg.L⁻¹, segundo o Decreto Estadual 8468/1976 (SÃO PAULO, 1976) e Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

Pelo fato da DBO somente medir a quantidade de oxigênio consumido em um teste padronizado, não indica a presença de matéria não biodegradável, nem leva em consideração o efeito tóxico de materiais sobre a atividade microbiana, portanto, não deve ser tomada como elemento de valor absoluto na determinação da qualidade e, menos ainda, da potabilidade da água (CETESB, 2002).

4.1.3.2 Coliformes totais

Os resultados das determinações dos valores de coliformes totais encontram-se na Tabela 76 e a Figura 26 apresenta as médias desses resultados para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Tabela 76. Variação espaço-temporal de coliformes totais (NMP.100mL⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	2650	8120	10310	11870	10590	13200	11000
Mai/07	7030	18500	15650	3930	20140	17230	2350
Jun/07	3430	5550	6420	4730	5610	4890	3540
Jul/07	2010	5910	9100	7710	5120	10710	15510
Ago/07	4840	13310	12980	7900	15360	15210	6670
Set/07	2720	5730	7760	6220	5365	7800	9520
Out/07	4960	11780	15150	11870	8620	19680	15410
Nov/07	27550	10630	29090	54750	98040	51720	32550
Dez/07	17850	34410	20350	45690	50120	82970	96060
Jan/08	7980	11870	17850	12740	15650	23820	18420
Fev/08	16690	45690	62940	41660	72150	72150	65860
Mar/08	9870	2460	11530	18600	16690	19350	17820
Abr/08	3500	8330	10920	20630	9900	17230	17250
Mai/08	4960	6010	8570	5730	7590	20460	14210
Jun/08	2330	9340	6160	6630	2470	11240	6500
Jul/08	1500	3280	3440	4780	5740	2380	5010
Ago/08	3000	6400	7320	12110	9490	12470	12290
Set/08	2750	5040	7540	22820	21780	11060	18500
Out/08	4690	12340	12810	12500	9590	11060	7170
Nov/08	2560	4570	9330	10170	11450	12810	18820
Dez/08	7630	48840	29090	29090	13130	31300	51720
Jan/09	14720	36490	57170	41220	61675	64050	68930
Fev/09	11570	30880	34330	29320	24450	20620	32220
Mar/09	9870	21780	21420	18500	32820	20630	19890
Média	7361	15303	17802	18382	22231	23919	23635
Desvio Padrão	6394	13708	15262	14594	24263	21478	23731

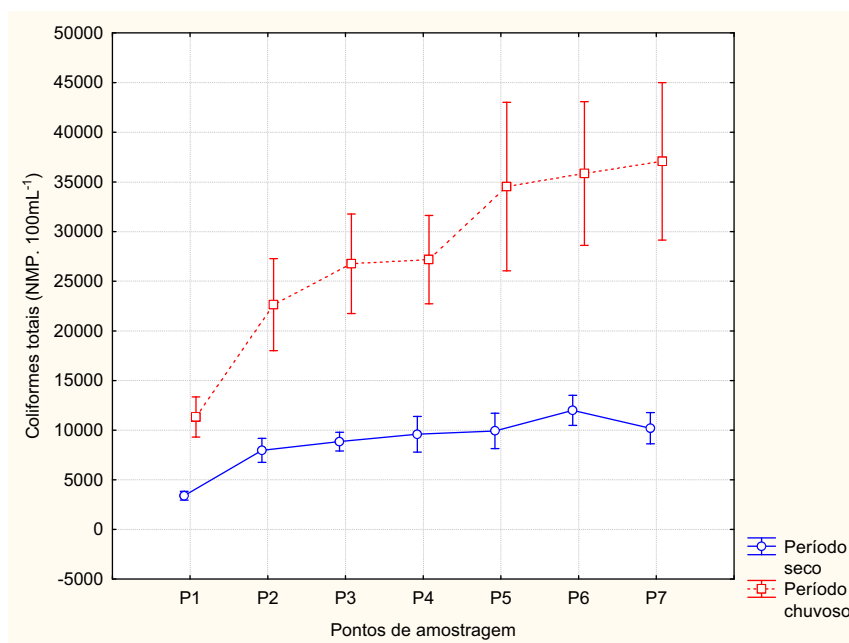


Figura 26. Médias do parâmetro coliformes totais (NMP.100mL⁻¹) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Os resultados da análise da variância fatorial para a variável dependente coliformes totais se encontram na Tabela 77.

Tabela 77. Análise de variância para coliformes totais (NMP.100mL⁻¹) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

Coliformes totais	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	1,526390E+10	1,526390E+10	65,6780	0,000000
Pontos de amostragem	6	4,904217E+09	8,173696E+08	3,5170	0,002737
Período*Pontos amostragem	6	1,567276E+09	2,612126E+08	1,1240	0,350935
Erro (Resíduo)	154	3,579039E+10	2,324052E+08		

O fator pontos de amostragem apresentou diferenças estatisticamente significativas a 5% de significância assim como o fator período de estudo ($p < 0,05$). As comparações múltiplas foram realizadas aplicando-se o Teste de Tukey apresentado nas Tabelas 78 e 79.

Tabela 78. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os pontos de amostragem, considerando os coliformes totais (NMP.100mL⁻¹).

Pontos de amostragem	Média	Grupo de Tukey
P6	23919,0	A
P7	23635,0	A
P5	22231,0	A
P4	18382,0	A B
P3	17801,0	A B
P2	15303,0	A B
P1	7361,2	B

Tabela 79. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso/quente, considerando coliformes totais (NMP.100mL⁻¹).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	27908,0	A
Seco/frio	8844,2	B

Os valores para coliformes totais em rios de classe 2, segundo o Decreto Estadual 8468/1976 (SÃO PAULO, 1976) não deverão exceder um limite de 5000 número mais provável (NMP) por 100 mL em 80% ou mais das amostras analisadas. A Resolução CONAMA n° 20 de 1986 (BRASIL, 1986) previa este mesmo valor como limite máximo mas a Resolução vigente, Resolução CONAMA n° 357 de 2005 (BRASIL, 2005), não estabeleceu limite para este parâmetro pois este grupo de bactéria pode ter ocorrência natural no solo e água não sendo eficiente na identificação de contaminação fecal. Os padrões microbiológicos encontrados na Resolução atual são somente para coliformes termololerantes ou *Escherichia coli*.

Todos os pontos amostrados no rio Cabeça desrespeitaram o Decreto Estadual 8468/1976 (SÃO PAULO, 1976) pois 58%, 17%, 4%, 13% e 4% das amostras dos pontos P1, P2, P3, P4 e P5 respectivamente, não excederam o limite máximo de coliformes de 5000 NMP.100mL⁻¹ sendo que para se adequarem a legislação, no mínimo 80% das amostras não deveriam ultrapassar o limite. Os pontos P6 e P7 também estiveram em desacordo com o referido Decreto pois 8% apenas das amostras estiveram abaixo do limite máximo em ambos os pontos.

A comparação múltipla através do teste de Tukey (Tabela 78) mostrou que P1 diferiu de P5, P6 e P7 estatisticamente. Há uma tendência de aumento deste parâmetro do ponto P1 ao P7 sendo este aumento mais acentuado no período chuvoso/quente. Os maiores valores obtidos para coliformes totais foram no período chuvoso/quente devido ao carreamento mais intenso de sedimentos para o leito dos rios. Em todos os pontos de amostragem, os maiores valores obtidos (NMP.100mL⁻¹) foram detectados nos meses de maiores pluviosidades: 27550 (P1) em novembro de 2007; 48840 (P2) em dezembro de 2008; 62940 (P3) em fevereiro de 2008; 54750 (P4) e 98040 (P5) ambos em novembro de 2007; 82970 (P6) e 96060 (P7) ambos em dezembro de 2007.

4.1.3.3 *Escherichia coli*

Os valores de *Escherichia coli* encontram-se na Tabela 80 e a Figura 27 apresenta as médias para os períodos seco/frio e chuvoso/quente em cada ponto de amostragem.

Tabela 80. Variação espaço-temporal de *Escherichia coli* (NMP.100mL⁻¹) determinada no período de abril de 2007 a março de 2009 nos pontos de amostragem.

Meses	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Abr/07	200	410	740	1090	630	740	510
Mai/07	410	970	310	100	970	410	100
Jun/07	100	1010	1880	1110	1110	200	300
Jul/07	310	630	980	740	100	1210	1950
Ago/07	310	630	980	740	100	1210	1950
Set/07	305	690	525	595	800	575	510
Out/07	100	740	410	310	410	630	410
Nov/07	740	1300	1750	1220	920	980	630
Dez/07	2310	2110	1890	3230	2820	6970	9810
Jan/08	1200	970	1430	1430	310	1080	630
Fev/08	410	2030	4190	4570	850	9590	10810
Mar/08	100	300	100	200	610	720	520
Abr/08	200	510	410	410	310	520	950
Mai/08	100	100	1100	1100	310	520	1350
Jun/08	100	100	630	310	200	1180	310
Jul/08	100	470	390	410	770	460	530
Ago/08	100	318	652	932	1056	732	1054
Set/08	200	410	730	2430	3690	980	2130
Out/08	310	740	980	630	310	410	310
Nov/08	100	310	980	970	1220	1090	960
Dez/08	200	850	850	630	200	520	950
Jan/09	740	1100	1580	1480	1710	1210	1090
Fev/09	520	740	1220	980	860	1110	980
Mar/09	630	410	970	520	630	1200	520
Média	408	744	1070	1089	871	1427	1636
Desvio Padrão	489	512	828	1021	845	2168	2730

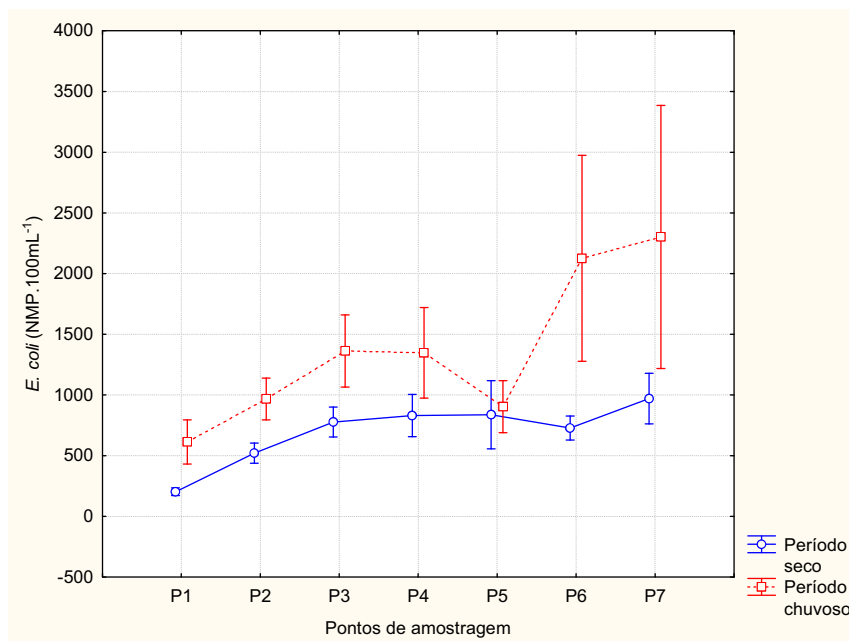


Figura 27. Médias do parâmetro *Escherichia coli* (NMP.100mL⁻¹) em cada ponto de amostragem para os períodos seco/frio e chuvoso/quente.

Os resultados da análise da variância fatorial para a variável dependente *Escherichia coli* se encontram na Tabela 81.

Tabela 81. Análise de variância para *Escherichia coli* (NMP.100mL⁻¹) nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

<i>Escherichia coli</i>	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	19377304	19377304	9,35439	0,002624
Pontos de amostragem	6	24571725	4095287	1,97700	0,072171
Período*Pontos amostragem	6	8869020	1478170	0,71359	0,639170
Erro (Resíduo)	154	319005697	2071466		

O fator pontos de amostragem não apresentou diferenças estatisticamente significativas a 5% de significância ao contrario do fator período de estudo cujo valor de $p < 0,05$. As comparações múltiplas para este fator foram realizadas aplicando-se o Teste de Tukey (Tabela 82).

Tabela 82. Resultados da aplicação do Teste de Tukey para os períodos seco/frio e chuvoso, considerando *Escherichia coli* (NMP.100mL⁻¹).

Períodos	Média	Grupo de Tukey
Chuvoso/quente	1374,5	A
Seco/frio	695,3	B

Os valores para *E. coli* em rios de classe 2, segundo o Decreto Estadual 8468/1976 (SÃO PAULO, 1976) e a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) não deverão exceder um limite de 1000 número mais provável (NMP) por 100 mL em 80% ou mais das amostras analisadas.

Os pontos P3, P4, P5, P6 e P7 estão em desacordo com o estabelecido nas legislações estadual e federal, pois 67%, 63%, 75%, 58% e 67% das amostras analisadas, respectivamente, não excederam o limite de 1000 *E. coli* por 100 mL, sendo que para se adequarem à legislação, no mínimo 80% das amostras não deveriam ultrapassar o limite. A Figura 28 mostra a comparação entre o limite estabelecido pela legislação e os valores encontrados nos pontos de amostragem para este parâmetro. Estes resultados podem decorrer do lançamento de esgoto *in natura* das vilas e moradias rurais uma vez que esta é uma microbacia tipicamente rural. Atividades típicas na região como a criação de animais (bovinos e suínos) pode contribuir com o aumento de *E. coli* nas águas do rio Cabeça. O predomínio de pastagem na área (39,1%) associado à má conservação das matas ciliares também pode ser considerado como fator de contaminação das águas do rio Cabeça.

Deste modo, as águas do rio Cabeça nos pontos de amostragem P3, P4 e P5 são impróprias para o desenvolvimento de atividades previstas para rios de classe 2 como dessedentação de animais, irrigações de hortaliças e plantas frutíferas e recreação de contato primário. Atividades de aquicultura e pesca, muito comum na bacia do rio Corumbataí, também estão prejudicadas.

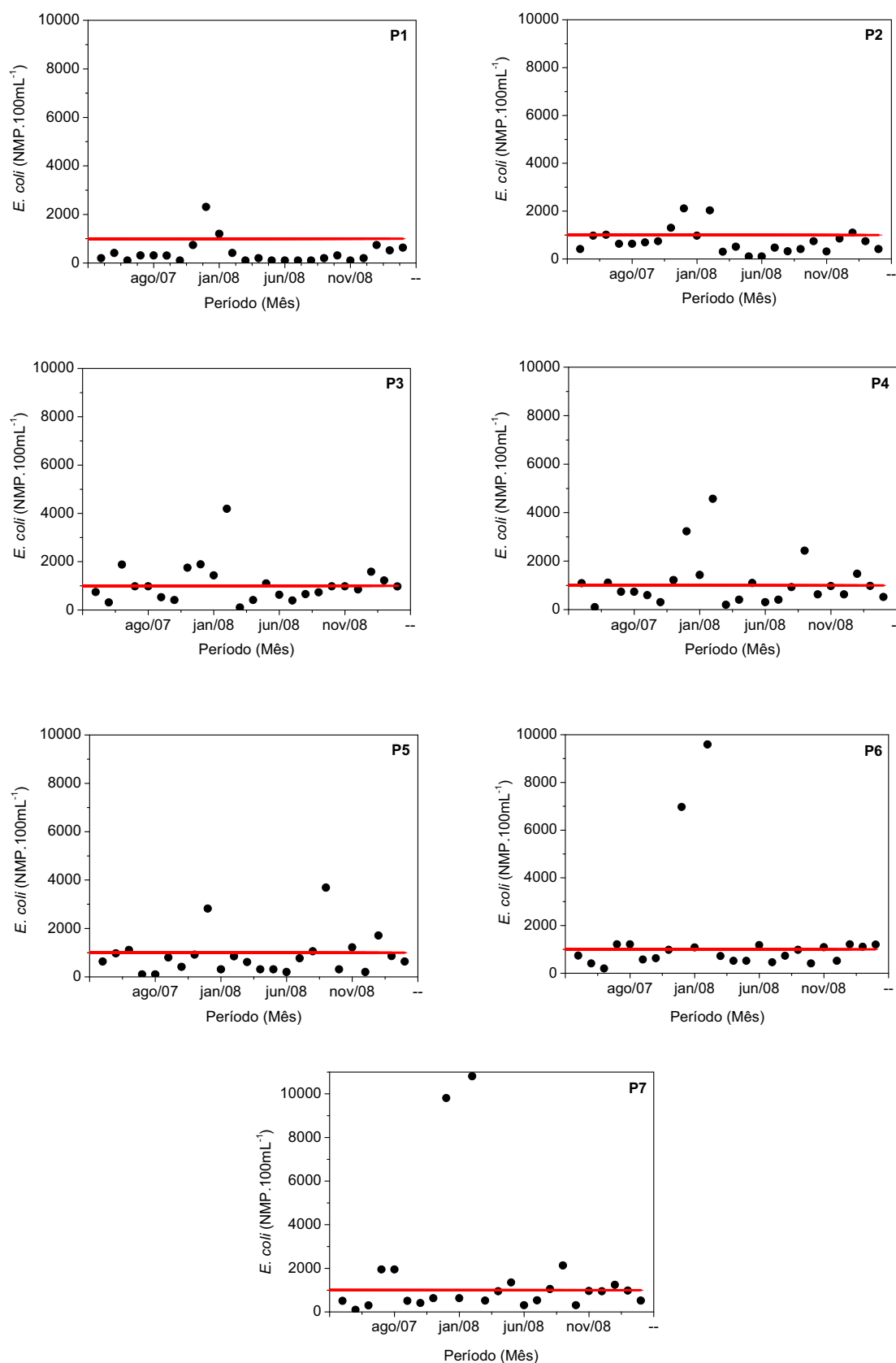


Figura 28. Valores encontrados para *Escherichia coli* em cada ponto de coleta, no período de abril de 2007 a março de 2009. A linha de referência vermelha indica o valor máximo permitido, 1000 NMP.100mL⁻¹, segundo o Decreto Estadual 8468/1976 (SÃO PAULO, 1976) e Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

4.2 Análise estatística multivariada

4.2.1 Análise da componente principal

Os dados obtidos neste estudo, primeiramente, foram analisados na forma de matriz expressos por $X = (x_{ij})$, em que $i = 1...n$ amostragens (168) e $j = 1...n$ parâmetros (21). Em seguida, a matriz de dados original foi transformada em uma de correlação $R_{(p \times p)}$, para p igual aos 21 parâmetros de qualidade da água analisados neste estudo (os metais Cd, Cr, Cu, Pb e Ni não foram analisados através da estatística multivariada por não terem sido detectados ou detectados somente em alguns pontos de amostragem em determinados meses). A aplicação da matriz de correlação permitiu eliminar o problema de escalas e unidades diferenciadas em que as variáveis são medidas (BENGRAÏNE e MARHABA, 2003; ANDRADE et al., 2007a).

A matriz de correlação entre os parâmetros de qualidade da água está representada na Tabela 83. Coeficientes de correlação maiores que 0,5 são indicativos de forte correlação entre os parâmetros empregados (HELENA, et al., 2000). Observa-se que a temperatura possui fraca correlação com os demais parâmetros ($r < 0,5$), excetuando a correlação negativa com o OD ($r = -0,71$) e correlação positiva com Fe ($r = 0,54$). A solubilidade do gás oxigênio é inversamente proporcional à temperatura o que explica tal valor. Já a correlação positiva com o Fe pode ser decorrente do maior arraste desse elemento a partir do solo pelas chuvas mais intensas no período chuvoso/quente.

Altas correlações positivas são observadas entre os parâmetros turbidez, cor aparente e sólidos suspensos totais (SST). Esta correlação era esperada, pois cor e turbidez são definidas pela reflexão e pela refração da luz sobre materiais dissolvidos ou em suspensão, podendo estas variáveis serem identificadas como a da componente sólidos. Do mesmo modo, era esperada a forte correlação positiva encontrada entre condutividade, STD, Ca e Mg, pois estes parâmetros estão relacionados à quantidade de íons dissolvidos e que permitem a água conduzir a corrente elétrica. O pH também se correlacionou positivamente com estes quatro últimos parâmetros citados uma vez que este é influenciado pelos elementos Ca e Mg que tem ocorrência natural nas rochas e solos da microbacia e também são utilizados na correção do solo para o plantio.

Tabela 83. Matriz de correlação dos parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e microbiológicos determinados nos pontos de amostragem no período de abril de 2007 a março de 2009.

Parâmetro	Temp	pH	Cond	Turb	CorAp	STD	OD	DBO	NH ₃	NO ₃ ⁻	NT	PT	SST	Colif	<i>E. coli</i>	Fe	Mn	Zn	Al	Ca	Mg
Temp	1,00																				
pH	0,45	1,00																			
Cond	0,22	0,60	1,00																		
Turb	0,16	0,15	0,08	1,00																	
CorAp	0,21	0,18	0,06	0,99	1,00																
STD	0,23	0,59	1,00	0,08	0,06	1,00															
OD	-0,71	-0,11	-0,14	-0,16	-0,20	-0,14	1,00														
DBO	0,20	0,11	-0,03	0,02	0,03	-0,03	-0,16	1,00													
NH ₃	0,43	0,22	0,16	0,64	0,67	0,16	-0,49	-0,03	1,00												
NO ₃ ⁻	0,22	0,39	0,27	0,34	0,39	0,27	-0,23	-0,12	0,58	1,00											
NT	0,30	0,22	0,16	0,71	0,74	0,16	-0,36	0,04	0,79	0,65	1,00										
PT	0,34	0,25	0,22	0,89	0,89	0,22	-0,30	-0,03	0,73	0,44	0,75	1,00									
SST	0,20	0,19	0,07	0,94	0,92	0,07	-0,15	0,06	0,58	0,25	0,67	0,83	1,00								
Colif	0,42	0,38	0,37	0,64	0,63	0,37	-0,38	0,00	0,57	0,32	0,59	0,66	0,63	1,00							
<i>E. coli</i>	0,18	0,18	0,09	0,81	0,76	0,08	-0,13	0,05	0,47	0,14	0,54	0,74	0,81	0,64	1,00						
Fe	0,54	0,19	0,17	0,22	0,27	0,17	-0,64	0,07	0,67	0,48	0,51	0,36	0,20	0,45	0,12	1,00					
Mn	0,02	-0,26	-0,12	-0,07	-0,06	-0,12	-0,24	-0,07	0,10	0,07	0,08	-0,04	-0,06	0,00	-0,11	0,37	1,00				
Zn	0,03	-0,10	-0,10	-0,01	-0,01	-0,10	0,00	-0,04	-0,03	-0,05	-0,08	-0,05	-0,02	-0,08	0,02	-0,02	0,20	1,00			
Al	0,21	0,12	0,09	0,79	0,80	0,09	-0,23	0,00	0,75	0,47	0,70	0,76	0,68	0,52	0,61	0,36	-0,10	-0,02	1,00		
Ca	0,28	0,75	0,93	0,12	0,12	0,92	-0,13	0,02	0,23	0,39	0,23	0,28	0,11	0,41	0,12	0,31	-0,10	-0,19	0,13	1,00	
Mg	0,21	0,61	0,97	0,06	0,05	0,97	-0,13	-0,01	0,12	0,25	0,13	0,21	0,06	0,32	0,07	0,12	-0,14	-0,06	0,07	0,92	1,00

Legenda: Temp (Temperatura); Cond (Condutividade elétrica); Turb (Turbidez); CorAp (Cor aparente); STD (Sólidos totais dissolvidos); OD (Oxigênio dissolvido); DBO (Demanda bioquímica de oxigênio); NH₃ (Amônia); NO₃⁻ (Nitrato); NT (Nitrogênio total); PT (Fósforo total); SST (Sólidos suspensos totais); Colif (*Escherichia coli*); Fe (Ferro); Mn (Manganês); Zn (Zinco); Al (Alumínio); Ca (Cálcio); Mg (Magnésio).

Os parâmetros coliformes totais, *E. coli*, fósforo total, nitrogênio total, amônia e alumínio apresentaram correlação positiva significativa entre si (exceção para a correlação entre *E. coli* e amônia cujo valor foi $r=0,47$) e também correlação positiva significativa com os da componente sólidos (turbidez, cor aparente e SST). A componente sólidos é influenciada pela carreamento de partículas de solo para o leito do rio e também pela poluição orgânica. Na área estudada há predomínio de atividades agrícolas, conforme já citado anteriormente. A criação de gado, assim como os esgotos domésticos provenientes de vilas rurais, muito provavelmente são atividades que contribuem para a presença de *E. coli* no corpo hídrico, uma vez que esta bactéria é eliminada juntamente com as fezes desses animais e humanos. Da mesma forma, fertilizantes a base de fósforo e nitrogênio incorporados na cultura de cana-de-açúcar, possivelmente são carreados para o leito do rio.

Outras correlações significativas foram entre Fe e OD ($r=-0,64$) que pode indicar a oxidação de Fe^{2+} a Fe^{3+} com o consumo de oxigênio; Fe e os compostos nitrogenados amônia e nitrogênio total ($r=0,67$ e $r=0,51$ respectivamente); Ca e Mg (0,92); amônia e nitrato ($r=0,58$) e nitrato e nitrogênio total ($r=0,65$) pois as concentrações desses compostos nitrogenados são reguladas pelas atividades de bactérias.

A análise da componente principal (PCA) consiste essencialmente em reescrever as coordenadas das variáveis (parâmetros) em outro sistema de eixo, mais convenientes para a análise dos dados. Em outras palavras, as n -variáveis originais geram, por meio de suas combinações lineares, n -componentes principais, cuja principal característica, além da ortogonalidade, é que são obtidas em ordem decrescente de máxima variância (ANDRADE et al., 2007b). Assim, componentes sucessivas explicam porções progressivamente menores da variância da amostra total, sem apresentar correlação com as componentes anteriores (ANDRADE et al., 2007a).

Com a PCA foi possível diminuir a dimensão da matriz de dados, facilitando conseqüentemente sua visualização. Deste modo, é esperado que menor número de componentes principais (CP) possa explicar a maior variância dos dados originais, sem a perda de informações relevantes (BENGRAÏNE e MARHABA, 2003).

Na PCA, o número de componentes é igual ao número de variáveis. Uma componente, entretanto, não é formada por apenas uma única variável e sim por todas elas (OUYANG, 2005). No presente estudo, 21 variáveis (parâmetros) foram analisadas que originaram 21 componentes utilizando esta ferramenta estatística. A eficiência da descrição dos dados através de componentes vai depender da porcentagem de variância total que cada componente contém, a qual é representada pelos autovalores (VEGA et al., 1998). Sendo assim, a primeira

componente (CP1) explicou 38,3% da variância total dos dados e a segunda componente (CP2) 19,7%. Ainda neste raciocínio, a terceira (CP3), quarta (CP4) e quinta (CP5) componentes explicaram 10,8%, 6,4% e 5,3% respectivamente. Somente estas cinco PCAs foram extraídas e analisadas baseadas no critério da raiz latente, que considera somente componentes significativas com autovalor superior a um, ou seja, que qualquer fator individual deve explicar uma variância superior àquela apresentada por uma simples variável (VOUTSA et al., 2001; BENGRAÏNE e MARHABA, 2003; GIRÃO et al., 2007). A Tabela 84 mostra os pesos fatoriais das variáveis, o autovalor e a porcentagem de variância explicada (% var exp) por cada uma das cinco CPs que em conjunto foram responsáveis por 80,5% da variância total.

Tabela 84. Matriz de peso fatorial dos parâmetros estudados demonstrando as cinco componentes principais significativas.

Parâmetro	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Fósforo total	-0,90	-0,23	-0,14	-0,02	0,04
Cor aparente	-0,85	-0,41	-0,23	0,01	0,04
Turbidez	-0,83	-0,41	-0,30	0,01	0,08
Nitrogênio total	-0,83	-0,22	0,11	-0,16	-0,17
Amônia	-0,82	-0,19	0,29	-0,16	-0,14
Coliformes totais	-0,80	0,03	0,00	0,11	0,13
Sólidos suspensos totais	-0,79	-0,39	-0,30	0,11	0,12
Alumínio	-0,78	-0,33	-0,10	-0,10	-0,11
<i>E. coli</i>	-0,71	-0,33	-0,34	0,18	0,22
Nitrato	-0,58	0,12	0,22	-0,44	-0,36
Ferro	-0,55	0,05	0,71	-0,09	-0,08
Cálcio	-0,51	0,83	-0,09	-0,06	-0,02
Condutividade elétrica	-0,44	0,85	-0,15	-0,08	0,13
Sólidos totais dissolvidos	-0,44	0,85	-0,15	-0,08	0,13
Magnésio	-0,41	0,85	-0,17	-0,06	0,15
pH	-0,47	0,60	-0,08	0,20	-0,12
OD	0,44	-0,04	-0,71	-0,26	-0,07
Manganês	0,03	-0,14	0,56	-0,38	0,39
Temperatura da água	-0,48	0,18	0,54	0,46	0,05
DBO	-0,04	0,01	0,12	0,73	-0,04
Zinco	0,07	-0,13	0,13	-0,13	0,77
Autovalor	8,04	4,14	2,26	1,35	1,12
% Var Exp	38,3	19,7	10,8	6,4	5,3
% Var Acu	38,3	58,0	68,8	75,2	80,5

A relação entre fatores e variáveis nas CPs permite a identificação destas últimas com maiores inter-relações em cada componente. Os valores elevados dos pesos fatoriais sugerem quais são as variáveis mais significativas em cada fator. Neste estudo, como apontado anteriormente, considerou significativos os valores maiores que 0,5. A CP1 teve a participação dos parâmetros fósforo total, cor aparente, turbidez, nitrogênio total, amônia, coliformes totais, sólidos suspensos totais, Al, *E. coli*, nitrato, Fe e cálcio. Na CP2 os

parâmetros Ca (que também aparece com destaque na CP1), condutividade elétrica, STD, Mg e pH se destacaram. A CP3 foi representada por Fe (que também apareceu na CP1), oxigênio dissolvido, Mn e temperatura, enquanto que na CP4 se destacou a DBO e na CP5 o Zn. O grande número de parâmetros lotados na CP1 e alguns parâmetros (Ca e Fe) estarem presentes em mais de uma componente, dificulta a identificação das variáveis mais significativas na matriz de pesos dos fatores. A rotação dos fatores em torno da origem até que alguma outra posição seja alcançada é uma ferramenta muito utilizada nesta situação. O processo maximiza a variância entre os fatores, alterando a raiz característica sem afetar a proporção da variância total explicada pelo conjunto (HAIR et al., 2005). Como resultado uma nova matriz dos pesos fatoriais é obtida podendo ser interpretada mais facilmente. Neste estudo, a extração da matriz transformada foi alcançada através da rotação ortogonal Varimax (VEGA et al., 1998; BENGRAÏNE e MARHABA, 2003; OUYANG et al., 2006). A Tabela 85 apresenta os pesos dos fatores rotacionadas (VF) da matriz transformada.

Tabela 85. Matriz de peso fatorial rotacionada dos parâmetros estudados demonstrando as cinco componentes principais significativas.

Parâmetro	VF1	VF2	VF3	VF4	VF5
Turbidez	0,98	0,02	0,01	0,04	0,00
Cor Aparente	0,96	0,01	0,08	0,08	0,02
Sólidos suspensos totais	0,94	0,03	0,04	-0,06	0,00
Fósforo total	0,89	0,17	0,17	0,15	0,01
<i>E. coli</i>	0,87	0,06	0,00	-0,19	-0,05
Alumínio	0,81	0,02	0,13	0,27	0,10
Nitrogênio total	0,72	0,09	0,31	0,41	0,09
Coliformes totais	0,67	0,35	0,32	0,02	-0,04
Amônia	0,65	0,08	0,46	0,45	0,03
Condutividade elétrica	0,05	0,97	0,04	0,04	-0,01
Sólidos totais dissolvidos	0,05	0,97	0,04	0,05	-0,02
Magnésio	0,03	0,97	0,03	0,00	-0,02
Cálcio	0,08	0,95	0,13	0,12	0,12
pH	0,15	0,71	0,22	-0,06	0,28
OD	-0,13	-0,06	-0,86	-0,06	0,10
Temperatura da água	0,16	0,22	0,82	-0,14	0,04
Ferro	0,19	0,11	0,76	0,44	-0,09
Nitrato	0,31	0,26	0,23	0,70	0,15
DBO	0,02	-0,05	0,41	-0,55	0,28
Zinco	0,03	-0,06	0,01	-0,18	-0,79
Manganês	-0,12	-0,17	0,29	0,33	-0,63
Autovalor	6,59	4,58	2,81	1,68	1,25
% Var Exp	31,4	21,8	13,4	8,0	5,9
% Var Acu	31,4	53,2	66,6	74,6	80,5

Com a rotação dos pesos fatoriais da matriz original, a VF1 passou a explicar 31,4% da variância com participação da turbidez, cor aparente, sólidos suspensos totais, fósforo total, *E. coli*, Al, nitrogênio total, coliformes totais e amônia, indicando que estas variáveis são as

mais significativas na definição da qualidade da água. Esta componente pode ser interpretada como o resultado do escoamento superficial agrícola (poluição difusa) formando uma componente com destaque para as variáveis da componente sólidos e nutricionais. A influência do escoamento superficial também foi identificada por Andrade et al. (2007a) estudando os indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada na bacia do rio Acaraú, CE. O modelo aplicado identificou as variáveis turbidez, cor, NH_4 , cálcio, potássio e STD na primeira componente que muito provavelmente teve sua origem no escoamento superficial agrícola. A VF2 explicou 21,8% da variância e incluiu as variáveis condutividade elétrica, STD, Mg, Ca e pH. Esta CP pode ser caracterizada como componente mineral de qualidade da água influenciada por condições naturais (geologia e solos locais). A VF3 é representada positivamente pela temperatura e negativamente pelo oxigênio explicando 13,4% da variância. Esta situação também foi observada por Vega et al. (1998). Neste caso, a solubilidade dos gases na água diminui à medida que a temperatura aumenta. Na VF4 tem destaque os parâmetros nitrato e DBO que pode se relacionar com a poluição orgânica proveniente de fontes pontuais ou até mesmo difusas, porém com menor contribuição. Na VF5 os metais-traço Mn e Zn foram os parâmetros de maior relevância podendo estar relacionados à ocorrência natural no solo e/ou atividades agrícolas.

4.3 Índice de qualidade da água (IQA)

A Figura 29 mostra os resultados para o IQA nos diferentes pontos de amostragem ao longo do período de estudo. A qualidade da água no rio Cabeça foi considerada boa com valores que variaram de 55 a 74 no ponto P1; 55 a 74 no P2; 56 a 77 no P3; 56 a 75 no P4 e 50 a 77 no P5. Neste último ponto a qualidade da água foi considerada regular (IQA=50) em dezembro de 2007. Nos pontos amostrados no rio Passa Cinco, o IQA seguiu o mesmo padrão do rio Cabeça com águas sendo classificadas como boa, com exceção dos meses de dezembro de 2007 e fevereiro de 2008 cujas qualidades das águas foram classificadas como regulares. Os valores nestes pontos variaram de 48 a 75 no P6 e 46 a 76 no P7.

Os valores de IQA obtidos também foram submetidos a análise de variância fatorial e os resultados mostraram que para ambos os fatores, pontos de amostragem e período de estudo, não foram verificadas diferenças estatísticas a 5% de significância pois $p > 0,05$ (Tabela 86).

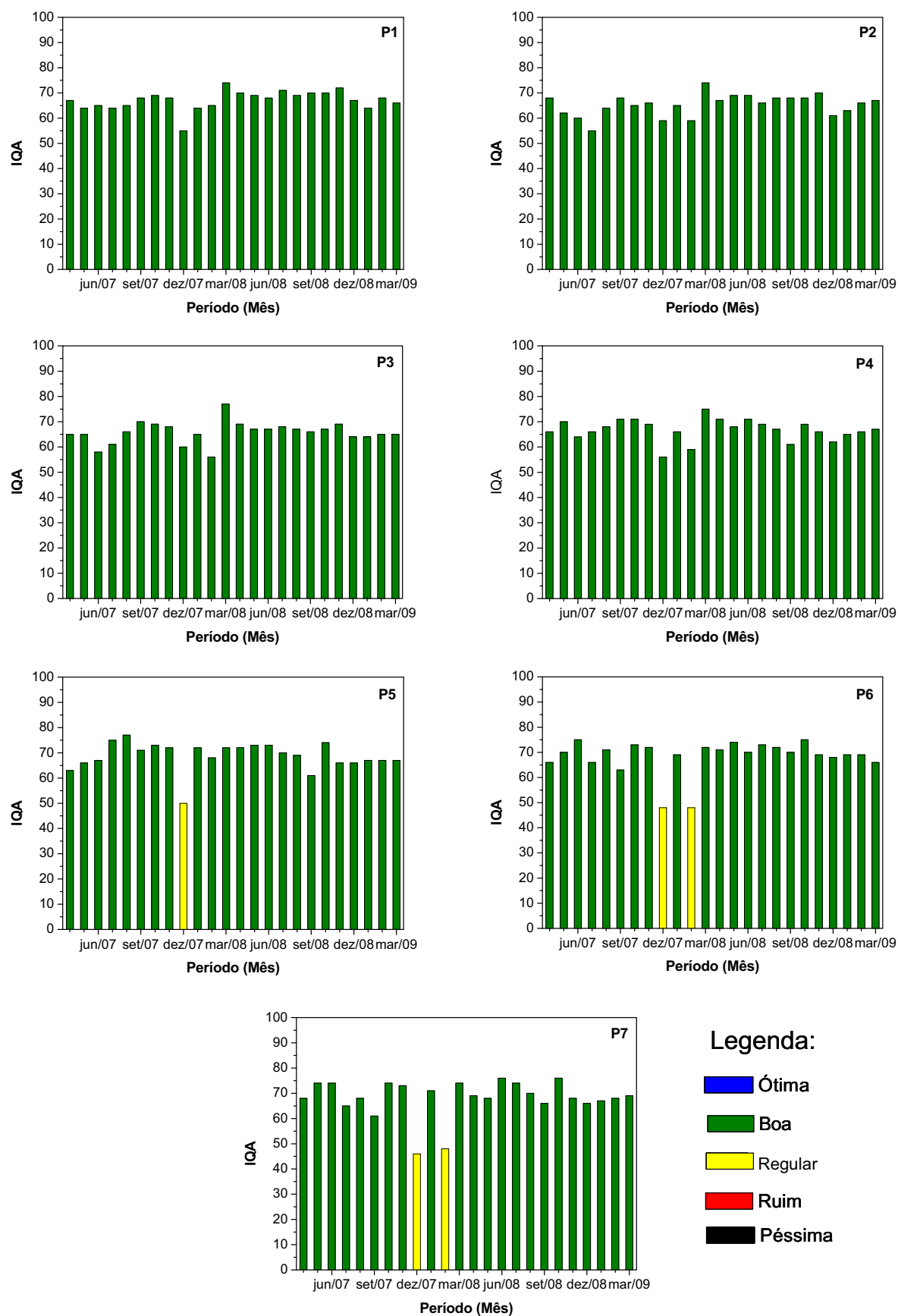


Figura 29. Índice de qualidade da água (IQA) determinado nos pontos de amostragem durante o período de abril de 2007 a março de 2009.

Tabela 86. Análise de variância para o IQA nos diferentes pontos de amostragem, durante os meses de abril/2007 a março/2009. Legenda: GL = grau de liberdade; SQ = desvio padrão; QM = quadrado médio; F = frequência da distribuição; P = probabilidade.

IQA	GL	SQ	QM	F	P
Períodos	1	99,1	99,1	3,37	0,068220
Pontos de amostragem	6	248,0	41,3	1,41	0,215083
Período*Pontos amostragem	6	66,5	11,1	0,38	0,892615
Erro (Resíduo)	154	4523,1	29,4		

Vale destacar que o IQA não leva em consideração parâmetros relacionados à toxicidade e mutagenicidade das águas. Para este caso, o órgão de proteção ambiental do estado de São Paulo, a CETESB, estabeleceu o Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas (ISTO) que leva em consideração variáveis que indicam a presença de substâncias tóxicas (teste de Ames, potencial de formação de trihalometanos, número de células de cianobactérias, cádmio, chumbo, cromo total, mercúrio e níquel) e variáveis que afetam a qualidade organoléptica (ferro, manganês, alumínio, cobre e zinco). A partir do produto da ponderação dos resultados do IQA e do ISTO é possível obter ainda o Índice de Qualidade de Água Bruta para Fins de Abastecimento Público (IAP), índice presente na rede de monitoramento da CETESB (CETESB, 2009). O Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), por outro lado, avalia a toxicidade, caracterizando-a como baixa, média ou alta, através dos parâmetros amônia, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cianetos, cobre, cromo, fenóis, mercúrio, nitrito, nitrato e zinco.

A determinação de índices que levam em consideração variáveis que indicam a presença de substâncias tóxicas e mutagênicas representa uma boa ferramenta de monitoramento em microbacias hidrográficas com uso rural, como é o caso da microbacia do rio Cabeça, devido ao uso intensivo de agrotóxicos na agricultura. Na bacia do rio Corumbataí o histórico do uso de agrotóxicos foi o objetivo de alguns estudos principalmente aqueles utilizados na cultura de cana-de-açúcar. Armas et al. (2005) verificaram que estas substâncias são utilizadas em grandes quantidades e a classe de agrotóxicos mais empregada na cultura canavieira na bacia citada foram os herbicidas, sendo que o glifosato, atrazina, ametrina, 2,4-D, metribuzim, diurom e acetocloro representaram aproximadamente 85% do volume total de produtos consumidos de janeiro de 2000 a dezembro de 2003. Outros herbicidas também foram identificados apesar do baixo volume, como imazapir, pela grande frequência de uso e, sulfentrazone, trifloxissulfurom sódico, paraquate, tebutiurum e imazapique, pela toxicidade e alta mobilidade. Esses autores concluíram que há um grande risco de poluição hídrica decorrente do uso destas substâncias.

Em estudos de biogeodinâmica de agrotóxicos utilizados na cultura de cana-de-açúcar na bacia do rio Corumbataí, Armas (2006) detectou resíduos de ametrina, atrazina, simazina, hexazinona, glifosato e clomazona em amostras de água. Níveis mais elevados de triazinas e clomazona foram detectados na região de Analândia, área de recarga do aquífero Guarani, ao norte da bacia do rio Corumbataí. Através do modelo matemático SWAT foi simulado um cenário de expansão da cana-de-açúcar, onde as regiões norte da bacia e as microbacias do Ribeirão Claro e rio Passa Cinco, esta última tendo contribuição da microbacia do rio Cabeça, seriam as maiores exportadoras de herbicidas aos corpos hídricos. A investigação de agrotóxicos na microbacia do rio Cabeça além de testes de toxicidade e mutagenicidade são de extrema valia permitindo desse modo uma gestão hídrica mais eficiente na região.

4.4 Vazão

A Figura 30 apresenta os dados de vazão para os pontos de amostragem P1, P2, P3 e P5 no rio Cabeça.

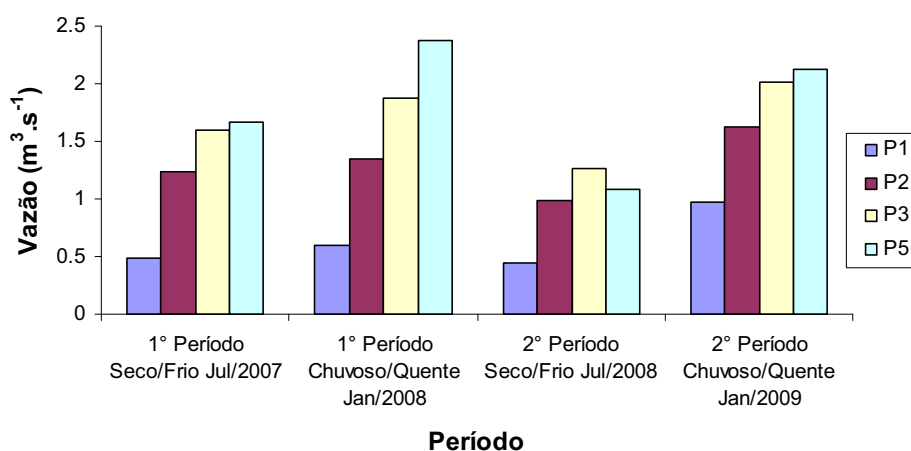


Figura 30. Valores de vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) para os pontos de amostragem P1, P2, P3 e P5 determinados nos períodos secos/frios e chuvosos/quentes.

A vazão aumentou de montante a jusante deste corpo hídrico, com exceção para o segundo período seco/frio (Julho de 2008) no qual o ponto P3 apresentou maior vazão do que o P5. Os maiores valores foram 2,37 e 2,12 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ no primeiro e segundo período chuvoso/quente no ponto P5 enquanto que os menores valores foram 0,49 e 0,45 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ no P1 no primeiro e segundo período seco/frio, respectivamente.

Conceição e Bonotto (2002) por meio de parâmetros hidrológicos e estatísticos avaliaram a contribuição média de vazão de cada microbacia do rio Corumbataí no período de

1973 a 1999. A vazão média anual desse período foi de $25,92 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ como maior contribuição do rio Corumbataí no trecho entre Ajapi-Ferraz, seguido pelos rios Passa Cinco, Ribeirão Claro, Cabeça, Corumbataí em Analândia, Ribeirão Paraíso e Córrego da Assistência. Neste estudo a contribuição do rio Cabeça foi de $1,90 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, valor que se aproxima àqueles encontrados neste estudo

A vazão está intimamente relacionada com as características geomorfológicas da região e a climatologia, principalmente precipitação, sendo que os dados para os períodos chuvosos/quentes foram maiores o que já era esperado. É importante lembrar que em bacias e microbacias hidrográficas o uso da terra e os diversos tratamentos aplicados à cobertura vegetal afetam tanto a quantidade do deflúvio produzido quanto o regime de vazão. As florestas desempenham um papel fundamental no recebimento e distribuição da água das chuvas nas microbacias, sendo importante a sua recuperação e preservação para a manutenção das vazões de nascentes e corpos hídricos.

4.5 Mapas temáticos da microbacia do rio Cabeça

4.5.1 Aspectos geomorfológicos

A Figura 31 apresenta o mapa do modelo numérico do terreno elaborado para a microbacia do rio Cabeça o qual fornece uma noção aproximada do relevo desta área, bem como a disposição da rede hidrográfica. Dentro do contexto geomorfológico, a área de estudo está inserida, predominantemente, na província Depressão Periférica, na zona do Médio Tietê, com suas cabeceiras drenando as Cuestas Arenito-Basálticas (IPT, 1981). O relevo da área é representado principalmente por morrotes alongados e espigões onde predominam interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos e achatados e encostas ravinadas com perfis retilíneos, drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico, vales fechados; e colinas médias e amplas, em que predominam interflúvios com áreas de 1 a mais de 4Km^2 , topos aplainados, vertentes com perfis convexos e retilíneos, drenagem de média a baixa densidade, padrão sub-retangular a subdendrítico, vales abertos a fechados, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes (KOFFLER, 1993).

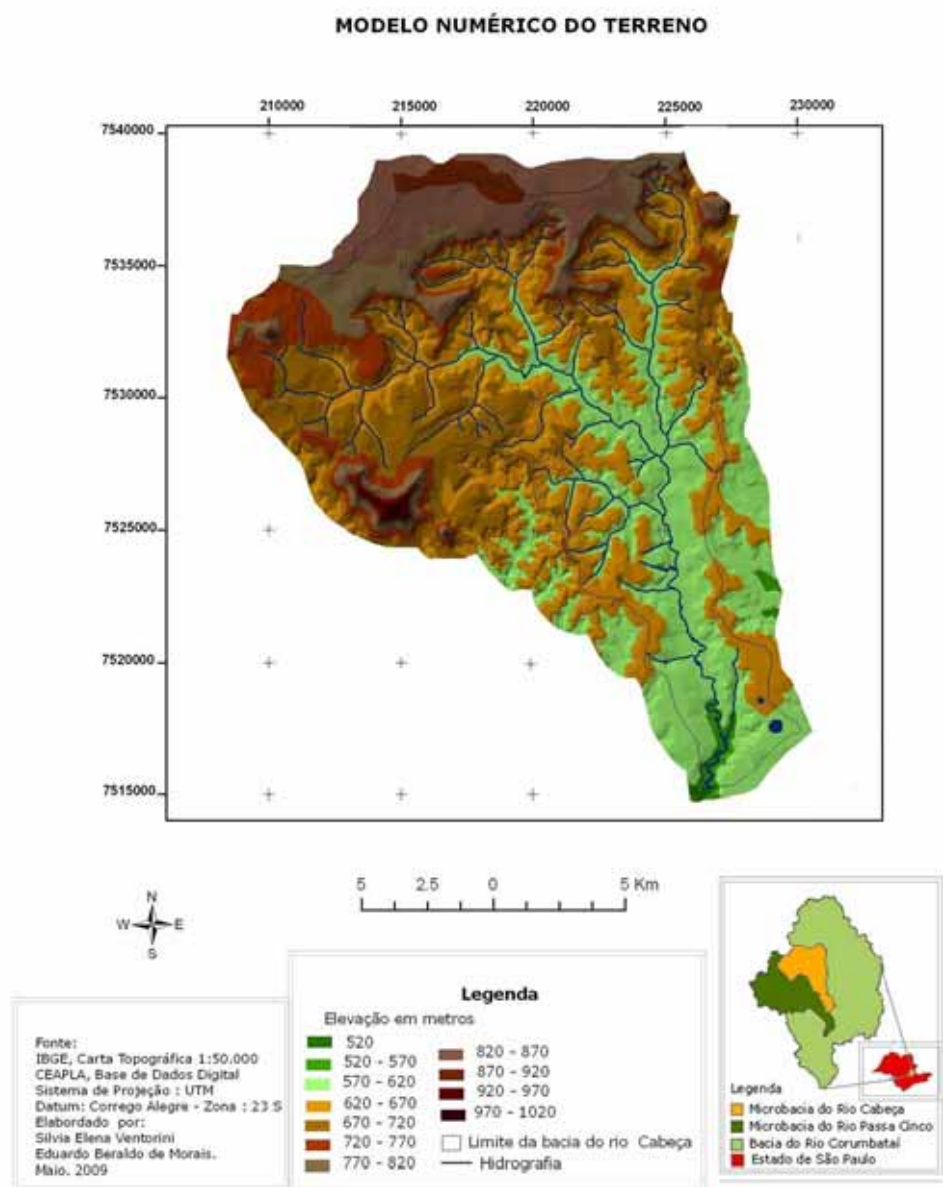


Figura 31. Mapa do modelo numérico do terreno para a microbacia do rio Cabeça.

4.5.2 Aspectos geológicos

O mapa geológico elaborado para a área de estudo é apresentado na Figura 32. Geologicamente, a área de estudo localiza-se no setor paulista do flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, uma unidade geotectônica estabelecida sobre a Plataforma Sul-Americana, situada na parte centro-leste da América do Sul (LIMA, 2000). A área é representada por rochas sedimentares e vulcânicas das eras Paleozóicas (Grupo Passa Dois:

Formação Corumbataí, Irati e Tatuí), Mesozóicas (Grupo São Bento: Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral) e Cenozóica (Formação Rio Claro e depósitos recentes).

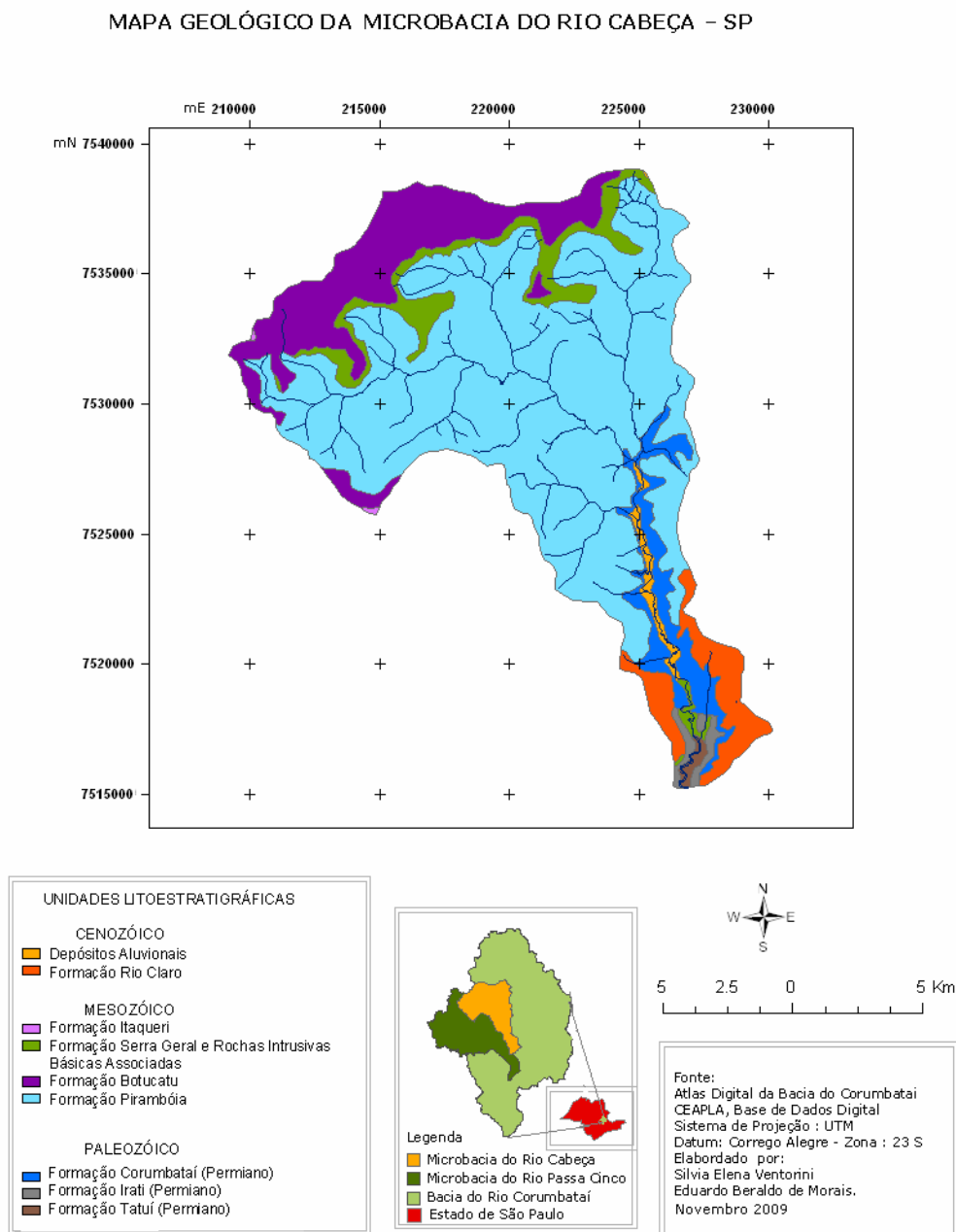


Figura 32. Mapa geológico da microbacia do rio Cabeça.

A Formação Corumbataí tem suas exposições principalmente ao longo do vale do rio Cabeça (LIMA, 2000). Pode ser dividida em duas seqüências: uma inferior, constituída por siltitos, argilitos e folhelhos cinza escuro a roxo acinzentado e a outra, superior, apresenta uma coloração vermelha-arroxeadada e é caracterizada por argilitos, siltitos e arenitos (BACCI, 1994).

A Formação Tatuí é predominantemente constituída de siltitos. Subordinadamente ocorrem camadas de arenitos, calcários, folhelhos e sílex (LIMA, 2000). A Formação Irati aflora no rio Cabeça a montante de sua confluência com o rio Passa Cinco sendo constituída por uma seqüência basal de folhelhos cinza-escuros e cinza-claros e siltitos de coloração cinza e uma seqüência superior, composta por um banco de calcário dolomítico, sucedido por folhelhos cinza-escuros, folhelhos pretos, pirobetuminosos, alternados com camadas de calcário, geralmente, substituídas por sílex. A Formação Pirambóia ocorre em grande extensão da microbacia e é constituída por espessos corpos de arenitos esbranquiçados, amarelados e avermelhados, de granulometria fina a média, com intercalações de finas camadas de argilitos e siltitos (ZAINE, 1996).

A Formação Botucatu é constituída, quase inteiramente, de arenitos de granulação fina a média, uniforme, com boa seleção de grãos foscos com alta esfericidade. (LIMA, 2000). A Formação Serra Geral constitui-se de magmatitos basálticos, dentre os quais incluem derrames de lavras, soleiras e diques de diabásio (ZAINE e PERINOTTO, 1996). A Formação Rio Claro é litologicamente constituída por sedimentos predominantemente areníticos, por vezes conglomeráticos, com lâminas e leitos de argilas subordinadas com até 30 m de espessura.

4.5.3 Aspectos pedológicos

Na maior parte da microbacia há predomínio de solos podzólico vermelho-amarelo, seguido de latossolo vermelho-escuro segundo o mapa pedológico elaborado (Figura 33). Os solos podzólicos são solos vermelho-amarelo ácidos, de média fertilidade e completos, apresentando seqüências de horizontes A, B e C. Sua constituição é de sesquióxidos, minerais de argila, quartzo e alguns minerais primários. Já os latossolos são considerados ácidos e de baixa fertilidade. Estes solos, quando completos, apresentam perfil A, B e C, sendo o horizonte B o mais importante para sua definição e caracterização. São solos consistentes, formando massa pedológica constituída por sesquióxidos de ferro, minerais de argila e outros minerais primários de pouca resistência ao intemperismo (OLIVEIRA e PRADO, 1984).

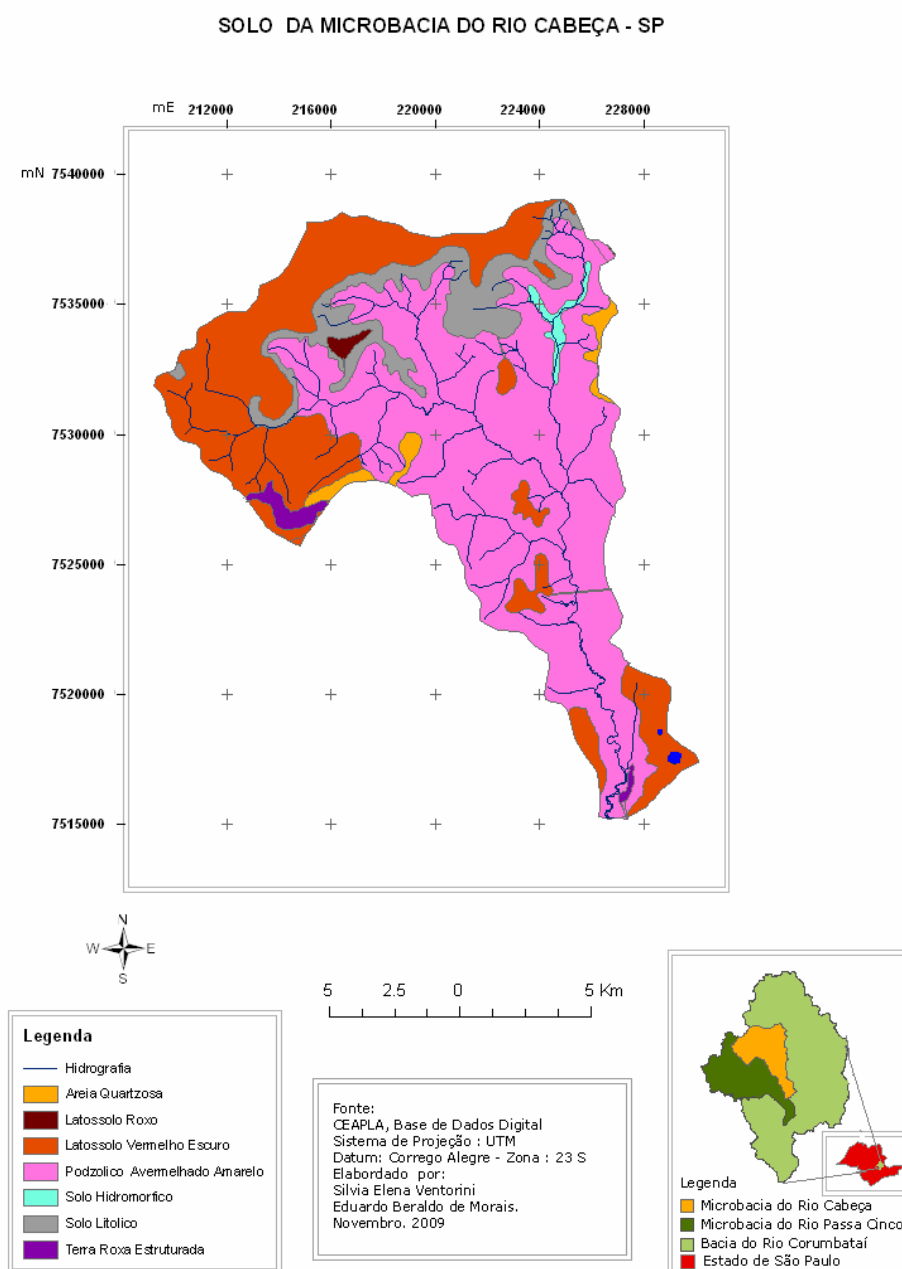


Figura 33. Mapa pedológico da microbacia do rio Cabeça.

4.6 Perspectivas do uso da terra e qualidade das águas na microbacia do rio Cabeça

O uso da terra na microbacia do rio Cabeça é representado por atividades tipicamente rurais (Figura 34 e Tabela 87). As pastagens e a cultura canieira ocupam perto de 70% da área total da microbacia seguido pela vegetação nativa com aproximadamente 18%. A Figura 34 permitiu ainda calcular a área da microbacia nos municípios de Itirapina (80,82 Km² ou 27,72%), Corumbataí (59,43 Km² ou 37,69%), Rio Claro (63,41 Km² ou 29,57%) e Ipeúna (10,77 Km² ou 5,02%).

USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL DA MICROBACIA DO RIO CABEÇA – SP (2008)

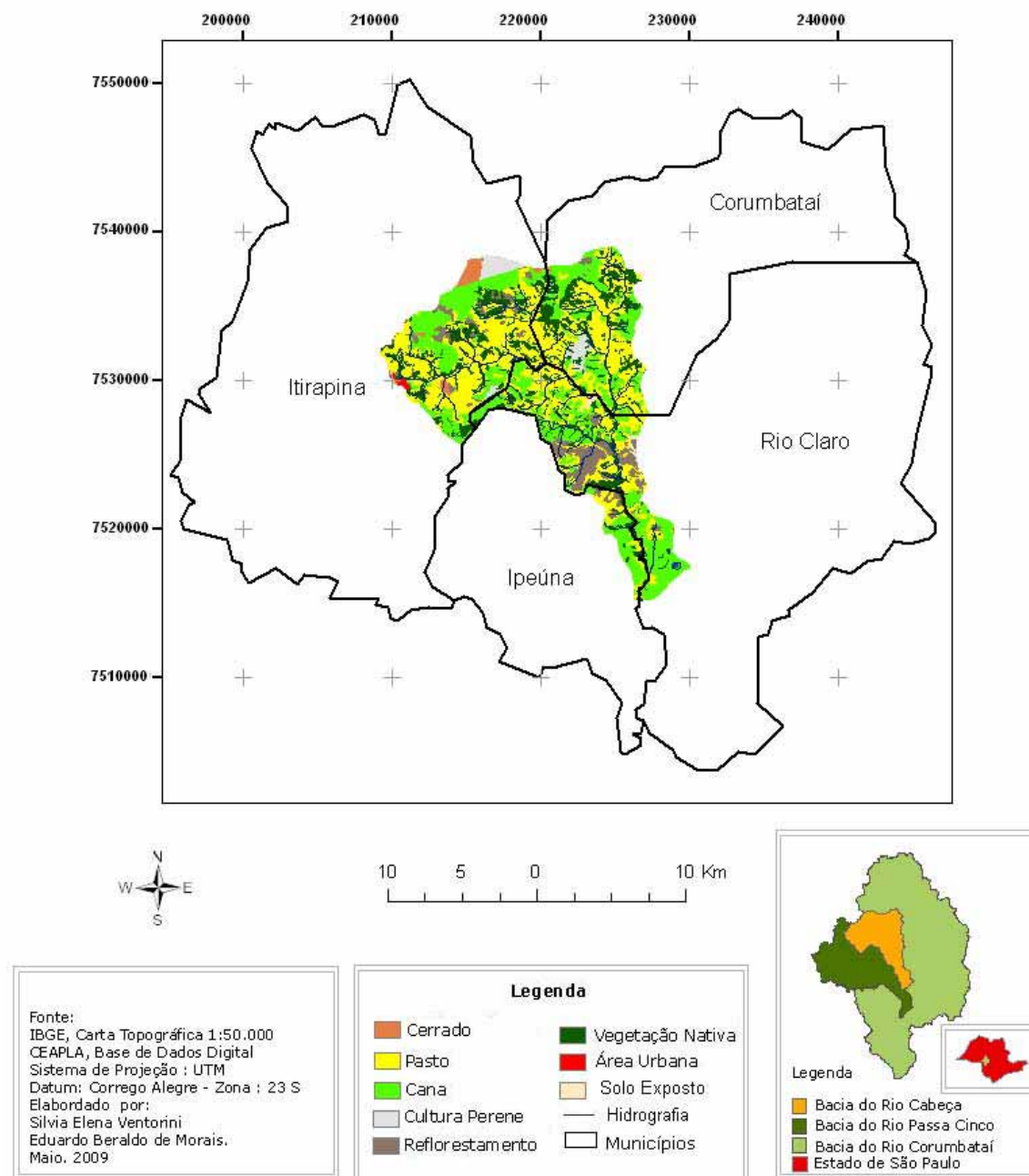


Figura 34. Mapa do uso da terra e cobertura vegetal da microbacia do rio Cabeça para o ano de 2008.

Tabela 87. Usos preponderantes da terra e cobertura vegetal na microbacia do rio Cabeça para o ano de 2008.

Usos da Terra - Classes	Km ²	Porcentagem (%)
Pastagem	83,91	39,13
Cana-de-açúcar	65,44	30,52
Cerrado	3,54	1,65
Cultura Perene	5,06	2,36
Vegetação Nativa	39,15	18,26
Reflorestamento	15,67	7,31
Campo Cerrado	—	0
Área Urbana	0,54	0,25
Corpo d' água	0,21	0,10
Solo exposto	0,92	0,43
SOMA	214,43	100,00

A análise da evolução do uso da terra e cobertura vegetal em uma microbacia permite avaliar a tendência e possíveis áreas suscetíveis a degradação decorrente das atividades antrópicas. A Figura 35 apresenta três cenários de uso da terra para as atividades de pastagem e cana-de-açúcar além da cobertura vegetal (mata nativa) para os anos 1962, 1988 e 2008, da área de estudo.

MICROBACIA DO RIO CABEÇA -SP

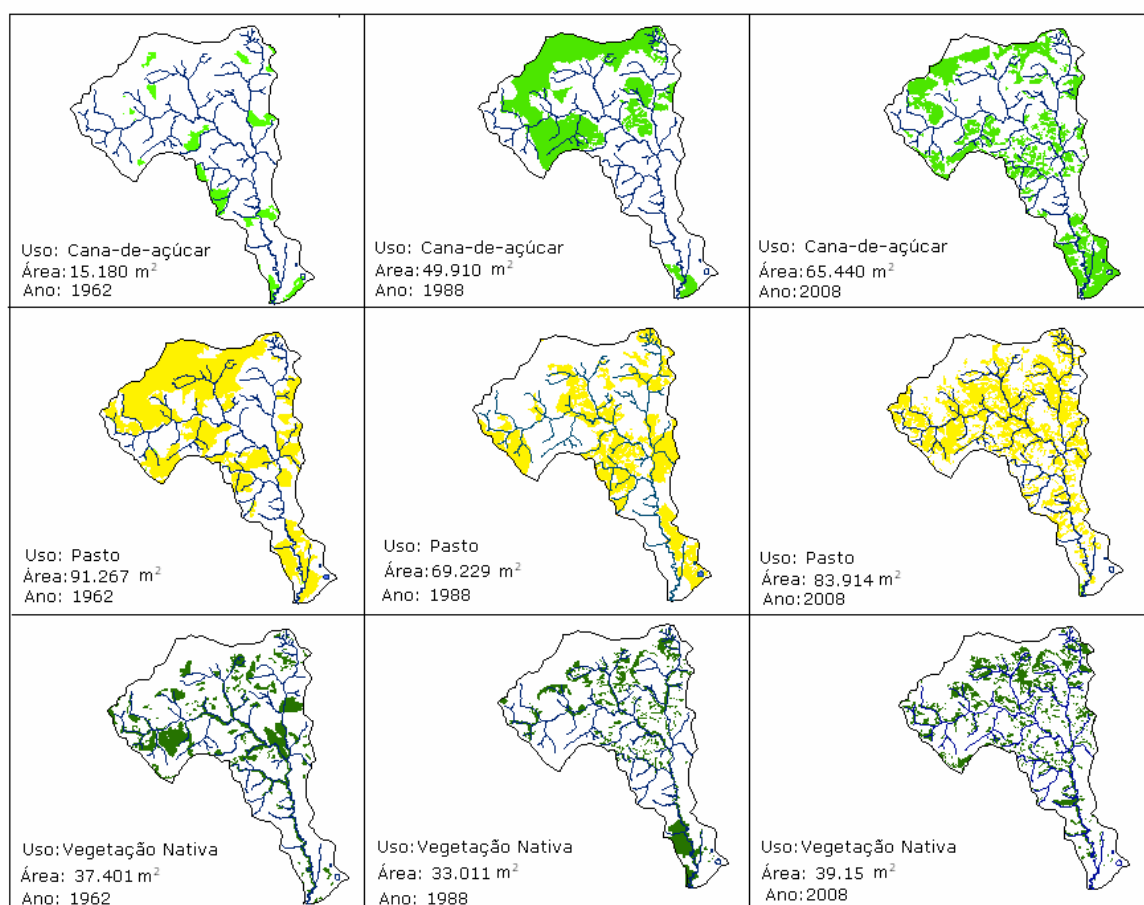


Figura 35. Evolução do uso da terra para a cana-de-açúcar, pastagem e vegetação nativa na microbacia do rio Cabeça nos anos de 1962, 1988 e 2008.

Verifica-se o aumento da cultura canavieira ao longo desses anos passando de pouco mais de 15,18 km² (7,08%) da área total da microbacia em 1962, para 49,91 km² (21,41%) em 1988 e atingindo uma marca de 65,44 km² (30,52%) em 2008. Há ainda uma tendência de aumento deste tipo de atividade como consequência da demanda por novas fontes energéticas, representada pelo álcool combustível. Os cenários de 1988 e 2008 mostram a ocupação das regiões das nascentes e próximas a estas para o plantio da cana-de-açúcar, aumentando os riscos relacionados à qualidade e quantidade das águas do rio Cabeça. A microbacia estudada é uma região sujeita a erosão com diferentes graus que variam de moderado a forte até muito forte a excessiva (FALQUETO, 2008). Foi verificado nessa região o desrespeito a preservação de Áreas de Preservação Permanente (APP), ou seja, a mata ciliar necessária para a proteção do rio Cabeça foi substituída pela cana-de-açúcar (Figura 36) e pastagem.

Tais impactos já têm sido relatados por diversos autores nos demais rios da bacia do Corumbataí conforme descrito ao longo do texto. Tauk-Tornisielo (2008) relatou a predominância de monoculturas na região, especialmente cana-de-açúcar, com seus efeitos negativos, como queimadas, produção de vinhaça e retiradas das matas ciliares substituídas pelas culturas.



Figura 36. Rio Cabeça nas proximidades do ponto de amostragem P1, onde a mata ciliar foi substituída pela cultura da cana-de-açúcar.

No caso da pastagem observou-se a diminuição de sua área ao analisar os cenários de 1962 (91,27 km² ou 42,56% da área total da microbacia) e 1988 (69,23% km² ou 32,29%). Percebe-se que algumas áreas anteriormente utilizadas para este tipo de atividade foram substituídas por cana-de-açúcar. Para o ano de 2008, a pastagem voltou a crescer sendo responsável pela cobertura de 83,91 km² de toda área da microbacia ou 39,13%.

A área ocupada pela vegetação nativa em 1962 era de 37,40 km² (17,44%) sendo suprimida até o ano de 1988 quando se observou uma área de 33,01 km² (15,40%) e apresentando regeneração nos 20 anos seguintes, cuja área atingiu 39,15 km² (18,26%). Este aumento é acompanhado da fragmentação deste tipo de mata. Quando a fragmentação é decorrente de atividades antrópicas, ocorre ameaça na biodiversidade, pois os processos biológicos e naturais dos mais diversos ecossistemas são afetados.

As pastagens e a cultura canavieira ocupam perto de 70% da microbacia do rio Cabeça. Nesta unidade de estudo foram detectados graves problemas associados à erosão, provenientes do pisoteio do gado ou do manejo efetuado com maquinário agrícola pesado, que tornam o solo compactado e pobre em matéria orgânica, incentivando o escoamento e o esfacelamento dos agregados. Como consequência dessas atividades associadas à má conservação das matas ciliares, há vários trechos assoreados no rio Cabeça. A Figura 37 mostra o ponto de amostragem P2 cuja profundidade do corpo hídrico não ultrapassou 50 cm e há grande quantidade de areia em seu leito. É observada ainda a ausência da vegetação ripária e instabilidade das margens, situação que pode se tornar mais crítica no período de maior pluviosidade. A Figura 38 revela uma situação mais grave, onde é possível observar a grande quantidade de material que foi carregado para o leito do rio.



Figura 37. Ponto de amostragem P2 no Rio Cabeça indicando a ausência de mata ciliar e assoreamento.



Figura 38. Trecho nas proximidades do ponto de amostragem P3 do rio Cabeça (médio curso) com alto grau de assoreamento.

Ainda próximo ao ponto de amostragem P3 foi verificado o depósito de grande quantidade de entulho e materiais de construções, ocorrendo a formação de pequenos locais com represamento da água (Figura 39). Em muitas oportunidades foram observados bovinos nestes locais, dificultando ainda mais a regeneração da mata ciliar devido ao pisoteamento.

Tauk-Tornisielo e Palma-Silva (2008) já haviam apontado que a falta de cobertura vegetal em torno das margens do rio, juntamente com o mau uso e ocupação das áreas adjacentes ao rio Corumbataí, prejudica a qualidade da água causando a erosão e assoreamento desse corpo hídrico. Relacionado a cultura predominante na microbacia do rio Cabeça, ou seja, cana-de-açúcar, Falqueto (2008) apontou que esta leva a uma perda média de solo da ordem de 45 t.ha^{-1} , tendo como consequência o aumento da turbidez da água devido à erosão, especialmente no período chuvoso/quente, que coincide com o término da atividade agrícola resultando campos desprotegidos e desgaste do solo.



Figura 39. Entulhos e resíduos de construções depositados junto às margens do rio Cabeça nas proximidades do ponto de amostragem P3.

O assoreamento dos corpos hídricos pode trazer diversos problemas, desde a interferência na qualidade da água devido ao carreamento de poluentes juntamente com as partículas minerais até o alargamento do leito do rio e alterações na quantidade da água. Em

conversa informal com os moradores rurais da região verificou-se a preocupação de alguns com relação à quantidade da água do rio Cabeça, sendo relatado a diminuição da vazão do rio ao longo das duas últimas décadas, além dos impactos ambientais citados anteriormente, como também ao acréscimo do uso da irrigação na agricultura.

4.7 Considerações finais

O problema ambiental nos dias atuais tornou-se objeto de grande questionamento e de abordagens multidisciplinares, em buscas de soluções para o alcance do chamado desenvolvimento sustentável. Este visa a convivência harmônica entre homem e ambiente, seja nos centros urbanos ou zonas rurais, perante o desenvolvimento econômico alvejado por todo o mundo.

Este estudo sobre a qualidade das águas do rio Cabeça e os impactos negativos sofridos por sua área de drenagem, mostra que a qualidade das águas, segundo o IQA estabelecido pela CETESB, é classificada como boa. No entanto, esta conclusão não pode ser vista como um cenário promissor.

A microbacia do rio Cabeça sofre diversos impactos relacionados ao uso da terra sendo identificada a ausência de vegetações protegidas por lei, no caso a mata ciliar, em alguns trechos deste corpo hídrico e graves casos de assoreamento. O cultivo da cultura da cana-de-açúcar em áreas não apropriadas também foi identificado, sendo grave a situação da substituição da mata ripária por este vegetal, como foi identificado.

As atividades agropecuárias desenvolvidas na área representam riscos a este corpo hídrico uma vez que essas atividades favorecem o escoamento superficial o qual foi identificado como sendo um dos fatores atuantes na determinação da qualidade da água. Desse modo, a poluição difusa decorrente das atividades agrícolas contribuirá, e já está contribuindo, para a alteração de variáveis como os compostos fosforados e nitrogenados, turbidez e cor aparente. A criação de animais também contribui para a degradação da qualidade da água uma vez que parâmetros como DBO e *Escherichia coli* podem sofrer alterações devido a resíduos gerados.

A recuperação das matas ciliares e o reflorestamento em outras áreas de preservação permanente (APP) irão contribuir para a preservação do corpo hídrico estudado. É necessário programa de incentivo aos proprietários rurais para tais atitudes, por meio de subvenção na compra de mudas de espécies nativas e repasse de tecnologia de formação e manutenção de florestas nativas e matas ciliares. Dessa forma, suas atividades tendem a contribuir para a

melhoria da qualidade das águas dos cursos hídricos e manutenção da vazão das nascentes, reduzindo e evitando o assoreamento além de auxiliar na preservação da fauna e flora.

Fica evidente que estudos específicos da qualidade da água em corpos hídricos superficiais devem ser acompanhados da determinação de outros parâmetros, principalmente em função do uso da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica, pois dessa forma diagnósticos ambientais detalhados podem ser obtidos seguidos da correção dos impactos negativos ou até mesmo a antecipação da degradação dos fatores ambientais. Desse modo, a caracterização das fontes poluidoras em uma bacia hidrográfica torna-se necessária para a gestão adequada dos recursos hídricos, além de subsidiar modelos de desenvolvimento sustentável e outros fatores de igual importância.

5. CONCLUSÕES

A avaliação das condições ambientais na microbacia do rio Cabeça através do estudo de parâmetros físicos, químicos e biológicos da água, IQA e evolução do uso da terra e cobertura vegetal, permitiu concluir que:

- A maioria dos valores de DBO e *Escherichia coli* encontrada para o rio Cabeça estiveram em desacordo com o estabelecido pelo Decreto Estadual 8468/1976 e Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, o que permite reclassificá-lo como classe 4;
- As águas do rio Cabeça demonstraram ser levemente ácidas e ácidas, sendo que alguns valores para o pH ficaram abaixo do limite mínimo estabelecido para rios de classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005;
- Os indicadores microbiológicos aqui analisados, coliformes totais e *Escherichia coli*, apresentaram correlação significativa com os parâmetros turbidez, cor aparente, sólidos totais dissolvidos, fósforo total e nitrogênio total. A amônia se correlacionou somente com o primeiro grupo de bactérias citado. Pode-se inferir que as principais fontes desses microrganismos são os esgotos derivados das residências rurais e criação de animais e o escoamento superficial;
- A análise de metais mostrou que a maioria dos valores de Fe e alguns valores encontrados de Al estiveram acima do limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, o que se devem as características dos solos na região;

- Dentre os parâmetros qualitativos da água estudados, somente a DBO não sofreu interferência do fator período de estudo, ou seja, períodos chuvoso/quente e seco/frio;
- Nenhum parâmetro de qualidade da água analisado para o rio Passa Cinco sofreu alterações significativas ao receberem as águas do rio Cabeça;
- A análise da componente principal permitiu identificar o escoamento superficial das áreas agrícolas (poluição difusa) como a principal fonte determinante da qualidade da água do rio Cabeça;
- A qualidade da água do rio Cabeça é classificada como boa segundo o Índice de Qualidade da Água (IQA) desenvolvido pela CETESB, apesar dos parâmetros biológicos, DBO e *Escherichia coli* estarem em desacordo com a legislação vigente;
- Há ausência das matas ciliares, principalmente no baixo curso do rio Cabeça;
- Na primeira metade do curso do rio Cabeça há vários trechos assoreados;
- As atividades agropecuárias, cultura de cana-de-açúcar e pastagem, predominam na microbacia do rio Cabeça ocupando aproximadamente 70% da área;
- Apesar da manutenção e até mesmo do aumento da área da vegetação nativa atual comparada com os cenários de 1962 e 1988, verificou-se a fragmentação da mesma, o que representa ameaça a biodiversidade pois os processos biológicos e naturais dos mais diversos ecossistemas são afetados;
- É necessário disciplinar o uso e ocupação da terra e recuperar a vegetação nativa em áreas de preservação permanente, principalmente as matas ciliares, para a manutenção e conservação da quantidade e qualidade das águas na microbacia do rio Cabeça.

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; GOMES, R. B.; LOBATO, F. A. O. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.6, p.1791-1797. 2007a.

ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; DISNEY W.; ALVES, A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n.3, p.683-690. 2007b.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 ed. Washington: American Public Health Association, AWWA, WPCF, 1998. 1569p.

ARMAS, E. D.; MONTEIRO, R. T. S.; AMÂNCIO, A. V.; CORREA, R. M. L.; GUERCIO, M. A. Uso de agrotóxicos em cana-de-açúcar na bacia do rio Corumbataí e o risco de poluição hídrica. **Química Nova**, São Paulo, v.28, n.6, p.975-982, 2005.

ARMAS, E. D. **Biogeodinâmica de herbicidas utilizados em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na sub-bacia do rio Corumbataí**. 2006. 186p. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ASSIS, R. B. Gerenciamento de bacias hidrográficas: descentralização. In: TAUKTORNISIELO, S. M.; GOBBI, N.; FORESTI, C.; LIMA, S. T. (Org.). **Análise ambiental: estratégias e ações**. Rio Claro: Centro de Estudos Ambientais – UNESP, 1995. p.122-129.

ATTANASIO, C. M. **Planos de manejo integrado de microbacia hidrográfica de uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade**. 2004. 193f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais, Área de Concentração em Conservação de Ecossistemas Florestais), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

AZEVEDO, T. S. **Análise espaço temporal fractal de matas ciliares na alta bacia do rio Passa Cinco – Centro leste do estado de São Paulo**. 2003. 161f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Área de Concentração em Análise da Informação Espacial), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

BACCI, D. C. **Extração de areia na bacia do Rio Corumbataí, Rio Claro, SP**. 1994. 115f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

BARRETO, A. S. **Estudo da distribuição de metais em ambiente lótico, com ênfase na assimilação pelas comunidades biológicas e na sua quantificação no sedimento e na água**. 1999. 276p. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

BASANTA, M. V. **Dinâmica do nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo de resíduos da colheita**. 2004. 83f. Tese (Doutorado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia) Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BATTALHA, B. L.; PARLATORE, A. C. **Controle da qualidade da água para consumo humano: bases conceituais e operacionais**. São Paulo: CETESB, 1977. 198p.

BENGRAÏNE, K.; MARHABA, T. F. Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality. **Journal of Hazardous Materials**. n.100, p.179-195. 2003.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução do CONAMA nº 20**. Brasília: MMA, 1986. 16p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução do CONAMA nº 357**. Brasília: MMA, 2005. 23p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Microbacias: produção auto sustentada**. Brasília, DF, Folder de divulgação do PNMH, Ministério da Agricultura, 1988.

CARMASSI, A. L. **Variação espaço-temporal na composição da comunidade de peixes do rio Passa Cinco (SP)**. 2008. 63f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas, Área de Concentração em Zoologia), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2001**. São Paulo: CETESB, 2002. 227p.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2004**. São Paulo: CETESB, 2005. 297p.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2008**. São Paulo: CETESB, 2009. 528p.

CETRA, M. **Caracterização das assembléias de peixes na bacia do rio Corumbataí**. 2003. 90f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

CHAGAS, G. C. **Avaliação do potencial bioindicador de *Trichodactylus fluviatilis* (Latreille, 1828) (Crustacea: Decapoda: Trichodactylidae) na bacia do rio corumbataí (SP).** 2008. 61f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas, Área de Concentração em Zoologia), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. Parâmetros hidrológicos e estatísticos para estimativa de vazão nos rios da bacia do rio Corumbataí. **Geociências**. São Paulo, v.21, n.1/2, p.147-157, 2002.

CONCEIÇÃO, F. T. **Comportamento geoquímico de radionuclídeos e metais pesados em solos da bacia do rio Corumbataí (SP).** 2004. 128f. Tese (Doutorado em Geologia Regional, Área de Concentração Geologia Regional), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

CORVALÁN, S. B. **Levantamento e caracterização dos atrativos naturais da bacia do rio Passa Cinco, através de geoprocessamento.** 2005. 107f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

CUNHA, M. A. A. **Diagnóstico de qualidade das águas da bacia do Ribeirão Claro (SP) através de diversas análises inclusive multivariadas.** 2000. 168f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). 2009. **Decreto nº 10755, de 22 de novembro de 1977.** http://www.daee.sp.gov.br/legislacao/decreto_10755.htm.

DORES, E. F. G. C. **Contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas em Primavera do Leste, Mato Grosso.** 2004. 281f. Tese (Doutorado em Química) Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2004.

DOTTA, G. **Diversidade de mamíferos de médio e grande porte em relação à paisagem da bacia do rio Passa-Cinco, São Paulo**. 2005. 116f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Medição da vazão em rios pelo método do flutuador**. Concórdia: EMBRAPA, 2007. 4p.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Stream flow. In: ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Volunteer stream monitoring: a methods manual**. Washignton: EPA, 1997. p.134-138.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

FALQUETO, M. A. **Avaliação do índice de qualidade da água (IQA) e dos elementos químicos nas águas e nos sedimento do rio Corumbataí-SP**. 2008. 116f. Dissertação (Mestrado e Ecologia Aplicada), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FERREIRA, F. R. B. **Análise integrada de dados no estudo da dinâmica da terra em uma bacia hidrográfica: o caso do rio Balsinhas-MA**. 2006. 111f. Tese (Doutorado em Geografia, Área de Concentração em Análise da Informação Espacial), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Caderno de Saúde Pública**. Rio de Janeiro, v.17, n.3, p.651-660, 2001.

GERTEL, P. **Estudo dos impactos ambientais negativos do córrego São Joaquim na bacia do Ribeirão Claro, SP**. 2002. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

GERTEL, P.; TAUKE-TORNISIELO, S. M.; MALAGUTTI, E. N. Qualidade das águas dos córregos São Joaquim e Ribeirão Claro, bacia do rio Corumbataí, SP. **Holos Environment**. Rio Claro, v.3, n.2, p.103-119, 2003.

GHELER-COSTA, C. **Distribuição e abundância de pequenos mamíferos em relação à paisagem da bacia do Rio Passa-Cinco, São Paulo, Brasil**. 2006. 90f. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

GIRÃO, E. G.; ANDRADE, E. M.; ROSA, M. F.; ARAÚJO, L. F. P.; MEIRELES, A. C. M. Seleção dos indicadores da qualidade da água no Rio Jaibaras pelo emprego da análise da componente principal. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v.38, n.1, p.17-24, 2007.

GOLLA, A. R. **Meio ambiente e agricultura na microbacia hidrográfica do córrego Palmitalzinho - Regente Feijó/São Paulo**. 2006. 90f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2006.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E. TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5ª ed., Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNANDEZ, J. M.; FERNANDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. **Water Research**. Amsterdam, v. 34, n.3, p.807-816, 2000.

HIRATA, V. M. **Uma abordagem ecológica da nitrificação no rio Passa Cinco, Ipeúna-SP através de análises químicas da água**. 2006. 65f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

HOSHINA, M. M. **Avaliação da possível contaminação das águas do Ribeirão Claro – município de Rio Claro, pertencente à bacia do rio Corumbataí, por meio de testes de mutagenicidade em *Allium cepa***. 2002. 93f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo – escala 1:1.000.000**. São Paulo, 1981. 2v. (Monografias, 6).

KOFFLER, N. F. Uso das terras da bacia do rio Corumbataí em 1990. **Geografia**, v.18, n.1, p.135-150, 1993.

LEPARGNEUR, H.; A água: qualidade de vida. O desafio do século. **O mundo da Saúde**. São Paulo, v.28, n.4, p.364-372, 2004.

LIMA, J. L. N. **Hidroquímica pluvial e fluvial na bacia do rio Corumbataí (SP) e relações com o uso do Pb-210 como geocronômetro**. 2000. 260f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

LIMA-JÚNIOR, S. E. **A ictiofauna e a qualidade da água em trechos do rio Corumbataí – SP**. 2003. 231p. Tese (Doutorado), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. 152f. Tese (Doutorado em Agronomia, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MACHADO, T. T. V.; GADELHA, C. L. M.; MADRUGA, M. S.; SILVA JÚNIOR, W. R.; COLARES, D. A.; QUEIROGA, A. L. Avaliação dos teores de chumbo em mananciais utilizados para fins de abastecimento público urbano: o caso da bacia do rio Gramame, no estado da Paraíba. **Revista de estudos ambientais**, Blumenau, v.8, n.1, p.89-99, 2006.

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

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**. 1999. 117f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

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.

MESSIAS, T. G. **Influência da toxicidade da água e sedimento dos rios São Joaquim e Ribeirão Claro na bacia do rio Corumbataí**. 2008. 125f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

MILANI, R. **Diagnóstico da influência da bacia hidrográfica na qualidade da água do Ribeirão Bagaçu (Araçatuba, SP)**. 2007. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilhas Solteira, 2007.

MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo**. São Paulo: USP – Instituto de Geografia, 1973. 130p.

MORAIS, E. B. **Análise espaço-temporal da qualidade da água em um trecho do rio Corumbataí – SP, e comparação com a legislação ambiental vigente**. 2001. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

NIKAIDO, M.; OLIVEIRA, A. S.; TREVILATO, T. M. B.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. Análise da qualidade da água do córrego Monte Alegre e afluentes, Ribeirão Preto, SP: enfoque para coliformes fecais e metais pesados. **O mundo da Saúde**. São Paulo, v.28, n.4, p.414-420, 2004.

OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo**: Quadrícula de São Carlos II. Memorial descritivo. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 1984. 188p.

OPPA, L. F. **Utilização de modelo matemático de qualidade da água para análise de alternativas de enquadramento do rio Vacacaí Mirim**. 2007. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

OUYANG, Y. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. **Water Research**. Amsterdam, v.39, p.2621-2635, 2005.

OUYANG, Y.; NKEDI-KIZZA, P.; WU, Q. T.; SHINDE, D.; HUANG, C. H. Assessment of seasonal variations in surface water quality. **Water Research**. Amsterdam, v.40, p.3800-3810, 2006.

PALMA-SILVA, G. M. **Diagnóstico ambiental, qualidade da água e índice de depuração do rio Corumbataí, SP**. 1999. 155f. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos, Área de Concentração Gestão Integrada de Recursos), Centro de Estudos Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

PALMA-SILVA, G. M. **Relação dos indicadores microbiológicos com outros parâmetros limnológicos no rio Corumbataí, SP, no intuito de propor um modelo matemático para gestão ambiental**. 2006. 174f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, Área de Concentração Microbiologia Aplicada), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

PALMA-SILVA, G. M.; TAUKE-TORNISIELO, S. M.; PIÃO, A. C. Capacidade de autodepuração de um trecho do rio Corumbataí, SP, Brasil. **Holos Environment**, Rio Claro, v.7, n.2, p.139-153, 2007.

PEÇANHA, M. P. **Parâmetros microbiológicos da água do Ribeirão Claro (Rio Claro-SP)**. 1993. 129f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas, Área de Concentração em Biologia Vegetal), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1993.

PELCZAR Jr, M. J.; CHAN, E. C. S; KRIEG, N. R. **Microbiologia – conceitos e aplicações**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2005. 530p.

PIÃO, A. C. S.; PALMA-SILVA, G. M.; BRUNO, R. L.; TAUKE-TORNISIELO, S. M. Modelagem matemática para gestão ambiental. In: TAUKE-TORNISIELO, S. M.; ESQUIERRO, J. C. **Bacia do rio Corumbataí – aspectos socioeconômicos e ambientais**. 1º ed. Consórcio PCJ. 2008, p.145-156.

PINTO, A. L.; MAURO, C. A. A. A importância do Ribeirão Claro para o abastecimento de água da cidade de Rio Claro, SP. **Boletim de Geografia Teórica**. Rio Claro, v.15, n.29-30, p.115-127, 1985.

PRANDI-ROSA, G. A. **Avaliação de parâmetros de qualidade das águas superficiais em mananciais do município de Jales – SP**. 2001. 102f. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos, Área de Concentração Gestão Integrada de Recursos), Centro de Estudos Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

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**. 2008. 111f. Dissertação (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.** 2001. 145f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

RONDINELI, G. R. **Biologia alimentar e reprodutiva na comunidade de peixes do rio Passa Cinco (SP).** 2007. 127f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas, Área de Concentração em Zoologia), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

SALATI, E. **Diagnóstico ambiental sintético e qualidade da água como subsidio para o planejamento regional integrado da bacia do rio Corumbataí, SP.** 1996. 199f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

SANTOS, A. A. O.; SILVA, I. M.; TAUKE-TORNISIELO, S. M. Pesque-pague: fatores bióticos e abióticos. In: TAUKE-TORNISIELO, S. M.; ESQUIERRO, J. C. **Bacia do rio Corumbataí – aspectos socioeconômicos e ambientais.** 1º ed. Consórcio PCJ. 2008a, p.171-184.

SANTOS, M. A. P. F. **Avaliação da qualidade da água e sedimentos da sub-bacia do rio Corumbataí (SP) por meio de testes ecotoxicológicos.** 2008. 186f. Tese (Doutorado em Ciências), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

SÃO PAULO. **Decreto Estadual nº 8.468.** São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 1976. 75p.

SEILER, H. G.; SIGEL, H. **Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds,** New York: Marcel Dekker. 1988. 1024p.

SILVA, A. L. B. **Caracterização ambiental e estudo do comportamento do chumbo, zinco e boro em área degradada por indústrias cerâmicas - região dos lagos de Santa Gertrudes, SP.** 2001. 229f. Dissertação (Mestrado em Geociências, Área de Concentração

em Recursos Minerais e Hidrogeologia), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2001.

SILVA, N.; CANTÚSIO NETO, R.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A. **Manual de métodos de análise microbiológica da água**. Varela Editora e Livraria Ltda. 164p. 2005.

SPICACCI, M. T. B. **Avaliação da qualidade da água após o lançamento de esgoto no Ribeirão Claro (Rio Claro, SP)**. 1990. 87f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1990.

TAUK-TORNISIELO, S. M. Aspectos gerais da bacia do rio Corumbataí. In: TAUK-TORNISIELO, S. M.; ESQUIERRO, J. C. **Bacia do rio Corumbataí – aspectos socioeconômicos e ambientais**. 1º ed. Consórcio PCJ. 2008, p.7-22.

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**. 1º ed. Consórcio PCJ. 2008, p.105-118.

TAUK-TORNISIELO S. M.; PALMA-SILVA, G. M. Qualidade das águas. In: TAUK-TORNISIELO, S. M.; ESQUIERRO, J. C. **Bacia do rio Corumbataí – aspectos socioeconômicos e ambientais**. 1º ed. Consórcio PCJ. 2008, p.85-104.

TINTOR, D. B. **Determinação de micronutrientes e metais-traço e avaliação socioeconômica e da percepção ambiental dos clientes nas unidades de pesque-pague localizadas na bacia do rio Corumbataí, SP**. 2008. 155f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

TROPMAIR, H.; MACHADO, M. L. A. Variação da estrutura da mata galeria na bacia do rio Corumbataí (SP) em relação à água do solo, do tipo de margem e do traçado do rio. **Biogeografia**, São Paulo, n.8, p.1-28, 1974.

TUNDISI, J. G.; STRAŠKRABA, M. Strategies for building partnerships in the context of river basin management : ecotechnology and ecological engineering. **Lakes & Reservoirs: Research & Management**, Melbourne, v.1, p.31-38. 1995.

VALENTE, R. O. A. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Corumbataí, SP**. 2001. 144f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais, Área de Concentração em Conservação de Ecossistemas Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

VASCONCELLOS, F. C. S.; IGANCI, J. R. V.; RIBEIRO, G. A. Qualidade microbiológica da água do rio São Lourenço, São Lourenço do Sul, Rio Grande do Sul. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.73, p.177-181. 2006.

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

VIADANA, A. G. **Análise da qualidade hídrica do alto e médio Corumbataí (SP) pela aplicação de bioindicadores**. 1985. 115f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1985.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452p.

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, 2007. 588p.

VOUTSA, D.; MANOLI, E.; SAMARA, C.; SOFONIOU, M.; STRATIS, I. A study of surface water quality in Macedonia, Greece: speciation of nitrogen and phosphorus. **Water, Air and Soil Pollution**. n.129, p.13-32. 2001.

ZAINE, M. F. **Patrimônio da região de Rio Claro, Ipeúna e Serra dos Padres**: análise da compatibilidade com a ocupação atual e consideração sobre a sua exploração e conservação. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1996. 83p.

ZAINE, M. F.; PERINOTTO, J. A. **Patrimônios naturais e história geológica da região de Rio Claro-SP**. Rio Claro: Câmara Municipal de Rio Claro; Arquivo Público e Histórico do Município de Rio Claro, 1996. 91p.

ZIMMERMANN, C. M.; GUIMARÃES, O. M.; PERALTA-ZAMORA, P. G. Avaliação da qualidade do corpo hídrico do rio Tabagi na região de Ponta Grossa utilizando análise de componentes principais (PCA). **Química Nova**. São Paulo, v.31, n.7, p.1727-1732, 2008.