UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA E QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA, SP, COMO SUPORTE À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

RACHEL BARDY PRADO

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requesitos para obtenção do Título de Doutor em Engenharia, Área de concentração Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profª Drª. **Evlyn Márcia Leão De Moraes Novo**

São Carlos
2004

Dedico ao meu esposo Márcio pelo amor incondicional.

Dedico aos meus avós Artur e Maria, Amador (in memorian) e Nina, aos meus pais Eudamir e Nilda,
aos meus irmãos Rúbia, Gustavo e Guilherme e aos
meus sobrinhos Fellipe e Gabriel pelo carinho.

É com muita admiração e respeito que ofereço à minha orientadora e amiga Evlyn, profissional incomparável pela dedicação, competência e ética e um ser humano maravilhoso, de coração imenso.

AGRADECIMENTOS

À Dra. Evlyn Novo pela orientação efetiva, confiança e aprendizado.

À Fapesp, órgão financiador, por ter reconhecido a importância desta pesquisa de doutorado - processo n° 00/02682-1.

Ao SERE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela infraestrutura e apoio técnico relacionado à aplicação das geotecnologias (chefias, pesquisadores, funcionários, secretárias e alunos de pós-graduação), em especial ao Cláudio Barbosa, Mantovani e Madalena Niero (auxílio nos trabalhos de campo), ao Cláudio Barbosa, Eymar Pinheiro, Júlio D'Alge, Camilo Rennó e Brenner Silva (por terem sanado tantas dúvidas) ao Eduardo Camargo (auxílio na geoestatística) e ao Eduardo Pinheiro pelo auxílio na delimitação da bacia e sub-bacias de estudo.

Ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada pela infraestrutura cedida para as análises laboratoriais das amostras de água em nome do prof. Dr. Evaldo Gaeta Espíndola que teve papel fundamental nesta pesquisa, destacando ainda a colaboração dos técnicos Marcelo Nogueira, Amândio Nogueira, Valdomiro Filho e dos alunos de pós-graduação Érica Argenton, Alessandro Minilo e Domingos Barbosa.

Ao DEBE - Universidade Federal de São Carlos em nome da profa. Dra. Odete Rocha pela infra-estrutura cedida para as coletas das amostras de água em campo, destacando a colaboração dos técnicos José Valdecir de Lucca, Airton dos Santos e Luiz.

Aos órgãos fornecedores de dados: INPE (imagens dos satélites Landsat 5 e 7), IPT (Mapa geológico do Estado de São Paulo), IAC (Mapa pedológico do Estado de São Paulo), DAEE Piracicaba (dados de precipitação da bacia de estudo).

Aos profissionais que auxiliaram na ponderação dos temas: pedologia (MSc. Rodrigo Demonte - Embrapa Solos - RJ), geomorfologia (MSc. Marcelo Dantas - CPRM - RJ) e geologia (MSc.Kátia Mansur - DRM - RJ).

Ao Chefe de P&D da Embrapa Solos, Dr.Aluísio Granato e ao estagiário Bruno Almeida, cujo apoio na fase de finalização da tese foi de extrema importância.

Às minhas companheiras de república Celina, Andréia, Luciana (São Carlos) e Cíntia (São José dos Campos) e às dicas limnológicas da amiga e profa. Ana Lúcia.

À todos os amigos que contribuíram direta e indiretamente para esta pesquisa me proporcionando alegrias, seja em São Carlos, em São José dos Campos e no Rio de Janeiro, em especial à amiga Tatiana Walter.

Aos amigos distantes e à minha família, o meu perdão pela ausência nos últimos tempos. Saibam que sempre estiveram presentes em mim.

Ao Márcio pela paciência e compreensão.

À Deus, por ter me iluminado nos momentos mais difíceis e por ter me privilegiado por compartilhar da experiência profissional e de vida de tantas pessoas especiais, aprendizado ímpar, ao longo desta pesquisa.

... “O rio nasce, sempre numa região elevada. Pode ser no alto de uma montanha. Em sua infância, é leve e irrequieto, como qualquer criança ou animal novo: corre, salta, ora atirando-se de grandes alturas, ora cascateando ruidosamente por entre os seixos, ora descansando, ofegante, em seu leito de areia branca e brilhante. Seu aspecto é sadio e límpido, irradiando pureza; seu corpo é fresco como o orvalho da manhã; sua cor é o puro azul do céu refletido. Seu alimento é o que lhe proporciona o seio fértil da Terra-mãe.

Depois cresce. Suas águas se avolumam. Torna-se majestoso e tranqüilo. Viaja. Percorre grandes planícies, profundos vales, circunda montanhas, salta perigosos penhascos. Conhece o homem. Avizinha-se de suas cidades, trabalha para ele – move seus engenhos, transporta suas embarcações, dessedenta-lhe os rebanhos e as plantações, oferece-lhe seus peixes e prova o sabor amargo de sua ingratidão.

A princípio, sente-se beneficiado e recompensado pelo auxílio prestado. O homem represa-o, sofreando seu ímpeto juvenil, domesticando-o e oferecendo-lhe amplos leitos para seu repouso. Além disso, ao irrigar as plantações, recebe pequenas parcelas dos mesmos alimentos empregados na lavoura para dar viço às plantas. Sente-se fortalecido; suas células reproduzem intensamente, captando as energias que o sol proporciona prodigamente às suas águas tranqüilas e cristalinas e produzem alimento farto e oxigênio abundante aos seus peixes. De repente, porém, sente-se traído. As águas que ele, de forma tão benigna, oferecia ao homem para saciar-lhe a sede, são-lhe devolvidas carregadas de imundícies. Alimento, sim, mas impregnado de tantas substâncias estranhas e bactérias nocivas que lhe é difícil digerir. Além disso, em tão grande quantidade que a maior parte permanece indigesta, formando um lodo escuro e fétido, em seu leito, ou em fina suspensão, em suas águas, impedindo a penetração benéfica dos raios de sol e soterrando pequenos e indefesos animais.

E não é só isso. Ao passarem suas águas pelo interior das indústrias tornam-se veículos de toda a sorte de tóxicos, detritos, graxas, sabões, tintas e outros muitos compostos que conspurcam totalmente aquilo que fora outrora seu maior motivo de orgulho: sua espelhada superfície azul. Ao sair da cidade ele sofreu uma total transformação. Suas águas tornaram-se negras e fétidas. Seu leito é sujo e lodoso. Sua superfície é coberta dos mais variados tipos de corpos flutuantes: uma camada de óleo impede seu crispar de prazer ao roçar acariciante da brisa; espessas crostas de espuma acumulam-se em suas curvas, outrora graciosas; borbulhas de gases mefíticos, desprendidos de seu leito, explodem à superfície, formando pequenos círculos concêntricos na água negra e pesada; latas velhas, papéis e toda uma enorme variedade de imundícies são transportados juntamente com a multidão dos cadáveres de seus peixes asfixiados, envenenados, destruídos pela insalubridade do ambiente.

E o rio, em sua plena juventude, sente essa asfixia. Sente o envenenamento. E morre...”

SAMUEL MURGEL BRANCO
Poluição: a morte de nossos rios

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS i
LISTA DE TABELAS iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS vi
RESUMO viii
ABSTRACT ix

1.0 INTRODUÇÃO 1

2.0 OBJETIVOS 4

3.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 6
3.1 Fatores relacionados à degradação da água, com destaque para os reservatórios 6
3.1.1 Processo de eutrofização 8
3.1.2 Interferência do uso e cobertura da terra na qualidade da água 9
3.1.3 Variabilidade espacial e temporal das propriedades limnológicas 11
3.1.3.1 Fósforo (Ptotal, PID e PTD) 11
3.1.3.2 Nitrogênio (Ntotal, NO_2, NO_3, NH_4) 12
3.1.3.3 Transparência da água (Profundidade do Disco de Secchi) 12
3.1.3.4 Condutividade elétrica 12
3.1.3.5 Oxigênio dissolvido (OD) 13
3.1.3.6 Temperatura 13
3.1.3.7 Potencial Hidrogeniônico (pH) 14
3.1.3.8 Materiais sólidos em suspensão (orgânicos, inorgânicos e totais) 14
3.1.3.9 Clorofila a total 15
3.1.3.10 Silicato Reativo 15
3.2 Monitoramento de qualidade da água, com destaque para os reservatórios 15
3.3 Planejamento e gestão integrada de recursos hídricos, com destaque para os reservatórios 19
3.4 Caracterização das Geotecnologias aplicadas no presente estudo 23
3.4.1 Sensoriamento Remoto 23
3.4.1.1 Definição e alguns cuidados na obtenção das imagens 23
3.4.1.2 Processamento digital de imagens orbitais 24
3.4.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG) 27
3.4.3 Análise Espacial de Dados (Geoestatística) 28
3.4.4 Sistemas de suporte à decisão 29

4.0 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 32

5.0 MATERIAIS E MÉTODOS 39
5.1 Obtenção e tratamento de dados 39
5.1.1 Delimitação da bacia hidrográfica e sub-bacias para a área de estudo 41
5.1.2 Dados limnológicos 42
5.1.2.1 Obtenção dos dados limnológicos na literatura e montagem do Banco de Dados 42
5.1.2.2 Aquisição de dados limnológicos in situ e análise laboratorial 43
5.1.2.3 Análise espaço-temporal dos dados limnológicos 47
5.1.3 Dados de sensoriamento remoto 50
5.1.3.1 Aquisição de amostras de treinamento e teste para classificação digital do uso e cobertura da terra 50
5.1.3.2 Pré-processamento de imagens de satélite 50
5.1.3.2.1 Correção atmosférica 51
5.1.3.2.2 Registro e equalização de imagens 51
5.1.3.2.3 Mosaico de imagens 51
5.1.3.2.4 Seleção de bandas a serem utilizadas no processamento de imagens 51
5.1.3.3 Processamento de imagens de satélites 52
5.1.3.3..1 Segmentação 52
5.1.3.3..2 Classificação 53
5.1.3.3..3 Mapeamento 53
5.1.4 Dados cartográficos 53
5.1.4.1 Dados referentes à drenagem da área de estudo 53
5.1.4.1..1 Obtenção do mapa de densidade de drenagem para as sub-bacias da área de estudo 54
5.1.4.1..2 Obtenção do mapa de distâncias das sub-bacias ao reservatório de Barra Bonita 54
5.1.4.2 Dados referentes à pedologia da área de estudo 55
5.1.4.3 Dados referentes à geologia da área de estudo 56
5.1.4.4 Dados referentes à geomorfologia da área de estudo 56
5.1.4.5 Dados referentes à divisão municipal da área de estudo 57
5.1.5 Dados pluviométricos e fluviométricos 57
5.1.5.1 Obtenção, organização e análise dos dados pluviométricos 57
5.1.5.2 Cálculo do coeficiente de variação de pluviosidade (CVP) de 1990..... 57
5.1.5.3 Interpolação dos dados pluviométricos 59
5.1.5.4 Tratamento dos dados fluviométricos 59
5.1.6 Dados censitários (populacionais e agrícolas) 60
5.1.7 Dinâmica do uso e cobertura da terra 60
5.1.8 Ponderação e álgebra de mapas 60

6.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO 67
6.1 Condicionadores fisiográficos da bacia hidrográfica de estudo 67
6.1.1 Mapa da bacia e sub-bacias de estudo 67
6.1.2 Mapa da rede de drenagem da bacia estudada 68

6.1.3 Mapa pedológico da bacia estudada 70
6.1.4 Mapa geológico da bacia estudada 71
6.1.5 Mapa geomorfológico da bacia estudada 73
6.1.6 Coeficiente de variação de pluviosidade da área estudada 75
6.1.7 Vazões naturais do reservatório de Barra Bonita 80
6.2 Uso e cobertura: mudanças no espaço e no tempo na bacia hidrográfica de estudo 82
6.2.1 Resultados intermediários do processamento de imagens de satélite (1990 e 2002) 82
6.2.2 Mapas de uso e cobertura da terra 1990 e 2002 86
6.2.3 Produtividade agrícola de 1990 a 2002 como indicativo da dinâmica do uso e cobertura da terra 90
6.2.4 Identificação de fontes de poluição da água nas proximidades do reservatório de Barra Bonita 93
6.3 Modelagem do potencial poluidor: ponderação e integração de fatores fisiográficos e antrópicos da bacia hidrográfica de estudo 100
6.3.1 Resultado da ponderação das classes para cada tema 100
6.3.2 Resultado da ponderação e integração dos temas e análise do potencial poluidor das sub-bacias 111
6.4 Análise espaço temporal dos parâmetros de qualidade da água em resposta às atividades antrópicas do entorno do reservatório de Barra Bonita e de seus principais afluentes 118
6.4.1 Análise temporal do processo de degradação da água (1979 a 2002) 118
6.4.2 Análise dos parâmetros de qualidade da água e sua relação com as características fisiográficas e uso e cobertura da bacia de contribuição (1990 e 2002) 125
6.4.3 Análise temporal dos parâmetros de qualidade de água em diferentes profundidades 139
6.5 Relação do estado trófico do reservatório de Barra Bonita com o potencial poluidor da bacia hidrográfica de estudo, devido às alterações antrópicas de 1990 à 2002 145
6.5.1 Crescimento populacional e aumento da carga de nitrogênio e fósforo como fontes de poluição pontual 145
6.5.2 Incremento no potencial poluidor difuso das sub-bacias estudadas em função da dinâmica do uso e cobertura da terra 146
6.5.3 Índice de Estado Trófico (IET) 148
6.5.4 Comparação das concentrações de alguns parâmetros de qualidade da água analisados com os limites estabelecidos pelo CONAMA 20 152

7.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 155

8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 158

ANEXOS

ANEXO 1: Coeficiente de Variação de Pluviosidade (CVP) anual nos postos de monitoramento do DAEE pertencentes à bacia estudada, no período de 1990 a 2000

ANEXO 2 - Vazões médias mensais do reservatório de Barra Bonita, vazões médias por estação do ano, desvio padrão, M+SD e M-SD, de 1979 a 2002

ANEXO 3: Área plantada de cultura permanente e temporária (hectare), 1990 a 2002

ANEXO ENVELOPE: Mapas de uso e cobertura da terra 1990 e 2002 e Banco de Dados Limnológicos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relações entre os agentes e fatores envolvidos no gerenciamento de recursos hídricos 21
Figura 2: Localização das hidrelétricas do Estado de São Paulo, destacando a Usina Hidrelétrica de Barra Bonita 32
Figura 3: Visão panorâmica da barragem e eclusa de Barra Bonita (produção de energia elétrica) 33
Figura 4: Estrutura do Hotel Barra Bonita às margens do reservatório (turismo) 33
Figura 5: Cargueiro que transporta cana-de-açúcar e soja, entre outros produtos, por meio da Hidrovia Tietê-Paraná (transporte fluvial) 33
Figura 6: Localização da bacia hidrográfica em estudo, destacando o Reservatório de Barra Bonita e os rios Piracicaba e Tietê 35
Figura 7: Usos preponderantes da água nas bacias do Estado de São Paulo com destaque para as BHTS e BHPCJ 37
Figura 8: Fluxograma do resumo da metodologia aplicada 40
Figura 9: Localização dos pontos de amostragens de água em 1990 (Projeto SISA) e 2002 (presente estudo) no reservatório de Barra Bonita – SP e Imagem ETM+ Landsat 7, 2002 (verão) 45
Figura 10: Valores médios de níveis digitais das classes de uso da terra com seus desvios padrões, para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 52
Figura 11: Bacia e sub-bacias da área de estudo na escala 1:1.800.000 68
Figura 12: Mapa da rede de drenagem da bacia estudada na escala 1:1.800.000 69
Figura 13: Mapa pedológico da bacia estudada na escala 1:1.800.000 70
Figura 14: Mapa geológico da bacia estudada na escala 1:1.800.000 72
Figura 15: Mapa geomorfológico da bacia estudada na escala 1:1.800.000 74
Figuras 16 e 17: Média do Coeficiente de Variação de pluviosidade decadal (1990-2002) e de 1990 76
Figura 18: Médias das médias mensais de pluviosidade dos postos de monitoramento do DAEE para os anos de 1990 a 2002, estando 1990 em destaque 76
Figura 19: Comparação das médias das médias mensais de pluviosidade dos postos de monitoramento do DAEE para os anos de 1990 e 2002 77
Figuras 20 e 21: Grade e imagem gerados a partir da krigeagem e imagem da variância do erro 80
Figuras 22 e 23: Médias das vazões naturais, dos meses das estações seca e chuvosa, respectivamente, do reservatório de Barra Bonita 81
Figuras 24 e 25: Mosaicos obtidos do pré-processamento das imagens de 1990 e 2002 (estação chuvosa), respectivamente 83
Figuras 26 e 27: Solo exposto e solo coberto pela palhada no cultivo da cana-de-açúcar, respectivamente.. 84
Figuras 28 e 29: Resultado da segmentação das imagens de 1990 e 2002 (estação chuvosa), respectivamente, para um trecho da área de estudo 84
Figuras 30 (esquerda acima), 31 (direita acima) e 32 (direita abaixo): Área plantada de culturas permanentes e temporárias, área plantada de culturas temporárias e área plantada de culturas permanentes, respectivamente 91

Figura 33: Mapa da localização dos pontos visitados no trabalho de verificação terrestre na bacia, apresentando a malha municipal e a drenagem principal 94
Figura 34: Exploração de areia às margens do reservatório de Barra Bonita 95
Figura 35: Área degradada devido à mineração 95
Figura 36: Processo erosivo com início de voçorocamento, em áreas de pastagens degradadas 96
Figura 37: Processo erosivo com início de desmoronamento das margens do reservatório, em áreas de pastagens 96
Figura 38: Desmatamento nas margens do Horto de Camacuã (Rio Claro) 97
Figura 39: Solo exposto no plantio da cana-de-açúcar, às margens do reservatório de Barra Bonita 97
Figura 40: Canais para o transporte da vinhaça das usinas sucro-alcooleiras até os canaviais 98
Figura 41: Condomínio com casas de veraneio instalado às margens do reservatório e proximidade do mesmo de cidades 99
Figura 42: Banco de macrófitas aquáticas no reservatório de Barra Bonita ("braço" Piracicaba) 99
Figura 43: Uso e cobertura da terra - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5 107
Figura 44: Densidade de drenagem - Mapa das médias zonais das sub-bacias com a drenagem sobreposta e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5 107
Figura 45: Distância das sub-bacias ao reservatório - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5 108
Figura 46: Pedologia - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5 108
Figura 47: Geologia - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5 109
Figura 48: Geomorfologia - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5 109
Figura 49: Coeficiente de variação de pluviosidade - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5 110
Figura 50: CENÁRIO 1 - Mapa do potencial poluidor das sub-bacias em relação ao reservatório de Barra Bonita – Integração por Média Simples. Escala 1:1.500.000 112
Figura 51: CENÁRIO 2 - Mapa do potencial poluidor das sub-bacias em relação ao reservatório de Barra Bonita – Integração por Média Ponderada. Escala 1:1.500.000 113
Figura 52: CENÁRIO 3 - Mapa do potencial poluidor das sub-bacias em relação ao reservatório de Barra Bonita – Integração por Soma Ponderada (Uso-P3). Escala 1:1.500.000 114
Figura 53 e 54: CENÁRIO 4 E 5 - Mapas do potencial poluidor das sub-bacias em relação ao reservatório de Barra Bonita – Integração por Soma Ponderada (Uso-P4) e Integração por Soma Ponderada (Uso-P5). Escala 1:1.500.000 115
Figura 55: CENARIO 6 - Mapa do potencial poluidor das sub-bacias em relação ao reservatório de Barra Bonita –Integração por Soma Ponderada (Uso-P7). Escala 1:1.500.000 116
Figura 56: Linha de tendência para o parâmetro condutividade elétrica. 119
Figuras 57: Linha de tendência para o parâmetro clorofila a total. 120

Figuras 58 e 59: Condutividade elétrica ao longo do tempo, nas estações seca e chuvosa, por compartimento, respectivamente..... 121
Figuras 60, 61, 62 e 63: Nitrito e íon amônio ao longo do tempo, nas estações seca e chuvosa, por compartimento 122
Figuras 64 e 65: Fósforo total ao longo do tempo, nas estações seca e chuvosa, por compartimento, respectivamente ……. 123
Figuras 66 e 67: Clorofila a total ao longo do tempo, nas estações seca e chuvosa, por compartimento, respectivamente ……... . 125
Figura 68: Transparência, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens 126
Figuras 69, 70 e 71: Nitrito, nitrato e íon amônio, respectivamente, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens .....…..... 127
Figura 72: Nitrogênio total, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens 128
Figuras 73, 74 e 75: PID, PTD e P total, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens, respectivamente..... 131
Figura 76: Clorofila *a* total, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens 133
Figuras 77, 78 e 79: Material em suspensão orgânico, inorgânico e total, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens, respectivamente …….... 135
Figura 80: Silicato reativo, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens 137
Figura 81: Diferentes regiões homogêneas ao longo do reservatório de Barra Bonita obtidas por imagem do sensor ETM+ do Landsat 7 em 2001, destancando os pontos que foram amostrados em profundidade 140
Figuras 82, 83 e 84: pH, Condutividade elétrica e oxigênio dissolvido no ponto 30 (barragem) em diferentes profundidades, estações seca e chuvosa, respectivamente, ao longo o tempo 141
Figuras 85 e 86: Potencial poluidor das sub-bacias estudadas no que se refere ao uso e cobertura da terra em 1990 e 2002, respectivamente 147
Figuras 87 e 88: Mapas do estado trófico dos pontos de amostragens no reservatório de Barra Bonita, em 1990 e 2002, na estação chuvosa 150

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros adotados em monitoramentos de qualidade da água com as diferentes finalidades .. 16
Tabela 2: Características morfológicas e hidráulicas do reservatório de Barra Bonita 34
Tabela 3: Coordenadas geográficas dos pontos de amostragens de água 44
Tabela 4: Metodologias adotadas nas análises dos parâmetros limnológicos em laboratório 47
Tabela 5: Características das imagens de satélite utilizadas no presente trabalho 51
Tabela 6: Áreas das classes pedológicas para a bacia estudada 71
Tabela 7: Áreas de cada classe geológica para a bacia estudada 73
Tabela 8: Áreas das classes geomorfológicas para a bacia estudada 75
Tabela 9: Estatística descritiva da distribuição dos pontos na área de estudo 78
Tabela 10: Resultados numéricos da análise da variabilidade espacial por semivariograma 78
Tabela 11: Parâmetros do modelo de semivariograma aplicado 79
Tabela 12: Estatística do erro 79
Tabela 13: Estatística de erros da classificação supervisionada 85
Tabela 14: Áreas das classes de uso e cobertura da terra para os anos de 1990 e 2002 86
Tabela 15: Estatística para as culturas temporárias e permanentes 91
Tabela 16: Ponderação das classes de uso e cobertura da terra quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita 101
Tabela 17: Ponderação dos intervalos de densidade de drenagem quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita 102
Tabela 18: Ponderação dos intervalos de distância ao reservatório quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita 102
Tabela 19: Ponderação das classes de solos quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita, de acordo com suas características 103
Tabela 20: Ponderação das classes de geologia quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita 104
Tabela 21: Ponderação das classes de relevo quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita 105
Tabela 22: Ponderação dos intervalos do coeficiente de variação de pluviosidade quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita 106
Tabela 23: Ponderação dos temas nos diferentes cenários 112
Tabela 24: Áreas das classes dos níveis de contribuição das sub-bacias para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita 112
Tabela 25: Médias de pH nas diversas profundidades para os anos analisados 142
Tabela 26: Médias de condutividade elétrica nas diversas profundidades para os anos analisados 143
Tabela 27: Médias de oxigênio dissolvido nas diversas profundidades para os anos analisados 143
Tabela 28: Crescimento populacional de 1990 para 2002 na área de estudo 146
Tabela 29: Carga de nitrogênio e fósforo produzidos na bacia estudada 146

Tabela 30: Área das classes de potencial poluidor das sub-bacias com relação ao uso e cobertura da terra 148
Tabela 31: Resultado da aplicação do Índice de Estado Trófico 149
Tabela 32: Comparação dos valores dos parâmetros analisados neste estudo com os limites estabelecidos pela Proposta de atualização do CONAMA 20 para a Classe 2 154

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AES: The Global Power Company
ANA: Agência Nacional de Águas
APA: Área de Proteção Ambiental
ARIE: Área de Relevante Interesse Ecológico
Arcview/ESRI: GIS/Environmental Systems Research Institute
B: Compartimento Barragem
BHPCJ: Bacia Hidrográfica do Piracicaba/Capivari/Jundiaí
BHTS: Bacia Hidrográfica Tietê/Sorocaba
C: Compartimento Corpo Central
CBERS: China-Brazil Earth Resources Satellite
CESP: Companhia Elétrica do Estado de São Paulo
CNPS: Centro Nacional de Pesquisas em Solos
COGERH: Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará
CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM: Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais
CRHEA: Centro de Recursos Hídricos e Ecología Aplicada
CVP: Coeficiente de Variação de Pluviosidade
CWA: Clima Mesotérmico
DAEE: Departamento de Água e Esgoto
DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio
DEBE: Departamento de Botânica e Ecologia
DRM: Departamento de Recursos Minerais
E: Compartimento Encontro
EESC: Escola de Engenharia de São Carlos
ENVI: Environment for Visualizing Images
ESEC: Estação Ecológica
ETE: Estações de Tratamento de Esgoto
ETM+: Enhanced Thematic Mapper Plus
FLONA: Floresta Nacional
IAC: Instituto Agronômico de Campinas
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICWE: Internacional Conference on Water and the Environment
IET: Índice de Estado Trófico
INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISOSEG: Classificador de imagens segmentadas
LEGAL:Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra
M: Média
M+SD: Média mais Desvio Padrão
MCDA: Multicriteria Decision Aid
MNT: Modelo Numérico de Terreno
M-SD: Média menos Desvio Padrão
MSI: Material em Suspensão Inorgânico
MSO: Material em Suspensão Orgânico
MST: Material em Suspensão Total
ND: Nível Digital
NH_4: Amônio
NO_2: Nitrito
NO_3: Nitrato
Ntotal/NT: Nitrogênio total
OD: Oxigênio Dissolvido
ONS: Operador Nacional do Sistema Elétrico
PAM: Produtividade Agrícola Municipal
pH: Potencial Hidrogeniônico
PI: Plano de Informação
PID: Fósforo Inorgânico Dissolvido
PLANALSUCAR: Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar
PNRH: Política Nacional de Recursos Hídricos
PRO-ÁLCOOL: Programa Nacional do Álcool
PTD: Fósforo Total Dissolvido
Ptotal/PT: Fósforo total
RPPN: Reserva Particular do Patrimônio Natural
SAD69: South American Datum 1969
SD: Desvio Padrão
SEADE: Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SIDRA: Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIG: Sistema de Informação Geográfica
SIGRH: Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SIMA: Sistema Integrado de Monitoramento Ambiental
SiO_2: Silicato reativo

SISA: Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos
SPRING: Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas
SWAT: Soil and Water Assessment Tool
TM: Thematic Mapper

RESUMO

PRADO, R.B.(2004). "*Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos*". 172 p. Tese (Doutorado). Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.

Perante a situação atual de degradação dos recursos hídricos, destacando os reservatórios destinados a usos múltiplos, e a necessidade de se buscar soluções para tal problema, foi proposto o presente trabalho. O reservatório de Barra Bonita, localizado no interior do Estado de São Paulo, foi escolhido para estudo, por estar inserido em uma área densamente povoada, industrializada e ocupada por agricultura intensiva. Os dados adquiridos foram de natureza cartográfica (cartas de pedologia, geomorfologia, geologia, drenagem e malha municipal); orbitais (imagens multiespectrais dos satélites Landsat 5 e 7); censitários (produção agrícola municipal e densidade demográfica); limnológicos (característicasfísicas, químicas e biológicas do reservatório estudado, obtidas em campo e na literatura); pluviométricos e fluviométricos. A organização e o tratamento das diversas informações foram realizados com o auxílio de Sistema de Informação Geográfica (Spring 3.6), obtendo também um banco de dados limnológicos multitemporal. As ferramentas de geotecnologias foram aplicadas na caracterização dos fatores fisiográficos, no mapeamento do uso e cobertura da terra e do potencial poluidor das sub-bacias da bacia de drenagem, sendo os resultados analisados em conjunto com os dados referentes à qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, de forma espacial e temporal (período de 1990 a 2002). Os resultados mostraram que ocorreu um incremento significativo do nível trófico da água, de forma diferenciada para cada compartimento do reservatório em questão, durante o período avaliado. A análise integrada dos sistemas aquático e terrestre, no espaço e no tempo, permitiu concluir que a degradação da qualidade da água se deve às alterações no uso e cobertura da terra e ao aumento populacional, traduzidos em fontes difusas e pontuais de poluição. Desta forma, fica evidenciada a importância da gestão de recursos hídricos na bacia estudada e espera-se que as informações obtidas e metodologias aplicadas neste trabalho possam subsidiar ações direcionadas a este propósito.

Palavras-chave: qualidade da água, reservatório, fatores fisiográficos, uso da terra, geotecnologias e gestão de recursos hídricos.

ABSTRACT

PRADO, R.B.(2004). *Geotechnologies applied to spatial and temporal analysis of the land use and land cover basin related to the water quality Barra Bonita reservoir to support water resources management.* 172 p. Tese (Doutorado). Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.

Nowadays, water quality deterioration is a common problem related to pollution inputs from point and nonpoint sources. The situation becomes worse in the reservoirs due to multiple water uses. Barra Bonita reservoir was selected for this study because it is located in an overpopulated area of the São Paulo State, southern Brazil. Moreover, it is a region of many industries and intensive agriculture. The data used to carry out the study included physical features (pedology, geomorphology, geology, drainage, precipitation and flow) provided by several public agencies in different scales and formats; land use and land cover maps derived from interpretation of Landsat TM ETM satellite images; limnologycal variable measurements derived from field work and literature spanning the period comprised between 1979 and 2002 and census data (population density and agriculture production). The first step in the study was to build a limnologycal database to compile and organize all the information available regarding water quality in the Barra Bonita reservoir. A second major step was to implement and feed the Bacia do Médio Tietê Geographic Information System with the selected pollution forcing variables. After that, the geotechnogies were applied to diagnose physical features, to map land use and land cover and to model potential pollution instances for each sub-basin. This data was analyzed in the space and time considering the water quality degradation from 1990 to 2002. The results showed an increase in the eutrophication level of Barra Bonita reservoir in the period considered in response to changes in land use and land cover patterns. The water-land integrated analysis allowed to verify that the water degradation is related to the land use and land cover changes and population increase (diffuse and point contribution). Therefore, the water resources management is paramount in order to improve the water quality in this basin. It is expected that information and methodologies applied in this research can be used to support this sustainable process.

Key words: water quality, reservoir, basin physical features, land use and land cover, geotechnologies and water resources management.

1.0 INTRODUÇÃO

Dentre os recursos naturais essenciais, a água apresenta um significativo destaque, pois, sua manutenção em condições ideais é irrevogavelmente necessária a todo tipo de vida no planeta. Porém, devido à forma não-sustentável como a humanidade conduziu a explotação dos recursos hídricos, na atualidade estes se encontram em escassez, ocasionando sérios problemas de ordem ambiental, social e econômica.

Além da escassez derivada da distribuição espacial anisotrópica dos recursos hídricos (REBOUÇAS *et al*., 2002), diversos fatores, tais como o crescimento populacional, o processo intensivo de urbanização, a expansão da fronteira agrícola e a implantação de indústrias de grande porte, podem ser apontados como responsáveis pelo aumento na demanda de água, tanto para consumo como para produção de energia elétrica (MÜLLER, 1996). O Brasil é um país cujo potencial hídrico é favorável à implantação de reservatórios. Dessa forma, procura-se suprir as necessidades de abastecimento d'água, irrigação e fornecimento de energia elétrica, dentre outras, por meio dessa alternativa.

Em sistemas aquáticos como os reservatórios, ocorre uma intervenção direta no funcionamento do sistema hidrológico pela própria construção do mesmo, além do impacto indireto da atividade humana sobre os recursos hídricos, o que agrava o problema da degradação da água, uma vez que os rios possuem uma capacidade natural de depuração ao longo do seu curso, capacidade esta que é reduzida com sua barragem para a formação de um reservatório. Com a construção dos reservatórios, ocorre também um aumento da capacidade de armazenamento de materiais orgânicos e inorgânicos provenientes da bacia de captação, sejam originários de fontes pontuais ou difusas, intensificando o processo de eutrofização.

De acordo com CALIJURI (1999), os reservatórios do Brasil têm apresentado, em geral, grandes alterações nos seus estados de trofia, devido ao uso e ocupação das bacias hidrográficas. Para se evitar essas alterações é necessário que se faça um manejo integrado dos reservatórios e para tal é fundamental o conhecimento aprofundado desses sistemas. Para atingir esse conhecimento e então estabelecer um manejo adequado torna-se evidente a importância do monitoramento da qualidade da água, pois, além de

registrar as variações espaço temporais relaciona os diversos mecanismos do sistema hídrico com toda a sua bacia de drenagem (JONG *et al.*, 1995).

O presente trabalho foi realizado nesse contexto, ou seja, buscando analisar no espaço e no tempo, os fatores da bacia hidrográfica que podem ser considerados controladores das variações da qualidade da água do reservatório de Barra Bonita (SP). O reservatório de Barra Bonita foi escolhido por estar sob influência de elevada carga de poluentes provindos de fontes pontuais (resíduos sanitários e industriais de grandes centros urbanos, como por exemplo, Piracicaba, Sorocaba, Campinas, Botucatu e Jundiaí) e difusas (agricultura, predominantemente, a monocultura de cana-de-açúcar), bem como por se prestar a diversos usos como irrigação, abastecimento urbano e industrial, turismo, lazer, transporte fluvial e produção de energia elétrica. Outro fato considerado na sua escolha foi o grande número de estudos de qualidade de água já realizados neste sistema, o que permitiu estender a análise temporal para as várias décadas, que passaram por todo o processo de adensamento populacional e desenvolvimento industrial de sua bacia de captação mais imediata.

Para melhor compreensão dessa pesquisa, seus métodos e resultados, esse trabalho encontra-se divido em vários capítulos auto-explicativos: o primeiro capítulo, sendo esta introdução, consiste na apresentação do conteúdo a ser abordado no desenvolver da tese, apresentando ainda justificativas e contextualização do trabalho. No segundo capítulo encontram-se descritos os objetivos da pesquisa, sua relevância e as questões científicas que os norteiam. No terceiro capítulo apresenta-se a fundamentação teórica que embasou, seja conceitualmente seja metodologicamente, a realização da pesquisa. O capítulo 4 apresenta e descreve a área de estudo. O capítulo 5 descreve detalhadamente o processo de compilação, processamento e organização dos dados de diversas fontes (da literatura, cartográficos, de sensoriamento remoto, censitários e de campo) com a aplicação de tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica.

O capítulo 6 compreende a apresentação dos resultados obtidos na forma de banco de dados, mapas, tabelas, gráficos e figuras, assim como a discussão destes, sendo efetuados em cinco fases distintas, descritas a seguir: condicionadores fisiográficos da bacia hidrográfica de estudo; uso e cobertura: mudanças no espaço e no tempo na bacia hidrográfica de estudo; modelagem do potencial poluidor: ponderação e integração de fatores fisiográficos e antrópicos da bacia hidrográfica de estudo; análise espaço temporal dos parâmetros de qualidade da água em resposta às atividades

antrópicas do entorno do reservatório de Barra Bonita e de seus principais afluentes; e relação do estado trófico do reservatório de Barra Bonita com o potencial poluidor da bacia hidrográfica de estudo, devido às alterações antrópicas de 1990 a 2002.

Finalmente, os capítulos 7 e 8 referem-se às conclusões e recomendações e à listagem de referências bibliográficas utilizadas neste trabalho, respectivamente.

Espera-se que a base de informações reunidas no presente trabalho possa servir de subsídio ao planejamento e gestão de recursos hídricos, com destaque para o reservatório de Barra Bonita e que a metodologia de integração e análise utilizada possa também ser aplicada em outras regiões, visto que o sistema de gestão de recursos hídricos no Brasil precisa evoluir com base em preceitos mais sólidos, buscando atender às demandas presentes e futuras de água.

2.0 OBJETIVOS

Geral

Analisar espacial e temporalmente fatores relacionados ao uso e cobertura da terra da bacia de drenagem, bem como parâmetros de qualidade da água do reservatório de Barra Bonita (SP), verificando a sua relação, no intuito de subsidiar a gestão de recursos hídricos nesta área.

Específicos

a) Obter e organizar informações referentes às características físicas da bacia de drenagem do reservatório de Barra Bonita, SP (rede de drenagem, pedologia, geologia, geomorfologia, pluviosidade e fluviometria).

b) Mapear e obter informações a respeito da dinâmica do uso e cobertura da bacia de drenagem do reservatório de Barra Bonita, SP, a partir do processamento de imagens orbitais (TM/Landsat5 e ETM+/Landsat7), referentes aos anos de 1990 e 2002, respectivamente.

c) Modelar o potencial poluidor das sub-bacias da área de estudo por meio da ponderação e integração das características fisiográficas e do uso e cobertura da terra.

d) Determinação do perfil de degradação da água do reservatório de Barra Bonita em função das características da bacia de drenagem a partir da elaboração de um Banco de Dados Limnológicos, referente ao período de 1979 a 2002, a partir de dados de literatura e de campo.

Ao atingir os objetivos apresentados busca-se responder a algumas questões científicas formuladas para este trabalho, sendo elas:

- Como as características fisiográficas da bacia de drenagem podem contribuir para o processo de eutrofização do reservatório de Barra Bonita?
- De que forma as classes de uso e cobertura da terra estão distribuídas, espaço-temporalmente, na bacia de drenagem do reservatório de Barra Bonita e como essa distribuição afeta seu processo de eutrofização?
- Quais as principais fontes de poluição pontuais e difusas que interferem no processo de degradação da água do reservatório de Barra Bonita?
- Em que medida a aplicação de geotecnologias permite identificar áreas prioritárias à intervenção na gestão de recursos hídricos, na bacia de drenagem do reservatório de Barra Bonita, considerando os fatores fisiográficos e antrópicos?
- Como os teores dos parâmetros de qualidade de água se diferenciam nos compartimentos do reservatório de Barra Bonita?
- Qual é o perfil espaço-temporal da degradação da água no reservatório de Barra Bonita?

3.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Fatores relacionados à degradação da água, com destaque para os reservatórios

Diante da escassez mundial de água doce, o Brasil encontra-se em situação confortável, pois detém aproximadamente 14% do total disponível para atender às demandas da humanidade e manutenção da vida no planeta. Entretanto, a distribuição da água no país não é homogênea, tanto naturalmente (a região Norte possui abundância de água enquanto a região Nordeste sofre com as secas) como socialmente (muitas pessoas não têm acesso à água doce existente, principalmente, tratada). Além disso, em regiões onde o contingente populacional é maior, grande parte dos rios enfrenta problemas de qualidade da água e estes já não podem ser usados para abastecimento doméstico. Neste contexto está inserido o Estado de São Paulo e, portanto, a bacia de drenagem do reservatório de Barra Bonita.

Diversos são os fatores que levam à deterioração da água, podendo ser classificados em fontes pontuais e difusas. As fontes pontuais se caracterizam, essencialmente, pelos efluentes domésticos e industriais, já as difusas são caracterizadas pelos resíduos provindos da agricultura (fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas, entre outros), podendo ser citados ainda o escoamento superficial urbano e dos pátios de indústrias. Este tipo de poluição pode ser intensificado devido à irrigação, à compactação do solo devido à mecanização, ao desflorestamento (inclusive de mata ciliar), à ausência de práticas conservacionistas do solo, aos processos erosivos, além da interferência de fatores naturais (geologia, geomorfologia, declividade, pedologia, formato e densidade da bacia de drenagem, regime de chuvas, permeabilidade do solo e outros). A situação é grave visto que existem estimativas (LOAGUE *et al.*, 1998) de que, aproximadamente, de 30 a 50% dos solos da Terra sejam afetados por poluentes provindos de fontes difusas e que estes estão atingindo os cursos d'água gradativamente.

O principal meio pelo qual os poluentes atingem um curso d'água, de maneira difusa, é o escoamento superficial. No entanto, identificar e quantificar esses poluentes não é tarefa fácil, pois para tal, faz-se necessário o conhecimento do comportamento destas substâncias no meio ambiente (meia-vida, percolação, persistência, degradação,

deslocamento, dentre outros) e dos fatores naturais e antrópicos mencionados que interferem no transporte e disposição desses poluentes na água.

Sendo assim, diversas metodologias têm sido aplicadas no sentido de simular o escoamento superficial, a perda de solos, bem como identificar as fontes de poluição difusas. Dentre essas metodologias as mais utilizadas são: equação de perda de solos, modelagem matemática e modelagem espacial em SIG.

Pesquisas realizadas por ZINGG (1940) permitiram relacionar a intensidade de perdas de solo com o comprimento e com o grau de declive do terreno. Este modelo foi aperfeiçoado ao longo do tempo, incorporando outros fatores tais como a adoção de práticas conservacionistas, erodibilidade do solo, tipo de manejo, chuva, além de outras modificações, as quais foram incorporadas na Equação Universal de Perdas de *Solo (Universal Soil Loss Equation* – USLE) (WISCHMEIER e SMITH, 1965) que, posteriormente, passou a ser denominada por MEUPS (*Modified USLE*), conforme WILLIAMS (1975), sendo bastante utilizada no Brasil (DONZELI *et al.*, 1994; PINTO, 1996, dentre outros).

Quando se refere aos reservatórios, a situação é ainda mais delicada, visto que impactos negativos consideráveis ocorrem no sistema aquático desde a fase de construção do reservatório, os quais refletem na qualidade da água. Dentre eles, cita-se a redução da capacidade de depuração do curso d'água, o aumento da capacidade de retenção de sedimentos e nutrientes e a alteração das características físicas, químicas e biológicas do sistema. Desta forma, ocorre um incremento no processo de eutrofização do reservatório o qual, dependendo do nível atingido, poderá comprometer os usos múltiplos a que este é destinado.

Dentre os esforços para ampliar o conhecimento sobre o processo de eutrofização cabe destacar o desenvolvimento de modelos de transporte de nutrientes. Os primeiros modelos de transporte de nutrientes para os reservatórios e sua resposta trófica foram aplicados por VOLLENWEIDER (1968). Seu aperfeiçoamento gradual tem ampliado a sua aplicação aos estudos do impacto do uso e ocupação do solo na qualidade da água.

O aporte de poluentes provindos da agricultura, que atinge os lagos, tem sido também modelado em algumas pesquisas como as de BILATETDIN *et al.* (1991). Mais recentemente este autor considerou os efeitos das diferentes atividades agrícolas e o seu efeito na eutrofização do Lago Längelmävesi, na Finlândia, aplicando SIG como instrumento facilitador (BILATETDIN *et al.*, 2001).

3.1.1 Processo de eutrofização

De acordo com VOLLENWEIDER e KEREKES (1981) a eutrofização é uma resposta a um enriquecimento do corpo hídrico por nutrientes (principalmente fósforo e nitrogênio), podendo ocorrer sob condições naturais ou artificiais. Este incremento de nutrientes na água propicia o desenvolvimento de algumas espécies de algas e a diminuição do oxigênio na coluna d'água, favorecendo o aumento de bactérias anaeróbias, podendo atribuir sabor e cheiro desagradável à água, restringindo o seu uso.

Em função do nível trófico da água, os diferentes sistemas aquáticos podem ser classificados em oligotróficos, mesotróficos, eutróficos e hipereutróficos. Diversos estudos têm proposto critérios para o enquadramento dos sistemas aquáticos nas quatro classes referidas (ESTEVES, 1988). Contudo, um dos indicadores de nível trófico mais utilizados é a concentração de fósforo na água (NOVO e BRAGA, 1995).

No caso do reservatório de Barra Bonita, vários estudos vêm sendo realizados nas últimas décadas, contribuindo para a determinação do seu nível trófico. Em 1979, com a finalidade de estabelecer uma tipologia dos reservatórios do Estado de São Paulo, foi feito um estudo limnológico de 52 represas, quando foi constatado que o reservatório de Barra Bonita era um dos mais eutrofizados da bacia do Médio Rio Tietê, apresentando altos teores de nutrientes, alta condutividade e ocorrência de florescimentos de fitoplâncton (MATSUMURA-TUNDISI *et al.*, 1981).

Estudos realizados por CALIJURI (1988) classificaram o reservatório como um sistema polimítico, controlado pela precipitação, vento, vazão e tempo de residência da água. Ao longo da década de 90, outras pesquisas (MATSUMURA-TUNDISI, 1990; CALHEIROS, 1993; NOVO e BRAGA, 1995; WISNIEWSKI, 1998; CALIJURI, 1999, entre outras) obtiveram resultados demonstrando que a situação de eutrofização continua acontecendo neste reservatório e que medidas no sentido de minimizá-la não têm sido tomadas na bacia hidrográfica em que o mesmo está situado.

Para se avaliar o estado trófico de um reservatório existem índices, que consideram apenas os principais parâmetros limnológicos, tendo a finalidade de facilitar a interpretação da situação de degradação destes corpos hídricos. Dentre eles pode-se citar o Índice de Estado Trófico (IET) desenvolvido por CARLSON (1974) e modificado por TOLEDO *et al.* (1983). Este índice considera as concentrações obtidas para transparência da água ou profundidade do Disco de Secchi, fósforo total, fosfato inorgânico e clorofila *a* total.

3.1.2 Interferência do uso e cobertura da terra na qualidade da água

O levantamento do uso da terra é de grande importância, na medida em que os efeitos do uso desordenado causam deterioração do ambiente. Os processos de erosão intensos, as inundações, os assoreamentos desenfreados dos lagos e reservatórios são conseqüências do mau uso da terra (SANTOS *et al.*, 1981). SPERLING (1998) salienta que a qualidade de uma água é resultante dos inúmeros processos que ocorrem na bacia de drenagem do corpo hídrico e que os organismos aquáticos, em sua atividade metabólica, não só recebem influência do meio, mas podem também provocar alterações físicas e químicas na água.

Existem numerosos estudos que demonstram haver uma alta correlação entre a distribuição espacial das atividades humanas, o estado de conservação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica e o nível de degradação dos recursos hídricos (THORTON *et al*., 1990; KIRA E SAZANAMI, 1995; TUFFORD *et al.*, 1998). Porém, no Brasil e, principalmente em Barra Bonita, são poucos os estudos relacionando o uso da terra com as propriedades da água. Pode-se citar REFOSCO (1994), PIAO (1995) e PEREIRA-FILHO (2000).

Sobretudo, é sabido que o ambiente aquático é sensível às interferências que ocorrem na bacia hidrográfica que o abastece. A maioria das atividades antrópicas de uma bacia hidrográfica gera efluentes, os quais, se não dispostos em locais adequados ou tratados, acabam por atingir os cursos d'água, alterando as suas propriedades naturais (KIRA e SAZANAMI, 1995).

Barra Bonita é um reservatório antigo (41 anos) e está localizado numa região de intensas transformações nos padrões de uso e ocupação da terra, o que o torna suscetível a problemas de poluição e assoreamento acelerado. Um fator agravante da situação é a contaminação da água por substâncias químicas, provindas principalmente, de resíduos industriais e agrícolas, como já mencionado anteriormente. O aporte de nutrientes no reservatório é causado, em grande parte, pela entrada dos seus principais afluentes, o rio Tietê e o rio Piracicaba, que transportam descargas domésticas e industriais de grandes centros urbanos. As bacias destes rios são as mais industrializadas do Estado de São Paulo. É importante ressaltar que vários podem ser os nutrientes que atingem os cursos d'água, porém, é muito comum designar como nutrientes apenas o fósforo e o nitrogênio, visto que são os principais nutrientes causadores do processo de eutrofização da água.

A disponibilidade hídrica e o melhoramento das condições de circulação pelas rodovias após a construção do reservatório de Barra Bonita promoveram ainda a crescente modernização agrícola do seu entorno. Parte da tradicional cultura do café cedeu espaço ao plantio de cana-de-açúcar, predominante na década de 80, devido também à crise do petróleo e aos incentivos ao cultivo da cana-de-açúcar (PRO-ÁLCOOL). A modernização da agricultura ocorreu com a aplicação de defensivos agrícolas, o incremento da força mecânica e a intensificação do uso da terra nos municípios do entorno (VALÊNCIO *et al*., 1999). Concomitantemente à expansão da cana-de-açúcar ocorreu a redução das áreas de vegetação natural (predominantemente cerrado), inclusive matas ciliares. Estas áreas foram substituídas, não só pela cana-de-açúcar, mas também, por áreas de reflorestamento, ligadas ao segmento industrial de papel e celulose, instalado na região.

Visto que o reservatório atraiu pessoas em busca de melhores perspectivas, empreendedores e mão-de-obra, é de se esperar que haja também uma atração turística, podendo causar também danos ao meio aquático. Quanto a este aspecto, o reservatório de Barra Bonita tem atraído um grande contingente turístico do Estado de São Paulo, incentivando a implantação de estruturas de grande porte para receber as pessoas na região. Os turistas são atraídos pela propaganda de que se pode desfrutar, neste local, de um trecho do rio Tietê despoluído e repleto de lazer. Esses, entretanto, ignoram, na maioria das vezes, o processo de degradação da água deste reservatório e aceleram ainda mais o mesmo processo, devido à prática de esportes náuticos com potencial poluidor, ocupação das margens do reservatório construindo casas de veraneio, lançando esgoto *in natura* e lixo na água, dentre outras atividades danosas.

Além do turismo e geração de energia elétrica, outras atividades no reservatório de Barra Bonita podem gerar conflitos quanto ao uso da água e impactos negativos à mesma, dentre as quais pode-se destacar a irrigação, a extração de areia, a navegação (Hidrovia Tietê-Paraná, importante para o Mercosul) e o abastecimento industrial e doméstico. Portanto, medidas de restrição ou disposição adequada de certos usos na bacia hidrográfica em estudo devem ser adotadas, bem como de tratamento e redução de resíduos que atingirão os cursos d'água causando sua poluição, sem contar a importância de um manejo adequado do reservatório, questões que serão aprofundadas posteriormente.

3.1.3 Variabilidade espacial e temporal das propriedades limnológicas

As características que descrevem as propriedades de um dado ecossistema aquático são conhecidas por propriedades limnológicas ou variáveis limnológicas. Estas, como o próprio nome evidencia, são propriedades que variam no tempo e no espaço, quer num dado sistema aquático, quer entre sistemas diferentes (NOVO e BRAGA, 1995).

Segundo CALIJURI (1999) em regiões tropicais os ciclos limnológicos podem apresentar uma grande variação de amplitudes, podendo abranger desde períodos de um ano até períodos de um dia, dependendo da localização geográfica e das características específicas do ambiente. A mesma autora verificou que no reservatório de Barra Bonita os processos físicos da camada de mistura, em escala sazonal, servem para controlar a distribuição espacial e temporal de nutrientes e que o tempo de residência da água é decisivo na retenção destes. Em escala de dias, a presença de gradientes de densidade, principalmente no verão, induz à maior variância na distribuição desses recursos. Isto refletirá no grau de heterogeneidade espacial e variabilidade temporal do sistema.

O reservatório de Barra Bonita, eutrófico, apresenta um metabolismo regulado por “pulsos” de radiação solar e vento, precipitação e vazão, bem como tempo de residência da água (CALIJURI, 1999). Percebe-se, portanto, que diversos fatores estão envolvidos na determinação do nível de trofia de um dado sistema aquático, além de que os parâmetros limnológicos se inter-relacionam de várias maneiras, tornando os estudos de qualidade de água bastante complexos.

Portanto, é de suma importância antes de se iniciar uma pesquisa, a determinação das variáveis que serão analisadas, visando atingir o objetivo proposto. O presente estudo analisou 17 parâmetros limnológicos, visando verificar a interferência de fontes pontuais e difusas de poluição sobre seu comportamento, sendo os mesmos descritos resumidamente a seguir:

3.1.3.1 Fósforo (Ptotal, PID e PTD)

As fontes naturais de fósforo estão relacionadas com a geologia da área de drenagem (ESTEVES, 1988). O mesmo pode ocorrer no solo na forma orgânica e inorgânica, mas nenhuma delas é muito solúvel. Assim, a maior parte do fósforo solúvel atinge o ambiente aquático via escoamento superficial. Entretanto, os processos erosivos na bacia de drenagem e o lançamento de esgotos, resultantes das atividades antrópicas, podem ser responsáveis pela entrada de fosfatos nos corpos d’água podendo acelerar o processo de eutrofização (CALIJURI, 1999). A importância do fósforo no metabolismo

dos seres vivos está relacionada com a capacidade de armazenamento de energia e com a estruturação da membrana celular. O fósforo é o principal elemento que favorece o processo de eutrofização, atuando como principal fator limitante da produtividade dos ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 1988).

3.1.3.2 Nitrogênio (Ntotal, NO_2, NO_3, NH_4)

O nitrogênio existe em solução e por este motivo é mais facilmente transportado em superfícies com maior umidade. O escoamento superficial é responsável pelo transporte de grande quantidade de nitrogênio e ainda, a drenagem de solos adubados pode proporcionar a elevação na concentração de nitrogênio e contribuir também para a eutrofização. Mas este elemento pode atingir os corpos d'água por meio do lançamento de esgoto sanitário, principalmente na forma de nitrato e amônio. O nitrogênio é um dos principais elementos que atua no metabolismo do meio aquático. Ele participa da formação de proteínas, que é um dos componentes básicos da biomassa, e se sua presença ocorrer em valores baixos, pode oferecer uma condição limitante à produção primária de ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 1988).

3.1.3.3 Transparência da água (Profundidade do disco de Secchi)

A transparência da água sob o ponto de vista óptico pode ser considerada o oposto da turbidez, pois consiste na disponibilidade de luz no ecossistema aquático e influi diretamente no seu metabolismo. Uma técnica simples para a avaliação da disponibilidade de luz no sistema aquático é o uso do disco de Secchi (PREISENDORFER, 1986), sendo por este motivo, este parâmetro também denominado de profundidade do Disco de Secchi. Entretanto, a fidelidade do dado é dependente das condições de rugosidade da superfície da água, precipitação, cobertura de nuvens e da própria condição interna da água, sendo que águas mais turvas tendem a subestimar o coeficiente de atenuação da luz, devido à dispersão da mesma (ESTEVES, 1988).

3.1.3.4 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica corresponde à capacidade do meio em conduzir eletricidade. A capacidade de condução de eletricidade no meio aquático é dependente, para valores médios de pH, da composição iônica. Os íons diretamente responsáveis pela condutividade elétrica são denominados macronutrientes, como, por exemplo, cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonato, sulfato, cloreto. A temperatura e o pH também modificam o valor da condutividade elétrica, sendo que a atividade iônica aumenta cerca de 2% para cada grau centígrado. Deste modo, em limnologia, adotou-se

como padrão a temperatura de 25^{o}C para a leitura de condutividade elétrica, ou o uso de um fator de correção. Para valores de pH extremos, menores do que 5 e maiores do que 9, poucos íons interferem na condutividade, entre eles, H^{+} e OH^{-} (ESTEVES, 1988).

A condutividade elétrica é uma variável importante a ser analisada visto que está relacionada ao metabolismo do sistema aquático. A sua variação diária fornece informações sobre processos importantes nos ecossistemas aquáticos, como a produção primária e a decomposição. Uma vez que a mesma está associada à composição iônica da água, ela pode ajudar na identificação de fontes poluidoras e pode identificar diferenças geoquímicas entre afluentes (ESTEVES, 1988). A relação da condutividade elétrica com as condições climáticas em regiões tropicais está condicionada às estações seca e chuvosa.

3.1.3.5 Oxigênio dissolvido (OD)

Dentre os gases dissolvidos na água o oxigênio é um dos mais importantes na dinâmica e caracterização de ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 1988). Sabe-se que a concentração de oxigênio dissolvido em qualquer massa d'água está em permanente equilíbrio com a pressão parcial do oxigênio atmosférico. Essa concentração é proporcional à temperatura da água e pode ser expressa em termos de porcentagem de saturação. Quando a água recebe uma determinada carga de matéria orgânica, parte do seu oxigênio dissolvido será utilizada na oxidação biológica da matéria orgânica introduzida, reduzindo desta forma a saturação do mesmo na água. Portanto, a concentração de oxigênio dissolvido em um curso d'água pode ser usada como um dos parâmetros de determinação da qualidade da água. Quanto mais reduzida é a concentração de oxigênio, pode-se dizer que, mais poluído o curso d'água se encontra (PRADO, 1999).

3.1.3.6 Temperatura

Segundo ESTEVES (1988), nos corpos d'água, devido à forte absorção da radiação no primeiro metro de profundidade, deveria ocorrer abaixo desta camada uma queda brusca de temperatura. No entanto, este fenômeno não ocorre, principalmente porque o vento, promovendo a turbulência da água, produz a redistribuição do calor por toda a massa d'água. Nos ecossistemas aquáticos continentais, a quase totalidade da propagação do calor ocorre por transporte de massa d'água, sendo a eficiência deste, função da presença ou ausência de camadas de diferentes densidades.

É bastante comum, em reservatórios, ocorrer estratificação térmica. A estratificação térmica consiste na diferença de temperaturas que geram camadas d'água

com diferentes densidades, as quais formam uma barreira física, impedindo que se misturem. Se o vento não for suficiente para misturá-las, o calor não se distribui uniformemente, criando a condição de estabilidade térmica (ESTEVES, 1988). Na natureza, a influência da temperatura sobre a comunidade fitoplanctônica faz parte do conjunto de influências exercidas pela duração do dia, disponibilidade de luz e estabilidade da massa de água (CALIJURI, 1999). Além de interferir nos processos bioquímicos do sistema, a temperatura também se relaciona ao pH, à densidade, à taxa de oxigênio dissolvido, entre outros fatores, sendo então, importante considerá-la nos estudos limnológicos.

3.1.3.7 Potencial hidrogeniônico (pH)

A basicidade ou a acidez de uma solução é freqüentemente expressa em termos de concentração de íons H^+ que é denominada pH. O mesmo é considerado como uma das variáveis mais importantes, ao mesmo tempo em que é uma das mais difíceis de se interpretar. Ecossistemas aquáticos que apresentam com mais freqüência valores baixos de pH têm elevadas concentrações de ácidos orgânicos dissolvidos de origem alóctone e autóctone (ESTEVES, 1988). Segundo CALIJURI (1999), os três grandes processos que interferem nos valores de pH são a fotossíntese, a respiração e a assimilação de nitrogênio pelo fitoplâncton.

3.1.3.8 Materiais sólidos em suspensão (orgânicos, inorgânicos e totais)

A concentração de sólidos em suspensão de um curso d'água varia de acordo com a descarga de água doce por meio da rede de drenagem ou de esgotos domésticos e industriais. O aumento da concentração dos sólidos em suspensão interfere na turbidez da água, e, portanto, na natureza do campo de luz submerso afetando intensamente desde a ecologia do sistema aquático até o seu potencial recreacional. O transporte dos sólidos em suspensão depende da velocidade de escoamento e da turbulência da água. Variações dessas propriedades irão determinar os locais preferenciais de deposição das partículas e de assoreamento (NOVO e BRAGA, 1995). Ocorrências de ressuspensão dos sedimentos de fundo, devido à ação de vento, são também responsáveis pelo aumento da concentração de sólidos em suspensão na coluna d'água. Os sólidos em suspensão constituem-se em fração inorgânica (partículas minerais) e fração orgânica (organismos planctônicos e matéria orgânica particulada) (NOVO e BRAGA, 1995). A fração inorgânica dos sólidos totais em suspensão é a grande responsável pela turbidez da água e esta atinge o corpo d'água geralmente de forma difusa, pelo escoamento superficial.

Nos últimos anos, vários autores têm demonstrado, para os reservatórios do Estado de São Paulo, uma redução intensa da zona eufótica (região limitada por irradiância descendente inferior a 1 % da incidente em subsuperfície), nos períodos de grande precipitação. Assim, o tipo de ocupação territorial parece ter maior impacto nos processos erosivos, que podem ser os responsáveis pelo aumento de sólidos em suspensão na água, culminando com o assoreamento de reservatórios.

3.1.3.9 Clorofila a total

Sendo a clorofila um dos principais responsáveis pela fotossíntese, o conhecimento de sua concentração pode dar indicativos da biomassa do fitoplâncton. Portanto, a concentração da clorofila a é uma medida indireta da quantidade de organismos clorofilados presentes num ambiente hídrico, podendo determinar o estado trófico de um determinado sistema aquático(ESTEVES, 1988).

3.1.3.10 Silicato Reativo

A sílica presente no ambiente aquático é proveniente, principalmente, da decomposição de minerais de silicato de alumínio, que são mais freqüentes em rochas sedimentares do que magmáticas. Em limnologia, geralmente, denomina-se de sílica ou silicato (reativo, solúvel ou dissociado) à forma assimilável pelos organismos aquáticos. A sílica nesta forma é importante para as diatomáceas, na elaboração de sua carapaça, grupo de algas planctônicas importantes na produção primária (ESTEVES, 1988).

3.2 Monitoramento de qualidade da água, com destaque para os reservatórios

Os sistemas de monitoramento de qualidade da água podem ser definidos como esforços direcionados a obter informações qualitativas a respeito das características físicas, químicas e biológicas da água, via amostragens dos corpos d'água (SANDERS *et al.*, 1987). Para se estabelecer um sistema de monitoramento, primeiramente é preciso estar bem claro o objetivo do monitoramento, para se estabelecer os parâmetros a serem monitorados e qual a metodologia de monitoramento a ser adotada. A tabela 1 apresenta os principais parâmetros utilizados em monitoramentos de qualidade da água, relacionando-os aos fins pelos quais se pretende monitorar, sejam eles referentes ao uso da água ou à caracterização do corpo d'água. A Agência Nacional de Águas (ANA), para viabilizar sua atuação na área de qualidade da água, tem adotado quatro

modalidades de monitoramento, sendo eles, monitoramento de fiscalização, de emergência, de alerta e da rede básica do Sistema de Informações Hidrológicas.

Tabela 1: Parâmetros adotados em monitoramentos de qualidade da água com as diferentes finalidades.

Parâmetros	**Finalidade do Monitoramento de Qualidade da Água**						
	Usos				**Caracterização do corpo de água**		
	Irrig.	**Pot.**	**Ind.**	**Pisc.**	**Eutr.**	**Pol.**	**Salin.**
Alcalinidade Hidróxidos		**X**	**X**				
Alcalinidade Carbonatos		**X**					
Alcalinidade Bicarbonatos		**X**					
Alumínio		**X**					
Amônia			**X**	**X**		**X**	
Cálcio	**X**		**X**				
Cloretos		**X**	**X**				**X**
Clorofila *a*					**X**		
Condutividade elétrica	**X**			**X**			**X**
Cor		**X**					
DBO		**X**			**X**	**X**	
Dureza		**X**	**X**				
Ferro		**X**	**X**	**X**			
Fosfato Total					**X**		
Fósforo Total						**X**	
Magnésio	**X**		**X**				
Manganês			**X**				
Nitratos			**X**		**X**		
Ortofosfato					**X**		
Oxigênio Dissolvido				**X**	**X**		
PH		**X**	**X**	**X**			
Potássio						**X**	
Sílica					**X**		
Sódio	**X**						
Sólidos Dissolvidos Totais				**X**			
Sólidos em Suspensão Totais					**X**		
Sulfatos			**X**				
Turbidez		**X**					
Coliformes Fecais				**X**		**X**	

Legenda: Irrig.=Irrigação; Pot.=Potabilidade; Ind.=Indústrias; Pisc.=Piscicultura; Eutr.=Eutrofização; Pol.=Poluição e Salin.=Salinização.
Fonte: Adaptada de COGERH, 2004.

Após se estabelecer o objetivo do monitoramento e os parâmetros a serem analisados, alguns cuidados devem ser tomados, sendo alguns deles recomendados por SMITH E McBRIDE (1990), a seguir:

- As peculiaridades dos diversos tipos de corpos d'água e trechos dos mesmos com diferentes características devem ser consideradas (rios, lagos, água subterrânea, oceanos, diferentes compartimentos de reservatórios, dentre outros);
- Determinação das possíveis estações e períodos de amostragens, visando melhor representatividade espacial e temporal;
- A freqüência na obtenção dos dados deve estar também acoplada aos ciclos sazonais e às características hidrológicas da área;

- Deve-se considerar a proximidade das estações amostrais das fontes de poluição e uso e cobertura da terra da bacia de drenagem;
- Avaliação da acurácia necessária ao programa de monitoramento;
- Os operadores de campo devem estar capacitados visando manter a integridade das amostras durante a coleta, transporte e armazenamento;
- A análise das amostras deve ser feita em laboratórios apropriados, assim como os equipamentos de medição em campo devem estar calibrados e em boas condições e os procedimentos analíticos devem garantir a confiabilidade dos resultados;
- No momento das análises dos resultados deve-se considerar o efeito diluição (precipitação e vazão), assim como procurar comparar os valores dos parâmetros com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 20, de acordo com a classe em que o corpo d'água monitorado se enquadra;
- Desenvolver sistemas de armazenamento dos dados de forma adequada e segura (Banco de Dados);
- Avaliar os custos do programa, e,
- Sempre que possível é importante que o monitoramento de qualidade da água tenha continuidade, dentre outras recomendações.

Quanto à forma como é efetuado e ao tipo de técnicas envolvidas, o monitoramento de qualidade da água pode ser classificado em:

- *Convencional:* atualmente com auxílio de sensores portáteis para medição *in situ*, porém, com a maior parte dos parâmetros sendo analisados em laboratório;
- *Participativo e educativo:* monitoramento realizado com o objetivo de educação ambiental e participação da comunidade na gestão dos recursos hídricos, utilizando *kits* de análise *in situ.* Pode-se citar o caso dos projetos *Observando o Tietê* do Núcleo União Pró-Tietê da SOS Mata Atlântica, SP e o *Projeto Olho D'água* da Prefeitura Municipal de Curitiba, PR;
- *Em tempo real ou contínuo (Telemetria):* é feito por estação automática, provida de amostrador contínuo, tendo capacidade para medição de vários parâmetros como oxigênio dissolvido, pH, temperatura, condutividade, carbono orgânico total, diversos íons, turbidez e clorofila. A transmissão dos dados é feita

via satélite em tempo real. Segundo TOMS (1975), um sistema telemétrico é muito útil em rios ou reservatórios que servem ao abastecimento público e ao mesmo tempo recebem vários tipos de efluentes devidamente tratados. O monitoramento contínuo permite a detecção instantânea de qualquer falha que possa ocorrer nestes tratamentos, bem como qualquer tipo de descargas acidentais, e,

- *Biológico:* Utiliza organismos para uma melhor avaliação e entendimento das condições existentes na água, por meio de vigilância comportamental e medidas em animais, vegetais, algas e fungos. Assumem grande importância quando se deseja determinar os efeitos de contaminantes presentes no ambiente ao longo do tempo. Quando este tipo de estudo é realizado em laboratório utilizando métodos de bioensaios, onde os organismos são submetidos a diferentes concentrações dos contaminantes, denomina-se ecotoxicologia. Mas pode-se ainda estudar o comportamento dos organismos na natureza com relação aos contaminantes, sendo denominados de indicadores biológicos. Porém, de acordo com os objetivos e necessidades de cada programa, esses tipos de monitoramento podem ser conciliados, atribuindo maior eficiência ao mesmo.

O monitoramento da qualidade da água é um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos. Segundo COIMBRA (1991), o monitoramento qualitativo fornece a base para decisões de aproveitamento múltiplo e integrado dos recursos hídricos, bem como a minimização de impactos ao meio ambiente, diante da possibilidade de avaliar conjuntamente as características da água com sua adequação aos usos previstos, ou por meio da definição de projetos de recuperação e identificação dos níveis de poluição.

No entanto, o monitoramento regular e confiável, especialmente em reservatórios não é uma tarefa fácil, devido à complexidade destes ecossistemas. Há problemas metodológicos que precisam ser resolvidos para se encontrar uma abordagem de baixo custo e confiável superando a disponibilidade de recursos e de mão-de-obra especializada. Porém, não é ainda suficiente identificar e monitorar apenas os vários parâmetros técnicos, sociais, ambientais e econômicos; é essencial rever a estrutura institucional e suas restrições, uma vez que são as instituições envolvidas, que em última análise, precisam desenvolver e implantar uma política apropriada para o monitoramento de reservatórios (BISWAS, 1991).

Convém mencionar ainda que não existe um monitoramento único aplicável a todos os reservatórios ou qualquer outro corpo hídrico, uma vez que cada sistema apresenta suas características próprias, sejam elas de localização geográfica, hidrológicas, climáticas, utilização antrópica da água, dentre outras. O conhecimento do corpo d'água permite estabelecer os pontos chaves sobre os quais se deve focar o monitoramento. Por outro lado, deve-se reconhecer que o monitoramento por si não é suficiente. Os dados coletados devem ser utilizados de forma adequada para se obter um quadro claro da situação do reservatório, tanto em termos de quantidade como de qualidade de sua água, uso e gerenciamento efetivo.

Devido à grande extensão de alguns corpos d'água, dificuldade de acesso e custos elevados das análises, torna-se inviável analisá-los com intensa freqüência, considerando um número grande de estações e parâmetros. Portanto, há a necessidade de se obter indicadores que sejam elementos chave no ecossistema, em um determinado tempo e situação. Estes poderão ser utilizados pelos gerenciadores do ecossistema que se pretende monitorar, podendo obter desta forma, um monitoramento efetivo, mais prático e economicamente viável. Este procedimento tem sido adotado em muitos países, dentre eles o Canadá (MITCHELL, 1997).

Finalmente, vale ressaltar que para haver um avanço no sistema de monitoramento dos recursos hídricos no Brasil são necessários avanços conceituais, gerenciais, institucionais, no balanço de massa, na modelagem ecológica e na aplicação de novas técnicas como, por exemplo, as de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

3.3 Planejamento e gestão integrada de recursos hídricos, com destaque para os reservatórios

Tendo em vista o risco da escassez do recurso água, seja de forma quantitativa ou qualitativa, decorrente das atividades humanas, principalmente, ao lançamento de resíduos e aos usos múltiplos, é preciso que haja um planejamento e gerenciamento de forma integrada, visando a otimização do mesmo.

Em um planejamento regional integrado de recursos hídricos deve-se adotar como unidade territorial de planejamento a bacia hidrográfica na qual o curso d'água se insere. MAcCAULEY e HUFSCHMIDT (1995) destacam que a utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, possibilita considerar a conjunção de todos

os fatores (econômicos, políticos, sociais e culturais) relacionados à área da bacia. O primeiro fator que deve ser levado em consideração em um planejamento é a realização de uma completa caracterização do sistema a ser estudado. Este conjunto de informações possibilita conhecer o sistema, o que dará suporte ao embasamento de proposta e tomada de decisões.

STRASKRABA *et al.* (1993) mencionam que a complexidade em manejar a qualidade da água de um reservatório reside na natureza dinâmica desse sistema, na interferência do homem e na variabilidade nos procedimentos de operação sobre os processos ecológicos. Para TUNDISI (1996), um reservatório como sistema complexo, consiste em muitos componentes e subsistemas que interagem, os quais variam no espaço e no tempo. Para a compreensão dos processos e mecanismos de funcionamento destes ecossistemas, é necessária uma abordagem integrada para a observação, experimentação e mensuração dos mesmos. Neste sentido, um dos estudos mais completos foi efetuado na represa do Lobo (São Carlos, SP). O trabalho envolveu a descrição estrutural e funcional das comunidades do fitoplâncton, zooplâncton, bentos e peixes considerando suas inter-relações, bem como a descrição da climatologia e da hidrologia associadas à ecologia do reservatório, o que permitiu o desenvolvimento do Modelo Broa (HENRY, 1999).

Visto que os grandes reservatórios são destinados a diversos usos como geração de energia, irrigação, navegação, abastecimento doméstico e industrial, é possível que haja conflitos relacionados à distribuição da água de acordo com as prioridades. Por isso, é preciso que se administre a sua disponibilidade e uso por meio de um processo de gerenciamento. Este gerenciamento deve incluir uma visão inter e multidisciplinar do problema, articulando tecnologia, aspectos sócio-econômicos, saúde humana e bases científicas de uma forma interativa (BISWAS, 1991). Todavia, o estabelecimento de diretrizes para a utilização da água e para a localização dos empreendimentos local, regional e estadual é essencial para a minimização dos impactos e, conseqüentemente, para a conservação dos recursos (GANZELI, 1995).

STRASKRABA (1993) defende a aplicação da ecotecnologia no gerenciamento de lagos. Este termo refere-se ao uso de instrumentos tecnológicos, com base no profundo conhecimento dos princípios nos quais os sistemas ecológicos baseiam-se, aplicando o mesmo modelo no gerenciamento de recursos hídricos, de modo que o custo e danos ambientais sejam minimizados.

No cenário internacional a tendência é o gerenciamento integrado de bacias hidrográficas considerando as relações terra-água, principalmente, ao considerar as fontes difusas de poluição, relacionadas à agricultura. A figura 1 permite observar as inter-relações dos agentes, bem como dos fatores envolvidos no gerenciamento integrado de recursos hídricos.

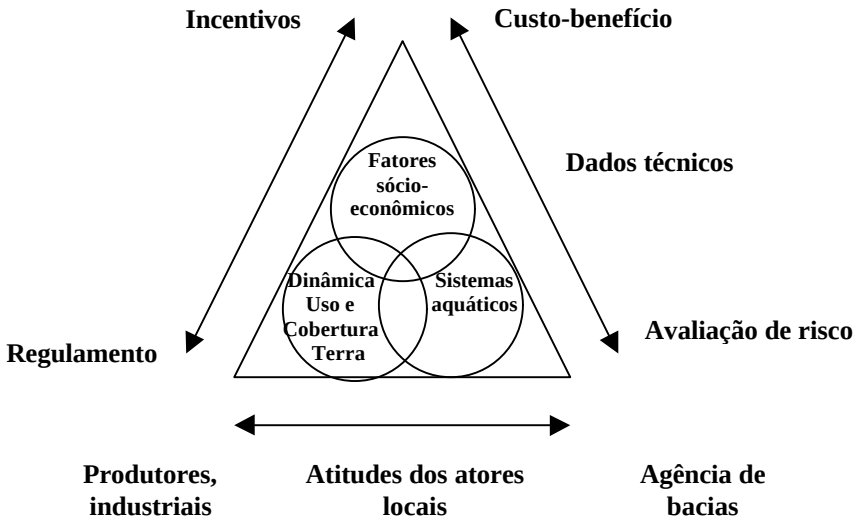


Figura 1: Relações entre os agentes e fatores envolvidos no gerenciamento de recursos hídricos.
Fonte: Adaptada de BREZONIK *et al*., 1999.

A inserção das questões abordadas, na busca de soluções para os problemas relacionados aos recursos hídricos, proporciona uma nova concepção de planejamento e gerenciamento. Dessa forma, não é mais aceitável a imposição de um plano à sociedade, pois o mesmo deve ser elaborado de forma participativa. Para SACHS (1997), a gestão racional é fundamental para prevenir o esgotamento dos recursos naturais, entendendo essa racionalidade como a adoção de um sistema que integre os diversos setores e propicie a atuação das comunidades regionais, em síntese, estilo de planejamento descentralizado, sistêmico e participativo.

Com o intuito de estabelecer o gerenciamento de recursos hídricos no país foi criada a Lei n° 9.433 de 1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), com base na legislação francesa, estabelecendo novos organismos, diretrizes e instrumentos de gestão. No mesmo sentido, foi criada, a partir da Lei n° 9.984 de 2000 a Agência Nacional de Águas (ANA) que é uma autarquia sob regime especial com autonomia administrativa e financeira sendo responsável pela implementação da PNRH.

Entretanto, antes da criação dessas leis, o Estado de São Paulo, já possuía experiência de implantação de um modelo de gerenciamento de recursos hídricos, por meio da Lei 7.663 de 1991. O Estado foi dividido em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI's) pela Lei 9.034 de 1994 que aprovou o Plano Estadual de Recursos Hídricos para este período. Desta forma, a bacia do rio Piracicaba, parte da área de estudo do presente trabalho, foi a primeira a criar um Comitê de Bacias referente aos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, em 1993.

Para BARTH (2002), com a PNRH, de fato foi criado um sistema institucional para que a União, os Estados, os Municípios e os usuários dos recursos hídricos se articulem e negociem o gerenciamento de recursos hídricos nas bacias hidrográficas de forma harmônica e integrada. Portanto, no contexto desta negociação deve ser contemplado o aperfeiçoamento da legislação de forma que os procedimentos jurídico-administrativos básicos se harmonizem, em especial em relação à outorga de direitos de uso e respectiva cobrança.

Internacionalmente, pode-se dizer que as primeiras discussões sobre recursos hídricos iniciaram-se em 1977 com a Conferência das Nações Unidas sobre a Água em Mar Del Plata, Argentina. Apontou-se ali, pela primeira vez, a necessidade de modernizar os sistemas de gestão da água. Entretanto, foi a Conferência de Dublin de 1992, Irlanda, que ficou conhecida como um marco na modernização dos sistemas de gestão de recursos hídricos (ICWE, 1992). Dela saíram os chamados Princípios de Dublin, que norteiam hoje a gestão das águas em todo o mundo. São eles:

- As águas doces são um recurso natural finito e vulnerável, essencial para a sustentação da vida, do desenvolvimento e do meio ambiente. A gestão da água deve ser integrada considerando o seu todo, quer seja a bacia hidrográfica e/ou os aqüíferos;
- O desenvolvimento e a gestão da água devem ser baseados na participação de todos, quer sejam usuários, planejadores e decisores políticos, de todos os níveis;
- As mulheres têm um papel central na provisão e proteção da água;
- A água é um recurso natural dotado de valor econômico em todos seus usos competitivos e deve ser reconhecida como um bem econômico.

BORRE *et al.* (2001), apresentou, como resultado da *8th International Conference on the Conservation and Management of Lakes* de 1999, alguns elementos ressaltados como importantes no êxito obtido em gerenciamento de lagos nos países participantes do evento (Rússia, Estados Unidos, Canadá, Filipinas, Macedônia, Albânia, Estônia, Bolívia, Peru, Indonésia, Uganda, Tanzânia e Quênia), sendo eles: o envolvimento dos cidadãos e agentes locais no planejamento e implementação das atividades, a consideração de toda a bacia de drenagem do lago, o desenvolvimento de estratégias de planejamento, a efetiva comunicação entre cientistas e tomadores de decisões e o estabelecimento de mecanismos institucionais para cooperação e gerenciamento das bacias hidrográficas.

3.4 Caracterização das Geotecnologias aplicadas no presente estudo

3.4.1 Sensoriamento Remoto

3.4.1.1 Definição e alguns cuidados na obtenção das imagens

Sensoriamento remoto pode ser entendido como a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles. Os sensores seriam os equipamentos capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações. Esta tecnologia vem sendo aplicada em diversas áreas do conhecimento. Isto devido a possibilidade de se obter uma grande quantidade de informações a respeito de uma área ou ecossistema, em tempos diversos, apresentando baixo custo (comparando aos métodos tradicionais de amostragens de dados em campo), assim como uma boa qualidade, permitindo a visualização integrada do ambiente, entre outras vantagens (NOVO, 1992).

Porém, quando se opta por utilizar dados obtidos a partir de sensores remotos, torna-se interessante que se faça um levantamento prévio das vantagens e desvantagens na escolha de um sensor. Deste modo, deve-se considerar a eficiência do seu sensor, a freqüência na obtenção de dados, o ângulo de visada, as resoluções (espacial, espectral e radiométrica) e os custos, visando atingir os objetivos propostos. No presente estudo utilizaram-se imagens obtidas pelos sensores multiespectrais *Thematic Mapper* (TM) e *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) a bordo dos satélites Landsat 5 e 7, respectivamente. As imagens dos sensores da série Landsat, cuja aquisição se iniciou

em 1972 têm sido uma das mais utilizadas em estudos ambientais, uma vez que permitem uma visão sinóptica e repetitiva da paisagem. Uma vantagem importante é que as imagens Landsat 7 tem o mesmo período de revisita (16 dias) e utiliza a mesma grade de referência do Landsat 5, além de ter a mesma área imageada (185 x 185 km por cena), o que permite uma perfeita integração das imagens do Landsat 7 com dados históricos do Landsat 5, como ocorreu neste estudo.

Para que se possam extrair informações a partir de dados de sensoriamento remoto, é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre e dos fatores que interferem no seu comportamento. Este conhecimento é importante também na definição de novos sensores, na definição do tipo de processamento a que devem ser submetidos os dados, assim como na definição da forma de aquisição dos mesmos (NOVO, 1992). Sobretudo, a eficácia e a precisão dos resultados obtidos a partir de interpretações de imagens orbitais estão diretamente relacionadas ao tipo de processamento adotado para as mesmas e à experiência do profissional que irá interpretá-las.

3.4.1.2 Processamento digital de imagens orbitais

O processamento digital de dados obtidos por sensoriamento remoto orbital, possibilitou nos últimos anos, o desenvolvimento de técnicas voltadas para a análise de dados multidimensionais, adquiridos por diversos tipos de sensores. Estas técnicas têm recebido o nome de processamento digital de imagens. Segundo MASCARENHAS e VELASCO (1984), entende-se por processamento digital de imagens a análise e a manipulação de dados via computador com o objetivo de facilitar a identificação de alvos e a extração das informações.

O processamento digital de imagens pode ser dividido em três etapas independentes: *pré-processamento, classificação e pós-classificação*. O pré-processamento refere-se ao preparo dos dados de satélite para a realização da classificação. Nesta fase empregam-se técnicas como a calibração radiométrica da imagem, correção de distorções geométricas e atmosféricas, bem como remoção de ruído e aplicação de técnicas de realce das imagens. A classificação é o processo de extração de informações em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos, a mesma é utilizada em sensoriamento remoto para mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse. A pós-classificação é um procedimento aplicado em uma imagem classificada, com o objetivo de uniformizar os temas, ou seja, eliminar pontos isolados, classificados diferentemente de sua vizinhança. Com isto,

gera-se uma imagem classificada com aparência menos ruidosa, porém, esta fase não é obrigatória. Serão descritas na seqüência apenas as técnicas que foram aplicadas no presente estudo.

- *Correção atmosférica:* a atmosfera influi na resposta de um alvo de dois modos. A absorção atmosférica subtrai valores de brilho de energia radiante do alvo, enquanto o espalhamento atmosférico adiciona valores à resposta original (FONSECA *et al*., 2000). Como se pretendia comparar imagens de épocas e satélites diferentes, foi aplicado o método de subtração da radiância de alvos escuros que, por se basear exclusivamente nas características da imagem, não requer conhecimento prévio a respeito da área imageada ou das condições atmosféricas no momento do imageamento (CHAVEZ JR., 1988; CHAVEZ JR., 1996).
- *Registro de imagens:* para que mais de uma imagem sejam perfeitamente coincidentes no espaço é necessário que passem por um tipo de transformação espacial conhecido por registro, ou seja, é necessário georreferenciá-las. O registro se faz necessário para realização de uma análise multitemporal, sobreposição de imagens de datas diferentes, junção de imagens adjacentes para a montagem de um mosaico e sobreposição de imagens de sensores diferentes (CRÓSTA, 1992). No caso do registro, é bastante comum o uso de transformações polinomiais do primeiro e segundo graus.
- *Equalização de histogramas de imagens:* é uma maneira de manipulação de histogramas, reduzindo automaticamente o contraste em áreas muito claras ou muito escuras de uma imagem. Consiste em uma transformação não-linear que considera a distribuição acumulativa da imagem original, para gerar uma imagem resultante, cujo histograma será aproximadamente uniforme (INPE, 2004). Esta técnica é também utilizada no intuito de igualar o brilho e o contraste de imagens distintas, que serão concatenadas para recobrir uma determinada área, pela técnica do mosaico, procedimento adotado neste estudo.
- *Mosaico de imagens:* o processo de mosaicagem pode ser definido como a junção de diferentes imagens ou mapas em uma única imagem ou mapa, correspondente a uma área geográfica definida. O produto final do mosaico é uma imagem ou um mapa topologicamente consistente, com continuidade física (INPE, 2004).

- *Classificação digital de imagens:* há dois tipos de classificação, não-supervisionada e supervisionada. No presente estudo foi utilizada a classificação supervisionada que permite a seleção de amostras representativas de cada classe que se quer identificar na imagem. RICHARDS (1989) cita que a classificação supervisionada é o procedimento mais utilizado para análises quantitativas de dados de imagens de sensoriamento remoto e por esse fato tem sido bastante adotada em estudos referentes ao uso e cobertura da terra (PEREIRA *et al*.,1998 e MOREIRA *et al.,* 1998). Os classificadores utilizados na classificação podem ser divididos em dois tipos, *pixel* a *pixel* e por regiões. No estudo em questão utilizou-se um classificador por regiões, que utiliza, além de informação espectral de cada *pixel*, a informação espacial que envolve a relação com seus vizinhos. Eles procuram simular o comportamento de um foto-intérprete, reconhecendo áreas homogêneas de imagens, baseadas nas propriedades espectrais e espaciais das mesmas (INPE, 2004). Os classificadores por regiões implementados no Spring 3.6 são o ISOSEG e o *Battacharia distance*, sendo o último adotado neste estudo. A medida da distância de *Battacharya* é usada para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais. Ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais (INPE, 2004). Para a realização de uma classificação supervisionada aplicando classificadores por regiões, primeiramente, a imagem é particionada em regiões (Segmentação, que será descrita posteriormente) e na seqüência, cada região é associada a uma classe.
- *Segmentação de imagens*: a classificação estatística é o procedimento convencional mais utilizado para a análise digital de imagens. Constitui-se em um processo de análise de *pixels* de forma isolada. Esta abordagem apresenta limitações pelo fato da análise pontual ser baseada unicamente em atributos espectrais. Para superar estas limitações, propõe-se o uso de segmentação da imagem, anterior à fase de classificação. Para HUSSAIN (1991), a segmentação é o processo em que uma imagem é subdividida em partes constituintes ou regiões, tendo como base propriedades dos *pixels*, como nível de cinza e textura. É na fase de segmentação que objetos ou outras entidades de interesse são extraídas para um subseqüente processamento. A divisão em regiões pode ser por: crescimento por regiões, de detecção de bordas ou de detecção de bacias

(INPE, 2004). No presente estudo aplicou-se o método de crescimento por regiões, que consiste em um agrupamento de dados cujas regiões espacialmente adjacentes, podem ser agrupadas. Entretanto, independente do método que se adota para realizar uma segmentação é necessário determinar o limiar de similaridade e o limiar de área. O primeiro é o limiar mínimo, sendo que abaixo deste, duas regiões são consideradas similares e agrupadas em uma única região. O segundo limiar significa o menor valor de área (em *pixel*) para que uma região seja separada de outra (BINS *et al*., 1993).

3.4.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

DANGERMOND (1992) conceitua esses sistemas como um conjunto de *hardware, software* e dados geográficos projetados eficientemente para adquirir, armazenar, atualizar, manipular, analisar e visualizar todas as formas de informações geograficamente referenciadas. O SIG faz parte de um grupo maior de tecnologias chamado de geoprocessamento. Para BURROUGH e McDONNELL (1998), o SIG é mais que um simples automatizador de tarefas existentes, ele propicia ambos, um arquivo de dados espaciais na forma original e uma ferramenta para a exploração de interações entre processos e modelos em fenômenos espaciais e temporais. De acordo com DOYLE e GRAY (1995), o aspecto mais importante no estabelecimento de um SIG, bastante funcional e acessível, é a organização do banco de dados. O estágio de montagem do mesmo requer sérias considerações a respeito dos objetivos a serem alcançados.

O SIG utilizado no presente estudo foi o Spring 3.6. O *software* SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas) é um banco de dados geográfico de segunda geração, gratuito, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com as seguintes características:

- Opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras e suporta grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco;
- Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (*raster*), e realiza a integração de dados de sensoriamento remoto num SIG;

- Possibilita um ambiente de trabalho amigável e poderoso, por meio da combinação de *menus* e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra);
- Consegue escalonabilidade completa, isto é, ser capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variem desde micro-computadores a estações de trabalho de alto desempenho.

Contudo, um SIG pode ser utilizado em estudos relativos ao meio ambiente e recursos naturais, na pesquisa da previsão de determinados fenômenos ou no apoio a decisões de planejamento, considerando a concepção de que os dados armazenados representam um modelo do mundo real (BURROUGH, 1986). No entanto, para que os elementos básicos de um determinado SIG possam ser utilizados de forma eficiente, é de fundamental importância que os profissionais ou responsáveis pelo projeto, implementação e uso do sistema sejam pessoas adequadamente capacitadas e com visão do contexto global.

3.4.3 Análise Espacial de Dados (Geoestatística)

Atualmente, a geoestatística é um nome associado a um conjunto de técnicas utilizadas para analisar e inferir valores de uma variável distribuída no espaço ou tempo (CÂMARA *et al.*, 2000). A geoestatística é, pois, uma das ferramentas da análise espacial de dados. Na realidade, as propriedades naturais de uma determinada superfície são espacialmente contínuas. As amostras pontuais formam um subconjunto limitado em relação à quantidade de posições e valores possíveis dentro de uma área de interesse.

Sendo assim, para se obter valores em posições não amostradas utilizam-se algoritmos inferenciais que se baseiam no conjunto amostral disponível. Os SIG's atuais incorporam vários algoritmos de inferência para espacializar propriedades segundo uma estrutura de grade regularmente distribuída no espaço. Entretanto, raramente essa espacialização é acompanhada de informações sobre a qualidade dos dados gerados e estas são importantes para apoiar decisões baseadas nos mesmos (FELGUEIRAS *et al.*, 1999).

Desta forma, as técnicas geoestatísticas de inferência, conhecidas por krigeagem, consideram os atributos ambientais como variáveis aleatórias, o que possibilita a

modelagem das incertezas associadas às inferências. Essas técnicas têm sido utilizadas, com freqüência, para espacialização de atributos ambientais amostrados pontualmente (OLIVER, 1990 e CAMARGO, 1997).

A krigeagem é um estimador de média ponderada local que utiliza o critério de minimização da variância de estimação para definir os pesos associados a cada amostra considerada. Além disso, esse critério permite a criação de um mapa de incertezas de estimação associado ao mapa de atributos espacializados. Estas são as principais vantagens do interpolador de krigeagem em relação a outros interpoladores de média ponderada, cujos ponderadores são, em geral, definidos por paradigmas subjetivos (DEUTSCH, 1998).

3.4.4 Sistemas de suporte à decisão

Um dos aspectos mais importantes do uso das geotecnologias é o potencial de um SIG em facilitar a produção de novas informações a partir de um banco de dados geográficos. Tal capacidade é fundamental para aplicações como ordenamento territorial e estudos de impacto ambiental, casos em que a informação final deve ser deduzida e compilada a partir de levantamentos básicos. Também é muito relevante em estudos sócio-econômicos, quando se deseja estabelecer indicadores que permitam uma visão quantitativa da informação espacial. Porém, o grande desafio da produção de novas informações em um SIG é a capacidade de comparar e avaliar as diferentes possibilidades de geração de novos mapas. Como o SIG oferece uma grande quantidade de funções de Álgebra de Mapas[1], nem sempre é fácil escolher qual a forma de combinação de dados é mais adequada para os diversos propósitos. Neste contexto, é muito útil dispor de ferramentas de suporte à decisão, que nos ajudem a organizar e estabelecer um modelo racional de combinação dos dados (INPE, 2004).

O conceito fundamental dos vários modelos de tomada de decisão é o de *racionalidade*. De acordo com este princípio, indivíduos e organizações seguem um comportamento de escolha entre alternativas, baseado em critérios objetivos de julgamento, cujo fundamento será satisfazer um nível pré-estabelecido de aspirações (INPE, 2004). Os métodos mais utilizados no suporte à decisão são os multicritério. As Metodologias Multicritério de Apoio à Decisão *(Multicriteria Decision Aid* – MCDA)

[1] O conceito *álgebra de mapas* ou *álgebra de campos* pode ser visto como uma extensão da álgebra tradicional, com um conjunto de operadores onde as variáveis manipuladas são campos geográficos (BERRY, 1993).

objetivam auxiliar analistas e decisores em situações nas quais há a necessidade de identificação de prioridades sob a ótica de múltiplos critérios, o que ocorre normalmente, quando coexistem interesses em conflito (GOMES, 1999).

Na gestão ambiental o processo de decisão consiste no papel atribuído e na participação de cada um dos atores no processo de negociação. A análise multicritério deve servir basicamente para ajudar o "decisor" a controlar os dados que são fortemente complexos dentro do campo ambiental e a fazer progredi-los em direção à melhor estratégia de gerenciamento ambiental. Assim sendo, os resultados obtidos pela análise multicritério, e como conseqüência, o apoio à tomada de decisão, dependem do conjunto de ações consideradas, da qualidade dos dados, da escolha e estruturação dos critérios, dos valores de ponderação atribuídos aos critérios, do método de agregação utilizado e da participação dos diferentes atores (SOARES, 2004).

Dentre os métodos mais utilizados em MCDA estão os de ponderação[2]. O método de ponderação mais simples é o da soma ponderada, que foi aplicado no presente trabalho (MELLO *et al.*, 2003).

Ainda a respeito das geotecnologias, verifica-se uma tendência mundial de integração das mesmas em trabalhos relacionados ao planejamento e gerenciamento do meio ambiente. Segundo STAR e ESTES (1990), a vantagem em associar as aplicações da tecnologia de sensoriamento remoto às de SIG, consiste em identificar e quantificar as mudanças ocorridas no ambiente. O sensoriamento remoto proporciona um excelente conjunto de ferramentas para detectar mudanças e, ao mesmo tempo, o SIG é um instrumento eficiente para quantificar os processos de mudanças.

Para EHLERS (1991), um SIG quando associado aos sistemas de sensoriamento remoto pode auxiliar na automação da interpretação, identificação de mudanças, compilação e revisão de mapas. Além de que, estes sistemas possibilitam a integração, numa única base de dados, de informações geográficas provenientes de fontes diversas, tais como dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite e modelos numéricos de terreno (CÂMARA *et al.*, 1996).

Para BAILEY e GATRELL (1995), a integração de análises estatísticas e SIG tem crescido rapidamente e há ainda um grande potencial computacional a ser oferecido às análises estatísticas de dados. Contudo, é de fundamental importância uma análise

[2] A *ponderação* é um método empírico, pois, os pesos são atribuídos conforme a área de estudo, ao tipo de variável, ao objetivo do trabalho e a experiência de cada profissional.

adequada por parte do pesquisador, assim como uma boa interpretação e entendimento dos dados para a obtenção de resultados mais precisos com relação à realidade. Estas ferramentas podem ainda ser associadas a modelos matemáticos, servindo de suporte à decisão em casos em que questões interdisciplinares estejam envolvidas.

4.0 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O reservatório de Barra Bonita começou a operar em 1963, sendo formado pelo represamento dos rios Tietê e Piracicaba, contando com a participação de vários afluentes. Constitui-se no primeiro reservatório (CALIJURI, 1999) à jusante da cidade de São Paulo (aproximadamente 300 km) a formar um complexo de barragens situadas no rio Tietê (figura 2).

Figura 2: Localização de algumas hidrelétricas do Estado de São Paulo, destacando a Usina Hidrelétrica de Barra Bonita.
Fonte: AES-Tietê, 2004.

Este reservatório foi construído, principalmente, para a geração de energia elétrica. Porém, atualmente, é também utilizado para transporte fluvial (Hidrovia Tietê-Paraná), irrigação, turismo, lazer, pesca, abastecimento urbano e como suporte ao desenvolvimento do complexo industrial da região (figuras 3, 4 e 5).

Figura 3**:** Visão panorâmica da barragem e eclusa de Barra Bonita (produção de energia elétrica).
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002.

Figura 4: Estrutura do Hotel Barra Bonita às margens do reservatório (turismo).
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002.

Figura 5: Cargueiro que transporta cana-de-açúcar e soja, entre outros produtos, por meio da Hidrovia Tietê-Paraná (transporte fluvial).
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002.

As características morfológicas e hidráulicas do reservatório de Barra Bonita estão representadas na tabela 2. Inicialmente, este reservatório era gerenciado pela CESP, mas passou pelo processo de privatização e desde 2000 vem sendo gerenciado pela AES-Tietê.

Tabela 2**:** Características morfológicas e hidráulicas do reservatório de Barra Bonita.

Características	**Valor**
Extensão da barragem	480 m
Área inundada	310,00 km^2
Cota máxima	451,50 m
Cota mínima	439,50 m
Perímetro	525 km
Profundidade máxima	30,2 m
Profundidade média	10,2 m
Volume médio acumulado	$2.566x10^6m^3$
Vazão média anual	$4.200x10^6m^3$
Tempo de residência da água	entre 30 a 180 dias
Número de comportas	5
Número de turbinas	4
Potência por unidade	35,190MW

Fonte: CALIJURI 1999 e AES-Tietê, 2004.

A bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita, adotada neste trabalho, é constituída por parte das bacias hidrográficas Piracicaba/Capivari/Jundiaí (BHPCJ) e Tietê/Sorocaba (BHTS), correspondendo a aproximadamente 19.000 km^2, inserida entre as coordenadas geográficas 21° 54’ 20’’ e 23° 57’ 26’’ Sul e 46° 39’ 27’’ e 48° 34’ 52’’ Oeste. A figura 6 mostra a localização da bacia no Estado de São Paulo e no Brasil, estando em UTM fuso 23 estendido, porque foi a projeção adotada no presente trabalho. Adotou-se a premissa de que reservatórios a montante dos principais afluentes do reservatório de Barra Bonita exercem um efeito de barreira dos poluentes, sendo as áreas à montante destes desconsideradas neste estudo, acreditando-se que tenham menor influência no processo de entrada de poluentes no reservatório em questão. Trata-se de uma das regiões mais populosas e desenvolvidas do interior do Estado de São Paulo, possuindo aproximadamente, cinco milhões de habitantes, representando 16% da população do mesmo Estado. Os problemas referentes à qualidade da água advindos do uso e cobertura da terra são bastante representativos da realidade de toda a extensão da BHPCJ e BHTS.

Os principais setores industriais da BHPCJ são: eletroeletrônica, química, metalurgia, mecânica, agroindústria e têxtil. Na agricultura destaca-se o cultivo da cana-

de-açúcar em maior escala e da laranja em menor escala. Na BHTS as principais atividades industriais estão relacionadas aos setores da metalurgia, mecânica, alimentícia, química e eletroeletrônica e na agricultura predominam os cultivos de batata, hortaliças, cana-de-açúcar, além do reflorestamento.

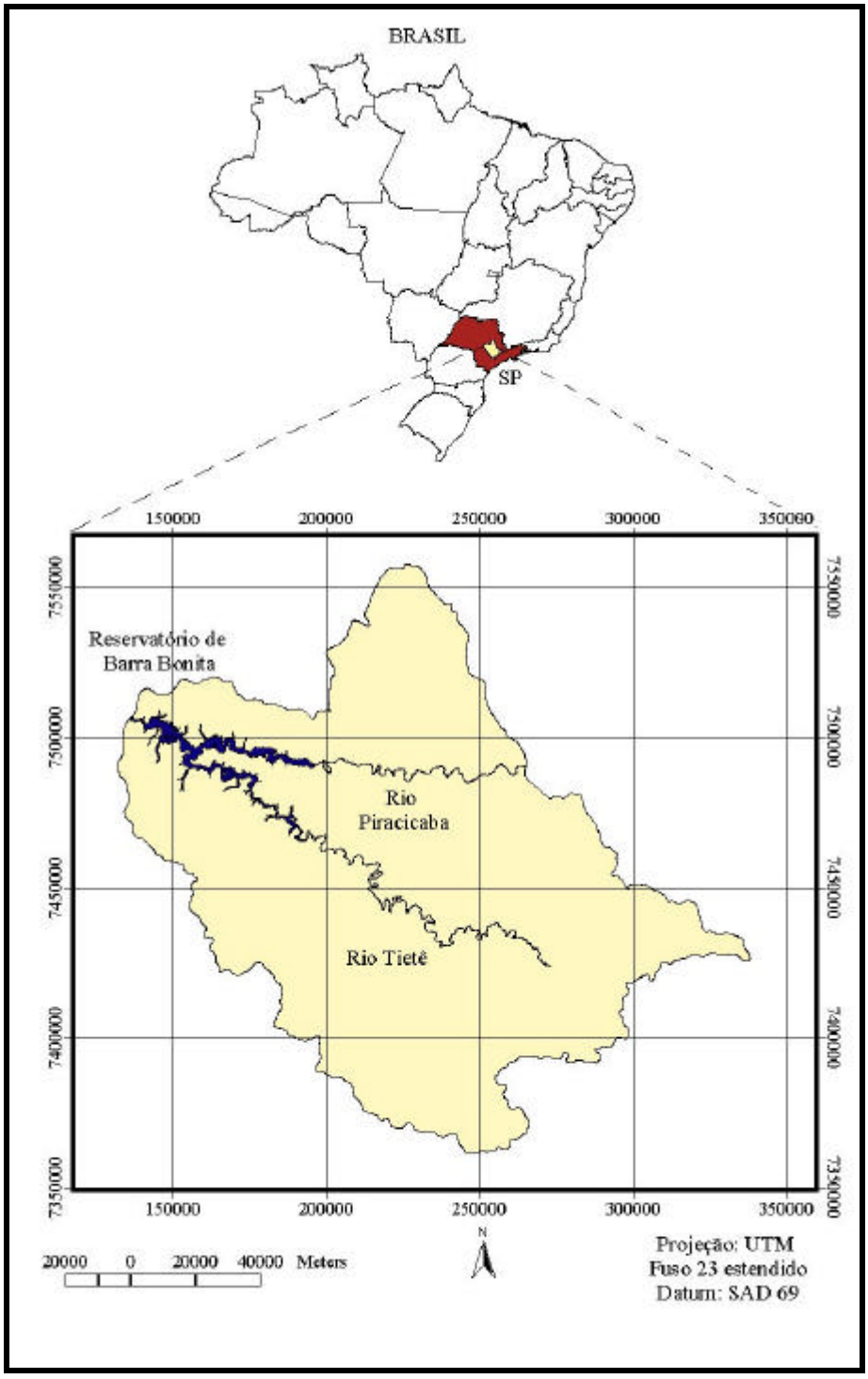


Figura 6: Localização da bacia hidrográfica em estudo, destacando o Reservatório de Barra Bonita e os rios Piracicaba e Tietê.

Tanto a BHPCJ como a BHTS apresentam uma série de problemas ambientais, com destaque para os recursos hídricos, tanto no que se refere à qualidade como à quantidade, havendo conflitos relacionados ao uso dos mesmos.

A BHPCJ, segundo SIGRH (2001), é crítica em termos de disponibilidade hídrica superficial com demandas próximas ao disponível. Aproximadamente 20% de sua vazão média são exportados para a bacia do Alto Tietê e por outro lado, alguns de seus municípios apresentam índice de abastecimento de água abaixo de 80% e outros com índice de perda no sistema de abastecimento acima de 30%.

Quanto aos índices de saneamento possui uma cobertura de coleta de esgoto sanitário de 76%, sendo apenas 11% tratados. Trata-se ainda de uma área crítica com relação ao risco de poluição das águas subterrâneas, nas regiões de Campinas, São Pedro e seus arredores. Os municípios geram, em conjunto, 1.957,44 toneladas de lixo por dia, dos quais, 26% utilizam sistemas adequados, 34% sistemas controlados e 40% sistemas inadequados de disposição de resíduos sólidos.

A qualidade das águas superficiais em longos trechos de seus principais rios apresenta-se degradada, em decorrência da falta de tratamento de esgoto sanitário e da contribuição dos lançamentos de cargas poluidoras remanescentes industriais. A BHPCJ produz aproximadamente 1.957,42 toneladas por dia de resíduos domiciliares, ficando abaixo apenas da bacia do Alto Tietê. O potencial de carga orgânica aumenta ainda mais ao se considerar os resíduos produzidos pelo setor sucro-alcooleiro, predominante na região.

De acordo com SIGRH (2001) a BHTS é prejudicada pela baixa qualidade das águas provenientes da Região Metropolitana de São Paulo. A situação é agravada pela contribuição dos rios Jundiaí e Capivari, inviabilizando a utilização do rio Tietê, neste trecho, para abastecimento, irrigação, pesca, entre outros. A BHTS é crítica em termos de disponibilidade hídrica superficial com demandas elevadas devido à irrigação, principalmente no Alto Sorocaba. Há conflitos de uso entre a irrigação e o setor industrial no Baixo Sorocaba/Tatuí. Também é crítica com relação ao risco de poluição das águas subterrâneas na área de recarga do sistema aqüífero Guarani, no município de Botucatu e arredores (SIGRH, 2001).

Cinco dos seus municípios apresentam índice de abastecimento de água abaixo de 80% e 23 com índice de perdas no sistema de abastecimento acima de 30%. Quanto aos índices de saneamento possui uma cobertura de 81%, sendo apenas 12% tratados (SIGRH, 2001).

Em 1998 foram geradas, nesta bacia, 583 toneladas de lixo domiciliar por dia, sendo 32% dispostas em condições inadequadas e 68% em condições controladas. Verifica-se ainda uma produção de resíduos domiciliares em torno de 582,84 toneladas por dia e uma taxa de remoção da carga orgânica de origem doméstica em média de 12%. A situação também é agravada pela adição da carga orgânica provinda do setor sucro-alcooleiro.

No que diz respeito aos usos preponderantes da água, a figura 7 mostra a situação do Estado de São Paulo em percentagem e por bacias hidrográficas, podendo ser observado que na BHTS há um predomínio do uso da água para irrigação e na BHPCJ para o abastecimento doméstico e industrial.

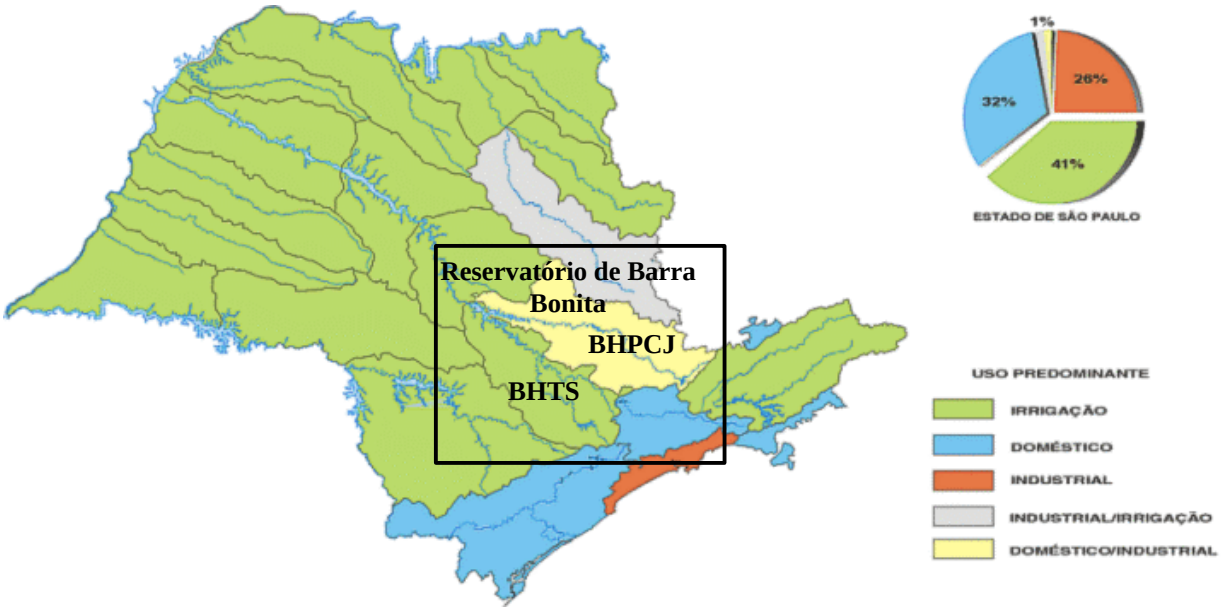


Figura 7: Usos preponderantes da água nas bacias do Estado de São Paulo com destaque para as BHTS e BHPCJ.
Fonte: SIGRH (2001).

Quanto às características naturais, o clima da região é considerado de transição entre os climas tropical e subtropical e as estações anuais não são bem definidas. Segundo a classificação de Köpen, é do tipo CWA (clima mesotérmico), com inverno seco e verão quente. De forma mais específica, segundo MONTEIRO (1973), a maior parte da área de estudo pode ser classificada, quanto aos climas zonais como climas controlados por massas equatoriais e tropicais; quanto aos climas regionais como climas tropicais alternadamente secos e úmidos (A2) e quanto às feições climáticas

individualizadas nos climas regionais segundo as unidades geomorfológicas como depressão do Perceé doTietê (VI).

A respeito dos solos predominam na bacia os Argissolos, Latossolos e Neossolos. As formações geológicas predominantes são Itararé, Pirambóia, Tatuí e Grupo São Roque. Nas proximidades do reservatório aparecem as formações Botucatu e Serra Geral. Quanto a geomorfologia, destacam-se os Morrotes Alongados e Espigões, Colinas Amplas e Colinas Médias, possuindo a bacia, na maior parte de sua extensão, um relevo pouco movimentado.

Segundo WISNIEWSKI (1998), a vegetação natural foi substituída pela monocultura de cana-de-açúcar, quase que na sua totalidade. Os fragmentos de vegetação remanescentes mais significativos encontram-se em Unidades de Conservação como: Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí-Botucatu, APA Tietê, APA Jundiaí/Cabreúva, Parque Estadual das Monções, Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) da Mata de Santa Genebra, Estação Ecológica (ESEC) Ibicatu, Floresta Nacional (FLONA) de Ipanema e outras.

Em face dos problemas relacionados à água, expostos neste capítulo, referentes à bacia hidrográfica estudada, fica evidente que estudos desta natureza trarão contribuições, tanto para o gerenciamento da mesma, quanto para o controle da qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, que atende a usos múltiplos na região.

5.0 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos adotados no desenvolvimento dessa pesquisa encontram-se resumidos no fluxograma da figura 8 e descritos de forma mais detalhada a seguir:

5.1 Obtenção e tratamento de dados

Para que se possa analisar a interferência das características fisiográficas e do uso e cobertura da terra na qualidade da água em uma bacia hidrográfica extensa e em um período de tempo considerável, são necessários dados de diversos tipos, formatos e fontes, distribuídos no tempo e no espaço. Desta forma, estes dados precisam, primeiramente, serem coligidos, organizados e tratados.

O presente trabalho foi realizado a partir de informações que podem ser classificadas didaticamente em: *dados limnológicos*, ou relativos às propriedades físicas, químicas e biológicas do reservatório estudado, obtidos em campo e na literatura; *dados orbitais de sensoriamento remoto*, no formato de imagens multiespectrais que trazem informações indiretas sobre a bacia hidrográfica e suas características de relevo, cobertura e dinâmica da paisagem; *dados cartográficos*, no formato de cartas topográficas, mapas temáticos, em diferentes escalas, sobre a distribuição dos fatores fisiográficos da bacia hidrográfica; e *dados censitários*, no formato de tabelas que permitiram avaliar a interferência do fator humano nas questões relativas ao uso da terra e sua interação com os recursos hídricos.

A organização e tratamento das diversas informações foram realizados com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica (Spring 3.6), fazendo uso também de outros programas como o Envi 3.4 RT, ArcView 3.2 da ESRI e Excel 2000. Vale ressaltar que esta fase foi a que requisitou maior trabalho e tempo, considerando o volume de informações básicas disponíveis. Estas dificuldades podem ser justificadas ainda devido à extensa área estudada e às informações históricas e multitemporais adquiridas.

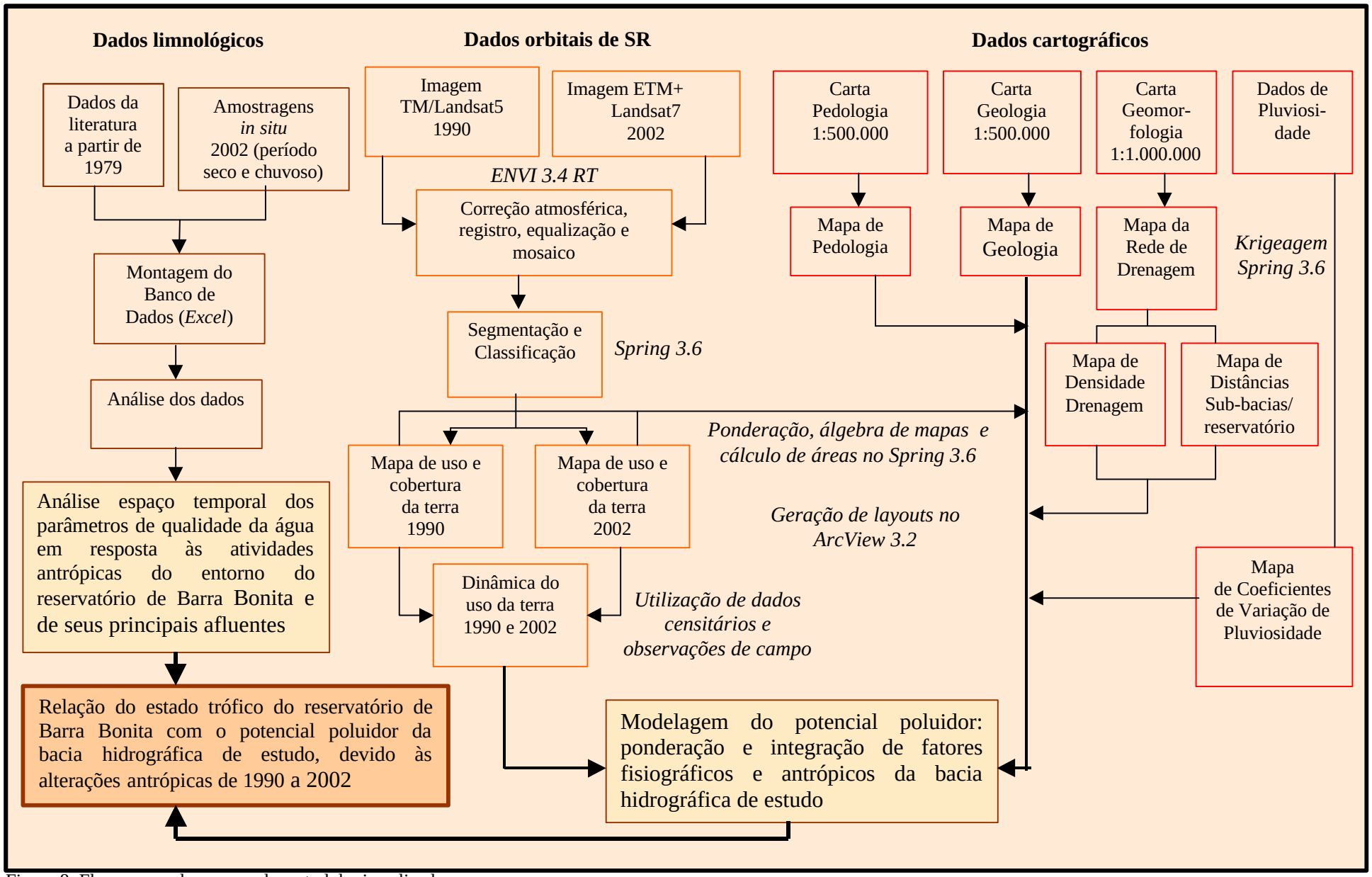


Figura 8: Fluxograma do resumo da metodologia aplicada.

5.1.1 Delimitação da bacia hidrográfica e sub-bacias para a área de estudo

Inicialmente, definiu-se para este projeto a projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*) e o Datum SAD69 (*South American Datum de 1969*). As cartas planialtimétricas utilizadas estavam em diferentes fusos, então foi utilizado o fuso 23 estendido devido à área de estudo estar inserida em sua maioria neste fuso e pela escala adotada para o trabalho ser de 1:250.000. Segundo D'ALGE (2001), em situações semelhantes, a adoção dessa metodologia de criação do banco de dados não implica em alterações na qualidade cartográfica dos dados contidos no SIG.

A base cartográfica utilizada, tanto para a delimitação da bacia hidrográfica, das sub-bacias como da rede de drenagem foi a do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala 1:250.000 (Folhas: São Paulo, Campinas, Bauru e Itapetininga). Para a delimitação das bacias e sub-bacias tomou-se como referência os divisores de água, estradas, rodovias e ferrovias. As cartas foram "escanerizadas" o que permitiu que a digitalização dos limites fosse efetuada sobre a tela do monitor com o auxílio do módulo "digitalização em tela" do aplicativo Spring 3.6.

As sub-bacias foram delimitadas tomando-se como referência todos os afluentes diretos do reservatório de Barra Bonita, assim como os afluentes diretos dos seus principais rios formadores, rios Piracicaba e Tietê, independente de sua ordem de grandeza.

Para a determinação do limite da bacia de contribuição para o reservatório de Barra Bonita, adotou-se a premissa de que os reservatórios de rios que drenam para o reservatório de Barra Bonita exercem um efeito de barreira dos poluentes que chegam de suas bacias de captação. Sendo assim, apenas as áreas a jusante daqueles reservatórios, tanto pertencentes à bacia do rio Piracicaba como à do rio Tietê, foram consideradas como contribuintes para a entrada de poluentes no reservatório em estudo.

Para a verificação das regiões que são potencialmente mais favoráveis à degradação da água do reservatório de Barra Bonita, fica mais fácil a adoção de uma unidade básica. Portanto, a unidade adotada foi a sub-bacia e a delimitação de cada uma foi realizada tomando os afluentes diretos do reservatório de Barra Bonita e dos seus contribuintes de maior grandeza, rio Tietê e rio Piracicaba.

5.1.2 Dados limnológicos

5.1.2.1 Obtenção dos dados limnológicos na literatura e montagem do Banco de Dados

Nesta fase, primeiramente, foi realizado um levantamento das publicações (teses, dissertações, periódicos, projetos, entre outros) referentes ao reservatório de Barra Bonita, a partir de 1979. Cerca de 40 publicações, aproximadamente, foram cadastradas no Banco de Dados em Excel, colocando o identificador, título, primeiro autor e local onde foi encontrada a publicação. Esse banco encontra-se disponível para consulta no formato digital (CD em anexo).

As publicações foram analisadas de tal modo que puderam ser coligidos dados limnológicos referentes a 21 destas publicações. Esses dados foram inseridos também no Banco de Dados (CD em anexo), acompanhados de todas as informações correlatas quais sejam: identificador, ano de publicação, data da amostragem, estação do ano, código do ponto de amostragem utilizado e dos parâmetros de qualidade da água utilizados pelo autor e de interesse para a presente pesquisa: profundidade de amostragem, turbidez, transparência ou profundidade do disco de Secchi, condutividade elétrica, dureza, pH, alcalinidade, temperatura, potencial redox, material em suspensão orgânico (MSO), material em suspensão inorgânico (MSI), material em suspensão total (MST), silicato reativo, oxigênio dissolvido (OD), clorofila a, nitrito (NH_2), nitrato (NH_3), amônio (NH_4), nitrogênio total (NT), fosfatos inorgânicos dissolvido (PID), fosfatos totais dissolvidos (PTD), fósforo total particulado (PT), relação nitrogênio/fósforo (N/P), zinco, ferro, manganês, cobre, cádmio, cromo, magnésio, cobalto e chumbo (CD em anexo).

Obteve-se no total uma planilha Excel com aproximadamente 40 colunas e 1.740 linhas. Devido ao grande volume de dados, foram adotados critérios para a seleção dos dados passíveis de serem utilizados no presente trabalho, quais sejam:

- Selecionaram-se apenas aquelas publicações cujos autores forneceram informações (coordenadas ou mapas) sobre a localização das estações de amostragens, sendo estes coincidentes ou próximas às 30 estações amostradas no presente trabalho, para efeito de comparação;

- Somente puderam ser utilizados os dados que estavam publicados na forma de tabelas, devido à imprecisão na extração de informações de gráficos, muitas vezes com dimensões reduzidas, e sem escala confiável;
- Somente os parâmetros comuns à maioria das publicações, e relevantes ao objetivo da presente investigação, que é verificar o processo de eutrofização do reservatório de Barra Bonita, foram selecionados para análise neste trabalho, sendo eles: transparência da água (Profundidade do Disco de Secchi), condutividade elétrica, pH, temperatura, OD, NO_2^-, NO_3^-, NH_4^+, NT, PID, PTD, PT, clorofila a, MSO, MSI, MST e silicato reativo;
- No caso dos dados obtidos ao longo da coluna d'água, para efeito de comparação, foram considerados aqueles coletados próximos do ponto 30 (Barragem) do presente trabalho, nas profundidades 1, 3, 5, 10 e 20 m, comuns entre algumas publicações e ainda coincidentes com as profundidades do Disco de Secchi e três vezes o Disco de Secchi adotadas neste trabalho;
- As unidades para cada parâmetro foram padronizadas para todas as publicações, anteriormente às análises e comparações;
- Os meses considerados como sendo da estação seca foram os de abril a setembro e da estação chuvosa os de outubro a março, conforme a distribuição das chuvas na bacia de 1990 a 2002.

Desta forma, foram analisados dados limnológicos referentes a 14 publicações, além dos dados obtidos neste trabalho. As metodologias utilizadas em cada publicação encontram-se também descritas no Banco de Dados (CD em anexo).

5.1.2.2 Aquisição de dados limnológicos in situ e análise laboratorial

Foram amostrados 30 pontos na superfície do reservatório de Barra Bonita, conforme distribuição estabelecida pelo projeto Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos (SISA) (NOVO e BRAGA, 1991 e 1995). Estes pontos foram georreferenciados, sendo que as coordenadas geográficas encontram-se na tabela 3 e a distribuição espacial dos mesmos na figura 9.

Tabela 3: Coordenadas geográficas dos pontos de amostragens de água.

Ponto	Latitude	Longitude	Ponto	Latitude	Longitude
1	s 22 39 27,99	o 48 05 21,66	16	s 22 42 02,45	o 48 12 06,18
2	s 22 38 31,28	o 48 05 53,51	17	s 22 41 44,85	o 48 12 18,64
3	s 22 37 06,77	o 48 05 47,37	18	s 22 42 15,82	o 48 14 48,91
4	s 22 37 43,12	o 48 07 18,01	19	s 22 40 21,66	o 48 15 03,45
5	s 22 37 46,45	o 48 08 46,88	20	s 22 40 03,79	o 48 16 30,23
6	s 22 37 05,91	o 48 10 52,49	21	s 22 41 01,28	o 48 17 26,70
7	s 22 37 10,51	o 48 12 24,41	22	s 22 40 10,70	o 48 19 26,41
8	s 22 35 29,21	o 48 12 46,16	23	s 22 40 02,75	o 48 20 57,14
9	s 22 36 41,91	o 48 14 17,02	24	s 22 38 12,52	o 48 21 28,99
10	s 22 35 38,26	o 48 15 50,48	25	s 22 36 25,08	o 48 21 25,02
11	s 22 35 59,17	o 48 17 14,07	26	s 22 35 43,69	o 48 22 14,68
12	s 22 37 27,65	o 48 19 50,05	27	s 22 35 22,07	o 48 26 22,26
13	s 22 36 55,76	o 48 20 43,01	28	s 22 33 21,42	o 48 29 14,52
14	s 22 42 14,76	o 48 08 58,28	29	s 22 32 48,74	o 48 26 38,36
15	s 22 41 48,06	o 48 10 23,87	30	s 22 31 52,78	o 48 31 14,98

Adotou-se como profundidades a serem amostradas neste estudo a profundidade do Disco de Secchi e 3 vezes a profundidade do Disco de Secchi, que corresponde à transição de zona eufótica para afótica (CALIJURI, 1998).

Porém, para a seleção dos pontos a serem amostrados nessas duas profundidades, foi utilizada uma metodologia de sensoriamento remoto (BRAGA, 1999). Esta metodologia consiste em delimitar o reservatório, separando-o do restante da imagem, neste caso a imagem foi do Landsat7, órbita 220, ponto 76, obtida em 27/06/2001, composição colorida B (Blue) G (Green) R (Red) das bandas 1,2 e 3. Esta imagem passou por um contraste de bandas e segmentação no Spring 3.6 (procedimento a ser descrito no item 5.1.3.3.1), adotando os limiares de similaridade e área de 30 e 60, respectivamente. Foi realizada uma classificação não-supervisionada, utilizando um limiar de aceitação de 95%. A partir do resultado foi possível visualizar diferentes massas de água oticamente distintas ao longo do reservatório (KIRK, 1993). Entende-se, pois, que estes compartimentos estejam se comportando de maneira diferente tendo em vista que as propriedades óticas da água respondem às propriedades biológicas e químicas do ambiente aquático.

Optou-se, como critério de amostragem, alocar um ponto representativo de cada compartimento para se amostrar nas profundidades do Disco de Secchi e três vezes o Disco de Secchi. Desta forma, o número de amostragens que seria a princípio 60 nas duas profundidades, ficou reduzido para 20, pois apenas 10 pontos foram selecionados.

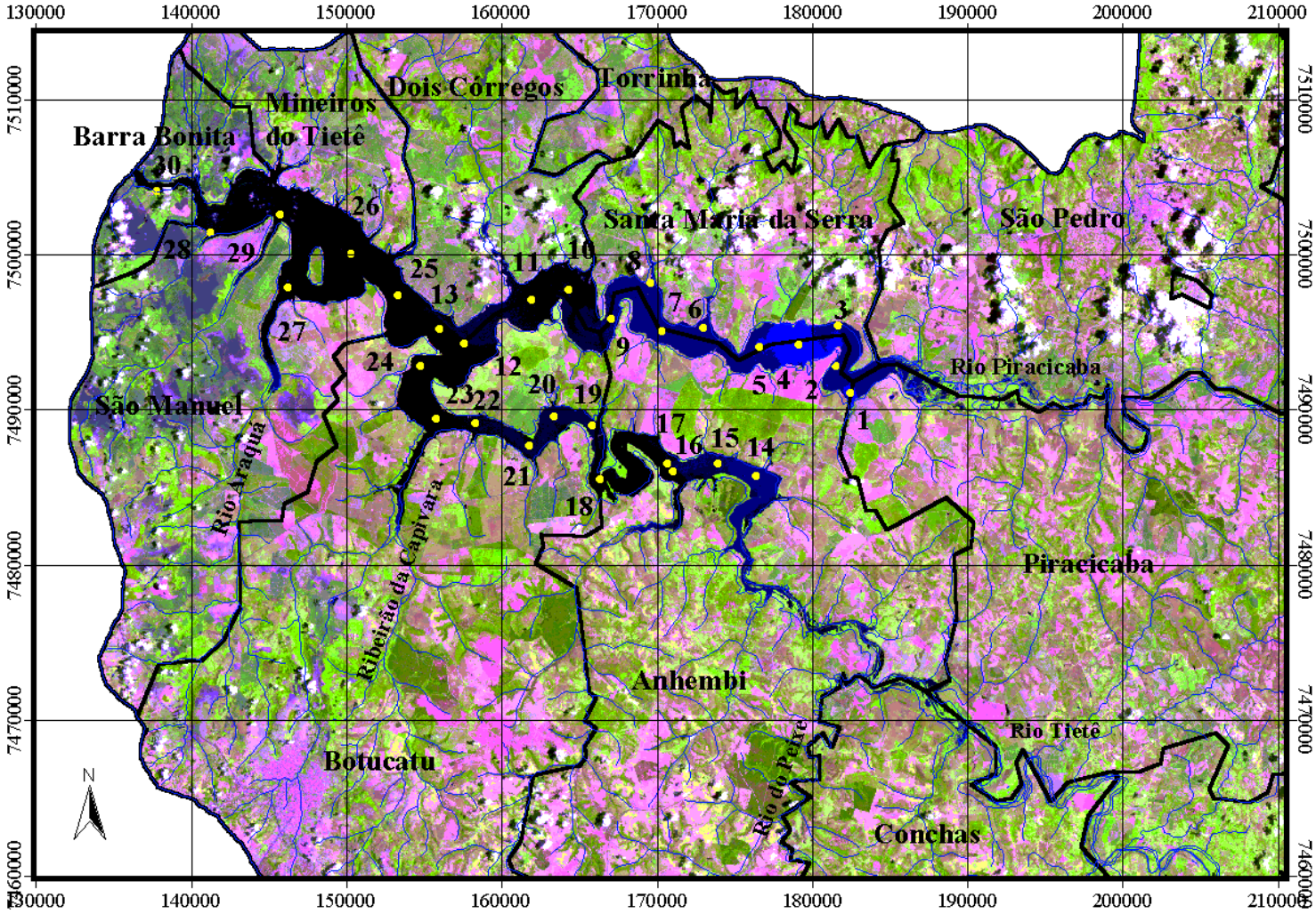


Figura 9: Localização dos pontos de amostragens de água em 1990 (Projeto SISA) e 2002 (presente estudo) no reservatório de Barra Bonita - SP. Imagem ETM+ Landsat 7, 2002.

A primeira amostragem em campo foi realizada no dia 17 de agosto de 2002 (estação seca) e a segunda em 7 de dezembro de 2002 (estação chuvosa), ambas coincidentes com a passagem do satélite Landsat7.

As amostragens foram realizadas sob condições climáticas favoráveis, utilizando três equipes de campo e, portanto, materiais em triplicata. As equipes e os equipamentos utilizados, bem como os veículos para transporte foram cedidos pelo CRHEA/EESC/USP, DEBE/Universidade Federal de São Carlos e pela Divisão de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A estratégia de se utilizar três equipes para as amostragens de água foi adotada para que fosse possível a aquisição das amostras em um mesmo dia, tendo em vista a grande dimensão do reservatório de Barra Bonita.

As amostras de água foram coletadas com auxílio de Garrafa de Van Dorn, tomando os devidos cuidados. Alguns parâmetros foram obtidos *in situ* devido à utilização de um medidor de qualidade de água Horiba U-10, como pH, temperatura da água, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido. As amostras foram transportadas refrigeradas até o laboratório conforme (CALIJURI, 1988) e no mesmo dia foram filtradas em conjunto de filtragem, utilizando filtros em fibra de vidro *Sartorius*, para a determinação de clorofila *a* total, materiais em suspensão (filtros anteriormente calcinados e pesados), nutrientes totais e nutrientes dissolvidos. Posteriormente à filtragem as amostras foram preservadas em freezer até o momento das análises, que foram efetuadas com réplicas. Este período não ultrapassou 30 dias após a coleta. A metodologia aplicada para a análise de cada parâmetro encontra-se na tabela 4 e foi aplicada rigorosamente, tomando os cuidados necessários em laboratório.

Tabela 4: Metodologias adotadas nas análises dos parâmetros limnológicos em laboratório.

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Metodologia/Equipamento	Referência
Temperatura da água	T	°C	A partir de Horiba U-10	-
pH	pH	-	A partir de Horiba U-10	-
Condutividade	Cond	mS/cm	A partir de Horiba U-10	
Oxigênio dissolvido	OD	mg/L	A partir de Horiba U-10	-
Transparência da água	DS	m	A partir de Disco de Secchi	-
Clorofila *a* total	Chl	mg/L	Método do Choque térmico	NUSCH (1980)
Material em suspensão total	MST	mg/L	Técnica gravimétrica	TUNDISI (1969), TEIXEIRA *et al.* (1978) e WETZEL e LIKENS (1991)
Material em suspensão inorgânico	MSI	mg/L	Técnica gravimétrica	WETZEL e LIKENS (1991)
Material em suspensão orgânico	MSO	mg/L	Técnica gravimétrica	WETZEL e LIKENS (1991)
N orgânico total	NT	mg/L	Método titulométrico	GOLTERMAN *et al.* (1978)
Ptotal	PT	µg/L	Método Espectrofotométrico	APHA (1995)
Amônio	NH_4^+	µg/L	Método Espectrofotométrico	KOROLEFF (1976)
Nitrato	NO_3^-	µg/L	Método Espectrofotométrico	MACKERETH *et al.* (1978)
Nitrito	NO_2^-	µg/L	Método Espectrofotométrico	GOLTERMAN *et al.* (1978)
Fosfato total dissolvido	PTD	µg/L	Método Espectrofotométrico	STRICKLAND e PARSONS (1960)
Fosfato inorgânico dissolvido	PID	µg/L	Método Espectrofotométrico	GOLTERMAN *et al.* (1978)
Silicato reativo	SiO_2	mg/L	Método Espectrofotométrico	GOLTERMAN *et al.* (1978)

5.1.2.3 Análise espaço-temporal dos dados limnológicos

Para facilitar a análise multitemporal dos dados limnológicos, os 30 pontos amostrados no presente trabalho e nos demais, foram agrupados por compartimento do reservatório de Barra Bonita: "braço" do rio Piracicaba – P (pontos de 1 a 11), "braço" do rio Tietê – T (pontos de 14 a 24), "corpo" central – C (pontos de 25 a 29) encontro dos "braços" – E (pontos 12 e 13) e barragem – B (ponto 30), conforme figura 9. Foram calculadas médias simples para os dados de cada compartimento, tanto para a estação seca como para a chuvosa, no período de 1979 a 2002, repetindo o procedimento para cada parâmetro em questão. A partir da organização destes dados foi possível traçar um perfil da situação de degradação da água no reservatório de Barra Bonita, por compartimentos, tanto na superfície como em profundidade. Dados pluviométricos e fluviométricos foram utilizados para auxiliar na discussão dos resultados limnológicos, no que se refere ao aspecto temporal.

Para melhor analisar a distribuição espacial dos dados limnológicos no reservatório de Barra Bonita, foram confrontados os dados referentes aos anos de 1990 (SISA) e 2002 (presente trabalho). Em ambas as pesquisas coletaram-se as amostras nos mesmos 30 pontos, bem distribuídos no reservatório, conforme já explicado anteriormente. E ainda, para o ano de 2002 foi realizada uma comparação entre os dados de superfície e profundidade de Secchi e três vezes Secchi, nos pontos para os quais esses dados se econtravam disponíveis nas estações seca e chuvosa (pontos 1, 7, 11, 13, 14, 17, 19, 26, 29 e 30).

Tendo em vista que a avaliação da qualidade de água deve ser sempre referida ao seu uso específico, comparou-se ao longo do período de estudo, os valores de pH, OD, PT, NO_3, NO_2 e clorofila *a* aos valores estabelecidos pela proposta de atualização da Resolução n° 20 do CONAMA (2003) que estabelece limites para alguns parâmetros de qualidade da água e para o seu enquadramento em oito classes segundo os usos preponderantes a que se destinam.

Nesse estudo, adotou-se a Classe 2 como referência para se verificar a freqüência de eventos em que os parâmetros de qualidade da água do reservatório de Barra Bonita excedem os limites estabelecidos. A Classe 2 representa um dos usos mais nobres da água, porque inclui aqueles corpos d'água cuja qualidade permite que sejam destinados (segundo proposta de atualização do CONAMA 20) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho) conforme Resolução CONAMA n° 274 de 29.11.00; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; ao cultivo (aqüicultura) de organismos aquáticos e à atividade de pesca e à dessedentação de animais.

Para estimar o nível de trofia do reservatório de Barra Bonita, utilizou-se o Índice de Estado Trófico (IET) de CARLSON (1974), modificado por TOLEDO *et al.* (1983), considerando os dados obtidos na superfície da água do reservatório em 1990 e 2002, referentes aos 30 pontos de amostragens, nas estações seca e chuvosa. Este índice considera os valores obtidos para transparência da água (S) em m, fósforo total (P) em μg/L, fosfato inorgânico (PO_4) em μg/L e clorofila (CL) em μg/L, cujas expressões são dadas, respectivamente, pelas equações:

$$IET(S) = 10 \times \{ 6 - [(0{,}64 + \ln S) / \ln 2] \} \quad (1)$$

$$IET(P) = 10 \times \{ 6 - [\ln (80{,}32 / P) / \ln 2] \} \quad (2)$$

$$IET(PO_4) = 10 \times \{ 6 - [\ln (21{,}67 / PO_4) / \ln 2] \} \quad (3)$$

$$IET(CL) = 10 \times \{ 6 - [(2{,}04 - 0{,}695 \ln CL) / \ln 2] \} \quad (4)$$

De acordo com TOLEDO *et al.* (1983), a profundidade do disco de Secchi é muito afetada pela elevada turbidez dos reservatórios na maior parte do ano. Assim, para controlar tal problema, estes autores sugerem ponderar o IET médio, de forma a dar menor peso à variável transparência da água, da seguinte forma:

$$IET(médio) = IET(S) + 2 [IET(P) + IET(PO_4) + IET(CL)] / 7 \quad (5)$$

A partir do IET médio obtido pela equação 5, o critério de classificação seria:

Oligotrófico se: $IET \leq 44$

Mesotrófico se: $44 < IET < 54$

Eutrófico se: $IET \geq 54$

Na fase de síntese e integração final do presente trabalho, os resultados obtidos do IET para os pontos de amostragens no reservatório de Barra Bonita em 1990 e 2002, na estação chuvosa, foram espacializados na forma de mapas, que foram interpretados em conjunto com os mapas de potencial poluidor do uso e cobertura da terra referente também à estação chuvosa de 1990 e 2002. Foram ainda consideradas nesta análise as informações censitárias de densidade demográfica da bacia de drenagem, contabilizando a sua contribuição para o processo de eutrofização do reservatório por meio da aplicação das equações de ARCEIVALA (1981).

Para ARCEIVALA (1981), cada habitante elimina, em média, por meio do esgoto sanitário 0,002 kg de fósforo (P) e 0,008 kg de nitrogênio (N) por dia. Para calcular a carga anual destes elementos lançada por uma determinada população, aplicam-se as equações:

Carga anual de fósforo (P):

$$P = H^{*}\alpha^{*}0{,}002/1000 \quad (6)$$

P: quantidade de fósforo em determinado ano (ton)

ano (ton)

H: número de habitantes no ano a

α : número de dias do ano = 365

Carga anual de nitrogênio (N):

$N = H*\alpha *0,008/1000$ (7)

N: quantidade de nitrogênio em determinado ano (ton)

H: número de habitantes no ano a

α : número de dias do ano = 365

5.1.3 Dados de sensoriamento remoto

5.1.3.1 Aquisição de amostras de treinamento e teste para classificação digital do uso e cobertura da terra

A partir do mosaico das imagens do Landsat7 órbita/ponto: 220/75 (04/06/2001), 220/76 (27/06/2001) e 219/76 (07/08/2001) obtido por meio de processamento digital no Spring 3.6, foi possível fazer a verificação de campo na área de estudo. Para isso foram utilizados mapas rodoviários e de uso da terra do Estado de São Paulo, um GPS, um *notebook* e uma caderneta de bordo. Durante esse trabalho de campo foram registrados e caracterizados os tipos de uso e cobertura da terra em 98 pontos amostrais distribuídos ao longo da bacia estudada, durante uma semana. Cada ponto foi descrito, fotografado e localizado sobre a imagem na tela do *notebook* para que se pudesse estabelecer a correspondência entre a imagem e a classe de uso da terra presente no local.

5.1.3.2 Pré-processamento de imagens de satélite

Para abranger toda a área de estudo foram necessárias três cenas incompletas do sensor TM do satélite Landsat5 para 1990 e três cenas incompletas do sensor ETM+ do satélite Landsat7 para 2002. As imagens foram selecionadas em função da presença de nuvens, aceitando 35% ou menos da imagem coberta por nuvem. As principais características destas imagens encontram-se descritas na tabela 5.

Tabela 5: Características das imagens de satélite utilizadas no presente trabalho.

Nº CDteca INPE	Sensor	Órbita/Ponto	Data aquisição	Estação	Hora pass.	Long central	Lat central	Âng. Solar	Linhas	Colunas	Pixels (30x30)
2442	TM	219/76	10/03/1990	chuvosa	12:25	-46,53	-23,11	45,49	6000	6631	39786000
388	TM	220/76	12/11/1990	chuvosa	12:30	-48,14	-23,11	56,17	5728	6628	37965184
2366	TM	220/75	28/01/1990	chuvosa	12:53	-47,73	-21,66	50,63	6000	6637	398221000
2623	ETM+	220/75	23/12/2002	chuvosa	12:58	-47,74	-21,66	60,62	5999	6595	39563405
2621	ETM+	219/76	29/10/2002	chuvosa	12:52	-46,53	-23,12	61,26	6000	6581	39486000
2622	ETM+	220/76	23/12/2002	chuvosa	12:58	-48,09	-23,12	60,61	5999	6590	39533410

5.1.3.2.1 Correção atmosférica

Como as imagens utilizadas no presente estudo foram de épocas diferentes, foi necessário fazer a correção atmosférica das mesmas, permitindo assim a comparação entre elas. Alguns métodos de correção atmosférica foram testados como a utilização de ferramenta do software ENVI 3.4 (*calibration utilites*) e do *software* 6S (VERMOTE *et al.*, 1997). Porém, os resultados obtidos não foram satisfatórios. Este fato pode ser atribuído à presença de nuvens nas imagens, o que altera os resultados. Sendo assim, optou-se pela utilização do método empírico (CHAVEZ, 1988 e 1996). Este método consiste em subtrair de cada banda os valores de ND mínimos. Espera-se que os valores de ND mínimos sejam maiores na banda 1, diminuindo até atingir o menor valor na banda 5. Em seguida, os valores de ND obtidos para cada banda foram transformados de 0-1 para 0-255, utilizando o ENVI 3.4.

5.1.3.2.2 Registro e equalização de imagens

Para georreferenciar (Registrar) cada imagem, aplicou-se uma transformação polinomial de primeiro grau, obtendo um erro aceitável de menos de um *pixel*, sabendo que o *pixel* possui 30x30m. Em seguida foi feita a equalização das diferentes cenas a partir do ajuste de histogramas no ENVI 3.4, tomando como referência o histograma da cena que estava mais nítida e com ausência de nuvens.

5.1.3.2.3 Mosaico de imagens

A concatenação das três cenas (Mosaico) foi feita também no ENVI 3.4, tanto para 1990 como para 2002. Posteriormente, foi feita uma máscara ainda no ENVI 3.4 para cada imagem a partir da importação do PI do Spring 3.6 contendo o contorno da área de estudo. Estas imagens já mosaicadas foram exportadas para o Spring 3.6 visto que a segmentação neste *software* tem se mostrado mais eficiente.

5.1.3.2.4 Seleção de bandas a serem utilizadas no processamento de imagens

Para cada banda deste mosaico foi feita uma análise dos valores médios de nível digital (ND) das principais classes de uso da terra e de seus desvios padrões. Como as classes foram melhor disting6uidas nas bandas 3, 4 e 5 como mostra a figura 10, apenas estas bandas foram selecionadas para serem utilizadas no processamento das imagens. Em seguida foi feita uma ampliação linear de contraste das bandas selecionadas para facilitar o processo de segmentação e classificação.

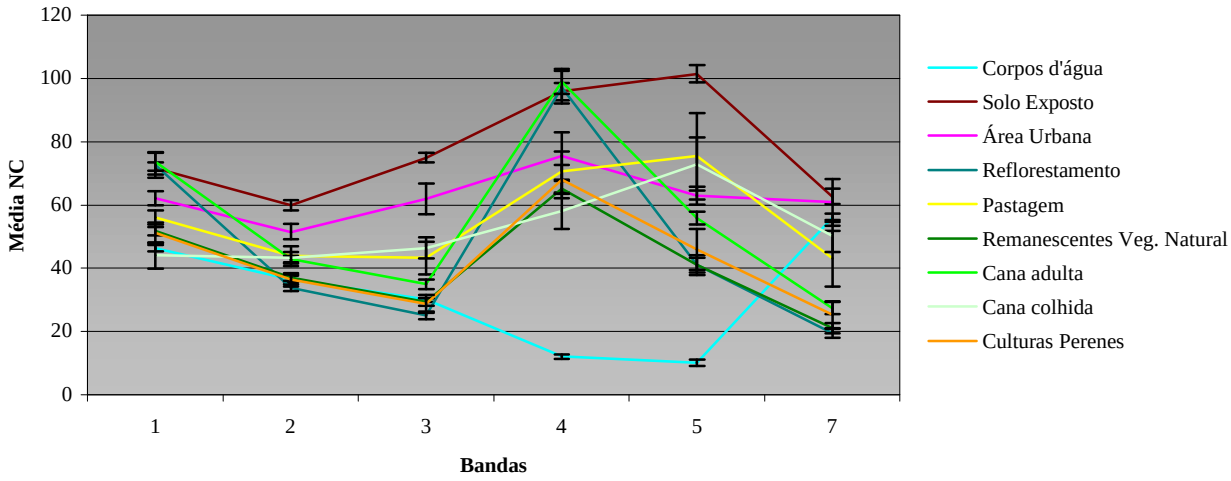


Figura 10: Valores médios de níveis digitais das classes de uso da terra com seus desvios padrões, para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

5.1.3.3 Processamento de imagens de satélites

5.1.3.3.1 Segmentação

Neste processo, anterior à fase de classificação, a imagem é dividida em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Utilizou-se o método de crescimento por regiões implementado no Spring 3.6. Inicialmente testou-se a utilização de *pixel* 30x30m, porém, como as imagens a serem processadas na segmentação eram grandes, passaram-se dias processando, não se obtendo sucesso. Desta forma, optou-se pela reamostragem para *pixels* 60x60m, levando em consideração que a escala de trabalho adotada é de 1:250.000. Foram realizados testes em áreas representativas das imagens, alterando os valores dos limiares de similaridade e de área até chegar a um resultado satisfatório. Foram utilizados os limiares de 10 e 20, respectivamente de similaridade e de área. Considerando que o tamanho do *pixel* é de 60x60m, a área da menor unidade mapeada foi de aproximadamente 7,2 ha. Uma vez obtida a segmentação, passou-se à extração de regiões. Neste procedimento o algoritmo

extrai as informações estatísticas de média e variável de cada região, considerando as bandas indicadas no arquivo de contexto.

5.1.3.3.2 Classificação

A classificação foi escolhida de acordo com sua exatidão em distinguir os alvos da área do presente estudo. No presente trabalho aplicou-se a classificação supervisionada, utilizando 30% das amostras das classes identificadas em campo para o treinamento e 70% para o teste da classificação das imagens de 1990 e 2002. O classificador utilizado foi do tipo por regiões, sendo o método denominado *Bhattacharya Distance* e o limiar de aceitação de 90%.

5.1.3.3.3 Mapeamento

Após a classificação das imagens (1990 e 2002), passou-se ao mapeamento, gerando um mapa temático com as mesmas classes de uso da terra obtidas pela classificação (11 classes). Em seguida foi feita a edição matricial a partir da imagem original acoplada, respeitando os limites da segmentação. Porém, no caso das regiões onde as classes estavam muito fragmentadas e misturadas, havendo muita confusão, optou-se pela digitalização de fragmentos maiores, associando a eles a classe predominante. Este fato ocorreu principalmente para as classes: campo/pastagem, cana-de-açúcar, culturas perenes e anuais.

Desta forma, obteve-se os mapas de uso e cobertura da terra para 1990 e 2002. Posteriormente, foi feito o cálculo de áreas das classes de uso e cobertura da terra para 1990 e 2002, utilizando ferramenta do Spring 3.6.

5.1.4 Dados cartográficos

5.1.4.1 Dados referentes àdrenagem da área de estudo

A rede de drenagem foi obtida a partir da digitalização em tela, com base nas cartas planialtimétricas do IBGE escanerizadas e georreferenciadas, como mencionado anteriormente. As classes do mapa temático de drenagem obtidas foram: Reservatório de Barra Bonita, Rio Piracicaba, Rio Tietê, demais rios, lagos e lagoas e ilhas.

A partir desse mapa foi possível obter o mapa de distribuição de densidade de drenagem das sub-bacias da área de estudo, assim como o mapa de distância das sub-bacias ao reservatório de Barra Bonita. A densidade de drenagem é um fator importante a ser considerado neste estudo, visto que quanto maior for a mesma em uma determinada sub-bacia, maior será o contato entre o meio terrestre e aquático, facilitando o aporte de nutrientes e sedimentos até os rios, sendo transportados e

depositados na parte mais baixa da bacia que no caso é o Reservatório de Barra Bonita. Entretanto, deve-se salientar que as medidas de densidade de drenagem não são absolutas, uma vez que a cartografia de referência encontra-se na escala 1:250 000, devido à abrangência do presente estudo ser regional.

5.1.4.1.1 Obtenção do mapa de densidade de drenagem para as sub-bacias da área de estudo.

A densidade de drenagem para cada sub-bacia foi calculada pela seguinte equação:

$$DD = \sum R / A$$

DD:Densidade de drenagem

$\sum R$: Soma dos comprimentos dos rios (cursos d'água) - m

A: Área da bacia (m^2)

Os comprimentos dos rios (m) e a área (m^2) para cada sub-bacia foram obtidos pelo módulo operações métricas do Spring 3.6 e a soma dos comprimentos e o cálculo da densidade de drenagem para cada sub-bacia foram efetuados no Excel 2000. Os resultados obtidos no Excel 2000, no formato de tabela, foram exportados para o Spring 3.6. A partir do mapa temático contendo as 182 sub-bacias (obtido anteriormente) e utilizando o Modelo Cadastral do Spring 3.6, os valores da densidade de drenagem que se encontravam relacionados na tabela obtida pelo Excel foram associados às sub-bacias da área de estudo, por meio de um procedimento denominado espacialização.

Para a espacialização, primeiramente é preciso criar uma categoria associada ao modelo MNT e depois utilizar o programa LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico), implementado no Spring 3.6, gerando um mapa numérico, que vai conter neste caso, um valor referente à densidade de drenagem, para cada sub-bacia.

5.1.4.1.2 Obtenção do mapa de distâncias das sub-bacias ao reservatório de Barra Bonita

Este fator também é de extrema relevância para o estudo proposto, visto que a proximidade das fontes de poluição com o reservatório de Barra Bonita vai interferir bastante na possibilidade dos poluentes atingí-lo.

Inicialmente, gerou-se um mapa numérico de distâncias, tomando o polígono do reservatório como referência, utilizando o módulo Mapa de Distâncias do Spring 3.6. Seqüencialmente, foi editado um novo programa LEGAL, cuja operação consistiu em calcular a média das distâncias dentro de cada sub-bacia, chamada Média Zonal e atualizar a coluna da tabela do Modelo Cadastral referente à distância, espacializando os valores obtidos para cada sub-bacia. Deve-se ressaltar que a distância foi calculada em linha reta, a partir do centróide de cada sub-bacia, tomando-se como polígono de referência o reservatório de Barra Bonita.

5.1.4.2 Dados referentes àpedologia da área de estudo

O tema pedologia foi selecionado para ser inserido neste estudo, visto que as características dos solos de uma bacia hidrográfica irão influenciar infiltração, percolação, adsorção e escoamento superficial da água que transporta os poluentes até os corpos d'água, bem como os processos erosivos, dentre outros.

A escala média escolhida para este estudo foi de 1:250.000. No entanto, o levantamento de dados disponíveis sobre a área de estudo demonstrou que alguns dados nesta escala estão restritos a regiões específicas. Desta forma, optou-se pelo uso do mapa pedológico do Estado de São Paulo de 1999, na escala 1:500.000, elaborado pelo IAC. Este mapa apresenta a vantagem da base cartográfica de referência utilizada na sua elaboração ter sido a do IBGE, na escala 1:250.000, com atualização por meio de imagens TM/Landsat5 de 1997 e 1998. Outra vantagem é que a classificação pedológica utilizada foi a mais atual, sem precisar fazer atualizações (OLIVEIRA, 1999). O mapa pedológico do Estado de São Paulo foi obtido no IAC, já no formato digital. Estes dados foram, inicialmente, georreferenciados a partir das cartas do IBGE 1:250.000 e, posteriormente, importados para o ambiente Spring 3.6, onde se aplicou uma máscara mantendo apenas os dados referentes à bacia de estudo. Em seguida, passou-se à poligonalização e associação das classes de solos para gerar o mapa temático pedológico para a área em questão.

5.1.4.3 Dados referentes àgeologia da área de estudo

A geologia também foi considerada como um fator relevante neste estudo, visto que dependendo da composição das rochas, vai haver a liberação de diferentes elementos que poderão atingir os corpos d'água, assim como a geologia de uma região está extremamente relacionada com a formação dos solos que encontram-se diretamente em contato com a água, além de possibilitar ou não maior penetração da água dependendo de sua litologia, levando poluentes que podem contaminar os lençóis freáticos.

Para este tema e para a bacia estudada apenas encontravam-se disponíveis mapas em escala menor que 1:250.000. Sendo assim, optou-se pela utilização do Mapa Geológico do Estado de São Paulo, na escala 1:500.000, de 1981. Este foi adquirido, já "escanerizado", no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo (BISTRICHI *et al.*, 1981).

Este mapa foi georreferenciado por meio do Registro do Spring 3.6, a partir das cartas do IBGE 1:250.000, delimitando a bacia estudada. A seguir foi realizada a digitalização em tela atribuindo classes aos polígonos conforme o mapa de referência.

5.1.4.4 Dados referentes à geomorfologia da área de estudo

Quanto à geomorfologia, pode-se dizer que é um fator natural cujas características como declividade do terreno, inclinação e geometria de vertentes, entre outras, exercem grande influência no escoamento superficial, e, portanto, no transporte de poluentes até os corpos hídricos.

Também para este tema os mapas existentes que abrangem a bacia estudada estão em escalas pequenas. Desta maneira, optou-se pela utilização do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, na escala 1:1.000.000 (PONÇANO *et al.*, 1981). Este foi adquirido, também "escanerizado", no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo.

Este mapa foi georreferenciado por meio do Registro do Spring 3.6, a partir das cartas do IBGE 1:250.000, delimitando a bacia estudada. A seguir foi realizada a digitalização em tela atribuindo classes aos polígonos conforme o mapa de referência.

5.1.4.5 Dados referentes à divisão municipal da área de estudo

A divisão municipal foi obtida no IBGE na escala 1:500.000 de 1994, no formato vetorial. Estes dados foram importados para o Spring 3.6, delimitando a bacia estudada. A bacia possui no total 90 municípios com suas áreas totais ou parciais. Esta malha municipal foi superposta aos mapas de uso e cobertura da terra de 1990 e 2002 e também foi importante para se verificar a área dos municípios pertencentes à bacia estudada, visto que esta foi calculada pelo Spring 3.6.

5.1.5 Dados pluviométricos e fluviométricos

5.1.5.1 Obtenção, organização e análise dos dados pluviométricos

Dados pluviométricos da área de estudo são importantes, pois a intensidade de chuva vai ser um fator determinante nos processos de escoamento superficial e erosão hídrica e, por conseguinte, no aporte de nutrientes e sedimentos que atingem o reservatório.

Primeiramente, foi realizado um levantamento dos postos de monitoramento de dados pluviométricos do Departamento de Água e Esgoto (DAEE) do Estado de São Paulo para a área estudada, consultando via internet o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH). A princípio estavam disponíveis neste sistema as médias mensais de 1990 até o ano de 2000. Os dados pluviométricos adquiridos neste período, referentes a 75 postos de monitoramento foram organizados no Excel na forma de tabelas. Alguns postos de monitoramento foram desativados no decorrer dos anos e outros não foram monitorados em determinadas datas.

A fim de verificar o comportamento do regime de chuvas ao longo dos anos, foi calculada a média das médias mensais de todos os postos de monitoramento, de 1990 a 2002, que subsidiou também as análises limnológicas.

5.1.5.2 Cálculo do coeficiente de variação de pluviosidade (CVP) de 1990

Os dados pluviométricos dos postos de monitoramento do DAEE são dados pontuais. Porém, foi necessário para este estudo a obtenção de valores contínuos em toda a superfície da área de estudo, gerando um mapa temático com áreas pertencentes a diferentes classes. Desta forma, tornou-se necessário uma interpolação dos dados a partir de suas coordenadas geográficas.

Para tal foi necessária a seleção de apenas um ano representativo da série histórica, cujos dados foram espacializados com o intuito de serem superpostos aos outros temas para a obtenção do potencial das sub-bacias quanto às fontes de poluição que chegam ao reservatório de Barra Bonita. O ano de 1990 foi selecionado pelo fato deste ano apresentar um regime de chuvas similar aos outros anos do período analisado e por possuir um número maior de postos sendo monitorados, o que permite a obtenção de um modelo mais refinado, proporcionando uma boa interpolação dos dados.

Tendo em vista que a importância da precipitação como função de força explicativa das entradas não pontuais de poluição está muito associada à intensidade da precipitação e ao seu ritmo ao longo do ano, considerou-se que o uso do coeficiente de variação da pluviosidade anual representaria um indicador adequado dessa variabilidade. Desta forma, uma bacia mais sujeita a pulsos pouco freqüentes e de alta intensidade (portanto com alto coeficiente de variação nas precipitações anuais) teria um papel mais relevante na entrada de nutrientes no reservatório do que bacias cuja constância de precipitação ao longo do tempo teria um papel de amortecimento do pulso poluente via redução de sua concentração proporcionalmente ao tempo de duração do evento.

Calcularam-se as médias mensais do ano de 1990 para os 75 postos de monitoramento e o desvio padrão das precipitações mensais deste ano. Apartir desses dados foi possível calcular o coeficiente de variação de pluviosidade anual para cada posto de monitoramento. O efeito da variação ou dispersão em relação à média pode ser medido pela dispersão relativa, definida por: Dispersão Relativa = Dispersão Absoluta/Média. No entanto, se a dispersão absoluta for o desvio padrão, a dispersão relativa é denominada coeficiente de variação, que neste caso é dado por CVP = Desvio padrão das precipitações mensais/média anual de cada posto.

Embora existam índices descritores do papel erosivo das chuvas, optou-se pela utilização deste coeficiente, visto que é um indicador da concentração das chuvas em um período do ano. Teoricamente, nos locais em que a precipitação é uniformemente distribuída ao longo do ano, os coeficientes de variação da precipitação serão baixos, e portanto, a intensidade das chuvas será constante. Locais com baixas precipitações no período seco, concentradas em poucos dias do mês resultarão em médias mensais de precipitação baixas, e, no computo anual, um elevado coeficiente de variação da precipitação, indicando intensidade das chuvas elevada e concentrada, o que favorece o escoamento superficial torrencial e o carreamento de poluentes das vertentes para os

corpos d'água. A intensidade das chuvas é um fator que contribui para os processos erosivos e para o transporte de sedimentos e nutrientes até os corpos d'água mais do que a própria precipitação total anual, porque favorece o escoamento e não a infiltração da água no solo (CHRISTOFOLETTI, 1980; GUERRA *et al*. 1999).

5.1.5.3 Interpolação dos dados pluviométricos

A partir das coordenadas geográficas e do coeficiente de variação de pluviosidade de cada posto de monitoramento, foi possível importar estes dados pontuais para o Spring 3.6 como amostras, isto é, atribuindo-os um valor que no caso refere-se ao coeficiente de variação de pluviosidade.

Existem vários interpoladores implementados nos Sistemas de Informação Geográfica, mas raramente essa interpolação é acompanhada de informações sobre a qualidade do dado gerado. Esta deficiência pode ser suprida aplicando técnicas de análise espacial e neste caso foi utilizada a krigeagem, implementada no Spring 3.6.

A análise exploratória dos dados é a etapa precursora do processo e tem por objetivo averiguar as propriedades estatísticas e matemáticas dos mesmos, para analisar se há necessidade de algum tipo de transformação nos dados. Uma vez que estes indicaram não haver qualquer comportamento excessivamente fora do normal, passou-se à análise da variabilidade espacial dos dados por semivariograma, modelagem e ajuste do mesmo, validação do modelo de ajuste e a krigeagem em si, que neste caso foi a do tipo linear ordinária (CAMARGO e FUKS, 2001).

A partir do mapa numérico obtido pela krigeagem e do mapa temático das sub-bacias, aplicou-se novamente a Média Zonal, utilizando o LEGAL no Spring 3.6, cujo resultado foi um mapa temático contendo, para cada sub-bacia, um valor médio de coeficiente de variação de pluviosidade.

5.1.5.4 Tratamento dos dados fluviométricos

Dados fluviométricos do reservatório são importantes visto que a alteração das vazões vai interferir na diluição de poluentes presentes neste corpo hídrico, alterando a qualidade da água ao longo do tempo. A partir dos dados mensais de vazão natural do reservatório de Barra Bonita, de 1990 a 2002, obtidos via internet (ONS, 2004), foram calculadas a média (M), desvio padrão (SD), média mais desvio padrão (M+SD) e média menos desvio padrão (M-SD) para as estações secas e chuvosas de cada ano, cujos resultados foram utilizados na interpretação dos dados limnológicos.

5.1.6 Dados censitários (populacionais e agrícolas)

Dados populacionais foram obtidos via internet (SEADE, 2004), para os municípios com mais de 70% de sua área pertencente à bacia estudada, que no total foram 55 municípios, tanto para 1990 como para 2002, contemplando a área urbana e rural. Com estes dados foi possível verificar o crescimento demográfico neste período.

Utilizando o banco de dados SIDRA do IBGE, disponível na internet, foi possível obter tabelas contendo os dados de Produtividade Agrícola Municipal (PAM), de área plantada (em hectares), para o total de culturas permanentes e temporárias, de 1990 a 2002, referentes aos municípios selecionados anteriormente, que compõem a maior parte da bacia estudada. Estes dados foram utilizados para mostrar a dinâmica do uso da terra nos municípios que possuem mais de 70% de sua área na bacia de estudo, por meio do cálculo de áreas para estas culturas ao longo do período estudado (1990-2002). Os mesmos foram também úteis para confirmar as tendências observadas nos mapas de uso e cobertura da terra, mapas estes obtidos por meio de imagens de satélite.

5.1.7 Dinâmica do uso e cobertura da terra

Para efeito de comparação das áreas das classes de uso e cobertura da terra de 1990 e 2002, foi necessário gerar uma máscara para a classe nuvem e sombra, inserindo-a em ambos os mapas (1990 e 2002), para que a área desta classe ficasse com o mesmo valor para as duas épocas consideradas.

No intuito de facilitar a localização das classes nos mapas finais de uso e cobertura da terra para 1990 e 2002, inseriu-se em ambos a divisão municipal do IBGE com os nomes dos municípios, possibilitando também uma comparação visual da dinâmica do processo.

As informações obtidas no trabalho de verificação terrestre e nas amostragens de campo também foram utilizadas nesta fase, como argumentação no que se refere às fontes de poluição da água nas imediações do reservatório de Barra Bonita.

5.1.8 Ponderação e álgebra de mapas

Uma vez obtidos os mapas temáticos referentes às características fisiográficas e de uso e cobertura da terra, as classes dos mesmos foram ponderadas, assim como cada mapa temático, anteriormente à fase de superposição destes.

Existem várias técnicas de análise multicritério automatizadas e implementadas nos Sistemas de Informação Geográfica. No entanto, optou-se neste trabalho, por utilizar os métodos: Média simples, Média Ponderada e Soma Ponderada, fazendo uso da ferramenta LEGAL do Spring 3.6 para integração dos mapas temáticos. Nestes métodos, os temas e suas respectivas classes são ponderados de acordo com a importância relativa para a hipótese considerada, que no presente estudo é de que os temas contribuem de forma diferenciada para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita, provocando a degradação de sua água.

Para se atribuir os pesos aos temas e classes contou-se com a experiência profissional de técnicos especialistas nos diferentes temas, bem como o conhecimento prévio da área de estudo.

Desta forma, as classes obtidas para cada mapa temático foram organizadas em cinco níveis de contribuição quanto ao potencial poluidor que afeta o reservatório de Barra Bonita (1-Muito baixo, 2-Baixo, 3-Médio, 4-Alto e 5-Muito alto). Para tal, alguns critérios foram adotados, baseando na relação das características de cada tema com o escoamento superficial e, portanto, com o transporte de poluentes ao reservatório, como se segue.

No caso do *uso e cobertura da terra*, foi adotado o pressuposto de que quanto mais tempo o solo permanecer exposto, maior o seu potencial para processos erosivos e, portanto, para o transporte de poluentes aos cursos d'água. Por outro lado, quanto maior a densidade da cobertura vegetal, menor o potencial erosivo. Modelos empíricos predictivos têm sido desenvolvidos considerando fatores relacionados às perdas de solo como características do solo, declividade, cobertura vegetal, entre outros aspectos (RANIERI, 1996; DONZELI *et al.*, 1994; PINTO, 1996).

A análise da *drenagem* da área de estudo foi realizada a partir de duas variáveis: densidade de drenagem para cada sub-bacia e distância das sub-bacias ao reservatório. Inicialmente foi gerado um mapa numérico para cada uma destas variáveis, utilizando o LEGAL. Na seqüência, foi aplicado o módulo "fatiamento" do Spring 3.6, o qual consiste em dividir os valores numéricos do MNT em "fatias" ou "classes", recebendo neste caso valores de 1 a 5. No caso da densidade de drenagem e distância das sub-

bacias ao reservatório, dividiu-se o intervalo de valores obtidos em cinco subintervalos sendo estes apresentados juntamente aos resultados.

Quanto à *pluviosidade*, a partir do mapa numérico contendo as Médias Zonais dos coeficientes de variação de pluviosidade para cada sub-bacia, foram aplicados os mesmos critérios da densidade de drenagem e distância ao reservatório.

Para se ponderar as classes de *pedologia*, fundamentou-se numa avaliação qualitativa e na caracterização geral dos solos da bacia em estudo, no 1º nível categórico (Ordem), visto que a escala adotada para este estudo foi de 1:250.000. A única classe que foi subdividida para a ponderação foi a do Neossolo em Flúvico/Quartzarênico e Litólico. Isto ocorreu por se tratar de manchas de um mesmo tipo de solo, porém, com características diferenciadas, por serem solos localizados em regiões distintas. Contudo, cabe ressaltar que as classes de solos utilizadas podem estar abrigando um grande número de subordens díspares e, desta forma, um grande número de unidades pedológicas com variabilidade de atributos e propriedades podem ter sido congregadas neste estudo.

Conhecendo a capacidade de infiltração e adsorção diferenciada dos tipos de solos, foram considerados no processo de ponderação, três aspectos fenomenológicos principais: erosão hídrica pluvial, drenagem superficial e interna do perfil, assim como a natureza do complexo de adsorção da matriz do solo. Estes aspectos vão contribuir para o transporte de poluentes até o exutório da bacia, que neste caso é o reservatório de Barra Bonita, seja pelo escoamento superficial ou subsuperficial.

Várias propriedades pedológicas exercem influência nos fenômenos relacionados anteriormente, que por sua vez são dependentes da constituição física, química e biológica expressas na morfologia do perfil (EMBRAPA, 1999 e OLIVEIRA, 1992). Desta forma, a susceptibilidade à erosão hídrica pluvial e a drenagem superficial e interna de cada solo dependem das propriedades físico-hídricas de cada perfil destacando: a capacidade de infiltração, a permeabilidade, a percolação lateral e profunda, a lixiviação, o grau de agregação das partículas e a profundidade do perfil que se correlacionam com uma série de atributos analíticos e morfológicos como: a seqüência e tipos de horizontes, a presença de camadas adensadas e/ou com impedimentos físicos, a classe textural, a variação textural ao longo do perfil; a estrutura, o conteúdo de matéria orgânica, a macro e microporosidade, a rochosidade e a pedregosidade (EMBRAPA, 1999 e OLIVEIRA, 1992).

Para se estabelecer os níveis de contribuição das *unidades geológicas* no processo de escoamento superficial e transporte de material orgânico e inorgânico até o reservatório de Barra Bonita, considerou-se características como constituição mineralógica e granulometria da rocha que vão influenciar na sua capacidade de infiltração e escoamento superficial.

Desta forma, considerou-se os argilitos como sendo os menos permeáveis e que, portanto, são os que mais favorecem o escoamento superficial (Muito alto); os siltitos como sendo os que contribuem um pouco menos para o escoamento superficial, possuindo infiltração razoável (Alto) e os arenitos os mais permeáveis, impedindo um aumento no escoamento superficial. Os arenitos puderam ser ordenados em três grupos de acordo com suas características (Médio, Baixo e Muito baixo), influenciando diferenciadamente na infiltração e escoamento superficial.

A susceptibilidade da rocha ao intemperismo, que por sua vez, influencia nos processos erosivos e transporte de sedimentos, também foi considerada. Quanto maior o intemperismo, maior é a quantidade de sedimentos que se depositam nos rios e reservatórios, causando o seu assoreamento, assim como a quantidade de nutrientes que são levados juntamente com os sedimentos aumentando a turbidez da água e a eutrofização dos corpos hídricos. A presença de carbonatos nas rochas pode influenciar também na qualidade da água, aumentando a sua dureza. Nas unidades que são ricas em óleos naturais ou carvão, estes podem funcionar como “selantes”, como é o caso da Formação Irati, diminuindo o processo de infiltração da água e, portanto, intensificando o escoamento superficial (BISTRICHI *et al.*, 1981). No entanto, percebe-se que os processos erosivos se originam e se intensificam devido a uma integração de fatores que não somente geológicos, mas pedológicos, geomorfológicos e, principalmente, antrópicos.

Quanto à *geologia* da área de estudo, pode-se dizer que as unidades pertencentes ao período Pré-Cambriano, são predominantemente formadas por rochas cristalinas e foram reunidas em um mesmo nível de contribuição, igual ao da Formação Serra Geral (Muito Baixo). As rochas mais duras dificultam a infiltração e, portanto, contribuem para um maior escoamento superficial. E ainda, no caso da Unidade Serra Geral, apesar da rocha ser dura, ela passa por intenso intemperismo devido às altas temperaturas, contribuindo para um maior transporte de nutrientes e sedimentos até os corpos d’água que irão aumentar a turbidez da água.

O agrupamento das unidades do Pré-Cambriano se justifica pela escala utilizada no presente estudo e pela grande diversidade de elementos que compõe cada unidade que não permite diferenciá-las. Para tal, seria necessário considerar a densidade de fratura e litologia das mesmas em uma escala melhor, bem como a declividade do terreno, a espessura dos solos e a densidade de drenagem da área. Algumas destas características estão sendo contempladas em outros temas como na pedologia, densidade de drenagem e geologia e outras não fazem parte do escopo do trabalho.

Ao se ponderar as classes geomorfológicas quanto à contribuição para a erosão laminar e, por conseguinte, para o transporte de poluentes por meio do escoamento superficial até o reservatório em questão, algumas variáveis foram consideradas, a saber: amplitude do relevo, geometria das vertentes e topos, grau de dissecação do relevo e declividade. Quanto mais movimentado for o relevo, maior será o seu potencial de contribuição para os processos erosivos e transporte de poluentes aos corpos hídricos.

No caso dos temas uso e cobertura da terra, pedologia, geologia e geomorfologia foi necessário utilizar o LEGAL do Spring 3.6 para atribuir valores numéricos às classes. Esta atribuição foi feita pelo módulo “Pondere” do LEGAL que tem como resultado um mapa numérico. Posteriormente, a partir da aplicação do módulo “Média Zonal” foi atribuído um único valor a cada sub-bacia, em cada tema. Na seqüência foi feito o “fatiamento”, atribuindo às sub-bacias os pesos de 1 a 5, levando em conta o nível de contribuição de cada classe pertencente a cada tema para o transporte de poluentes até o reservatório de Barra Bonita.

De posse de todos os mapas temáticos, com as sub-bacias já ponderadas, foi efetuada a álgebra de mapas propriamente dita, sendo desta vez ponderados também os temas, aplicando diferentes equações e obtendo diferentes cenários. Para a aplicação da álgebra de mapas alguns cuidados devem ser tomados, um deles é que todos os mapas temáticos devem possuir uma unidade de mapeamento comum, que neste caso foi a sub-bacia. Do contrário, gera-se muita inconsistência (polígonos muito pequenos) que dificultam a apresentação dos resultados na forma de mapas, assim como interferem no cálculo de áreas.

O Cenário 1 foi gerado partindo da premissa que todos os fatores que controlam o aporte de poluentes para o Reservatório de Barra Bonita têm a mesma contribuição quanto ao processo de transporte de poluentes ao reservatório em questão. Para simular

essa hipótese foi utilizada a média simples expressa pela equação C1, tal que o Cenário resultante é dado por:

$$C1 = ((T1+T2+T3+T4+T5+T6+T7)/7)$$

C1: Cenário 1
T1: mapa temático 1 (Densidade de drenagem)
T2: mapa temático 2 (Distância das sub-bacias ao reservatório)
T3: mapa temático 3 (Coeficiente de variação de pluviosidade)
T4: mapa temático 4 (Pedologia)
T5: mapa temático 5 (Geologia)
T6: mapa temático 6 (Geomorfologia)
T7: mapa temático 7 (Uso e cobertura da terra)

O Cenário 2 foi gerado partindo da premissa que o tema densidade de drenagem, tem pequena contribuição para o transporte de poluentes até o reservatório de Barra Bonita, por ser um tema bastante dependente dos outros. Desta forma o mesmo tema recebeu peso 1. Já os temas coeficientes de variação de pluviosidade, geologia, pedologia e geomorfologia receberam peso 2 (valor intermediário) e os temas distância ao reservatório e uso e cobertura da terra receberam peso 3, considerando a situação real, em que estes temas realmente possuem uma interferência maior no nível de contribuição das sub-bacias. Para simular essa hipótese foi aplicada a média ponderada expressa pela equação C2, tal que o Cenário resultante é dado por:

$$C2= ((T1*P1)+(T2*P3)+(T3*P2)+(T4*P2)+(T5*P2)+(T6*P2)+(T7*P3))/15$$

C2: Cenário 2
T1: mapa temático 1 (Densidade de drenagem)
T2: mapa temático 2 (Distância das sub-bacias ao reservatório)
T3: mapa temático 3 (Coeficiente de variação de pluviosidade)
T4: mapa temático 4 (Pedologia)
T5: mapa temático 5 (Geologia)
T6: mapa temático 6 (Geomorfologia)
T7: mapa temático 7 (Uso e cobertura da terra)
P:pesos

Os Cenários 3, 4, 5 e 6 foram gerados partindo da premissa que o uso e cobertura da terra exerça maior influência no aporte de poluentes que atingem o reservatório de Barra Bonita. Pois, acredita-se que a interferência antrópica esteja sendo o fator que mais tem contribuído para o processo de degradação da qualidade da água nas últimas décadas. Para simular essa hipótese procurou-se atribuir pesos cada vez maiores ao tema uso e cobertura da terra aplicando a soma ponderada expressa pelas equações C3, C4, C5 e C6, tal que os Cenários resultantes são dados por:

C3= ((T1*P1)+(T2*P3)+(T3*P2)+(T4*P2)+(T5*P2)+(T6*P2)+(T7*P3))
C4= ((T1*P1)+(T2*P3)+(T3*P2)+(T4*P2)+(T5*P2)+(T6*P2)+(T7*P4))
C5=((T1*P1)+(T2*P3)+(T3*P2)+(T4*P2)+(T5*P2)+(T6*P2)+(T7*P5))
C6=((T1*P1)+(T2*P3)+(T3*P2)+(T4*P2)+(T5*P2)+(T6*P2)+(T7*P7))

C3: Cenário 3
C4: Cenário 4
C5: Cenário 5
C6: Cenário 6
T1: mapa temático 1 (Densidade de drenagem)
T2: mapa temático 2 (Distância das sub-bacias ao reservatório)
T3: mapa temático 3 (Coeficiente de variação de pluviosidade)
T4: mapa temático 4 (Pedologia)
T5: mapa temático 5 (Geologia)
T6: mapa temático 6 (Geomorfologia)
T7: mapa temático 7 (Uso e cobertura da terra)
P:pesos

Para todos os cenários, após a integração dos temas, foi feito um “fatiamento”. Os intervalo de classes foram variáveis, considerando sempre o primeiro intervalo de 0 ao menor valor obtido pela equação, sendo o restante dividido em 5 intervalos iguais, cujas classes atribuídas foram: Muito baixo; Baixo, Médio, Alto e Muito alto potencial poluidor do reservatório de Barra Bonita. A álgebra dos mapas foi realizada por meio do LEGAL, implementado no Spring 3.6.

Os principais mapas obtidos neste trabalho foram exportados para o *software* ArcView 3.2 da ESRI, para a geração dos *layouts* finais, visto que este *software* possui muitos recursos, proporcionando a obtenção de mapas com melhor acabamento.

6.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão do processamento e análise dos dados provindos de diversas fontes serão apresentados inseridos em cinco temas principais, abordados pelo presente trabalho, sendo eles:

1) Condicionadores fisiográficos da bacia hidrográfica de estudo;
2) Uso e cobertura: mudanças no espaço e no tempo na bacia hidrográfica de estudo;
3) Modelagem do potencial poluidor: ponderação e integração de fatores fisiográficos e antrópicos da bacia hidrográfica de estudo;
4) Análise espaço temporal dos parâmetros de qualidade da água em resposta às atividades antrópicas do entorno do reservatório de Barra Bonita e de seus principais afluentes, e,
5) Relação do estado trófico do reservatório de Barra Bonita com o potencial poluidor da bacia hidrográfica de estudo, devido às alterações antrópicas de 1990 a 2002.

6.1 Condicionadores fisiográficos da bacia hidrográfica de estudo

As características naturais de uma bacia hidrográfica estão diretamente relacionadas ao ciclo hidrológico em todas as suas fases, entre as quais, o escoamento superficial, que é responsável pela interação terra-água. Portanto, para melhor compreender a sua interferência no transporte e deposição de poluentes e sedimentos na água é preciso conhecer a variabilidade espacial de tais características ao longo da bacia. Dentre as características relevantes foram selecionadas, para análise nesse estudo, aquelas referentes à drenagem, pedologia, geologia, geomorfologia, pluviosidade e fluviometria.

6.1.1 Mapa da bacia e sub-bacias de estudo

O mapa da bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita contendo também as suas sub-bacias, obtido a partir da digitalização da base cartográfica do IBGE 1:250.000, serviu de subsídio para a obtenção dos mapas ponderados dos diversos temas. Este mapa pode ser observado na figura 11.

A bacia possui uma área aproximada de 19.000 km^2 e, de acordo com a delimitação feita neste estudo, é composta por 182 sub-bacias de diversas ordens de magnitude. Isto ocorre porque foram adotados como referência para a delimitação das sub-bacias, os afluentes diretos do reservatório de Barra Bonita bem como os afluentes de seus principais rios formadores Tietê e Piracicaba, independente da ordem de grandeza destes afluentes.

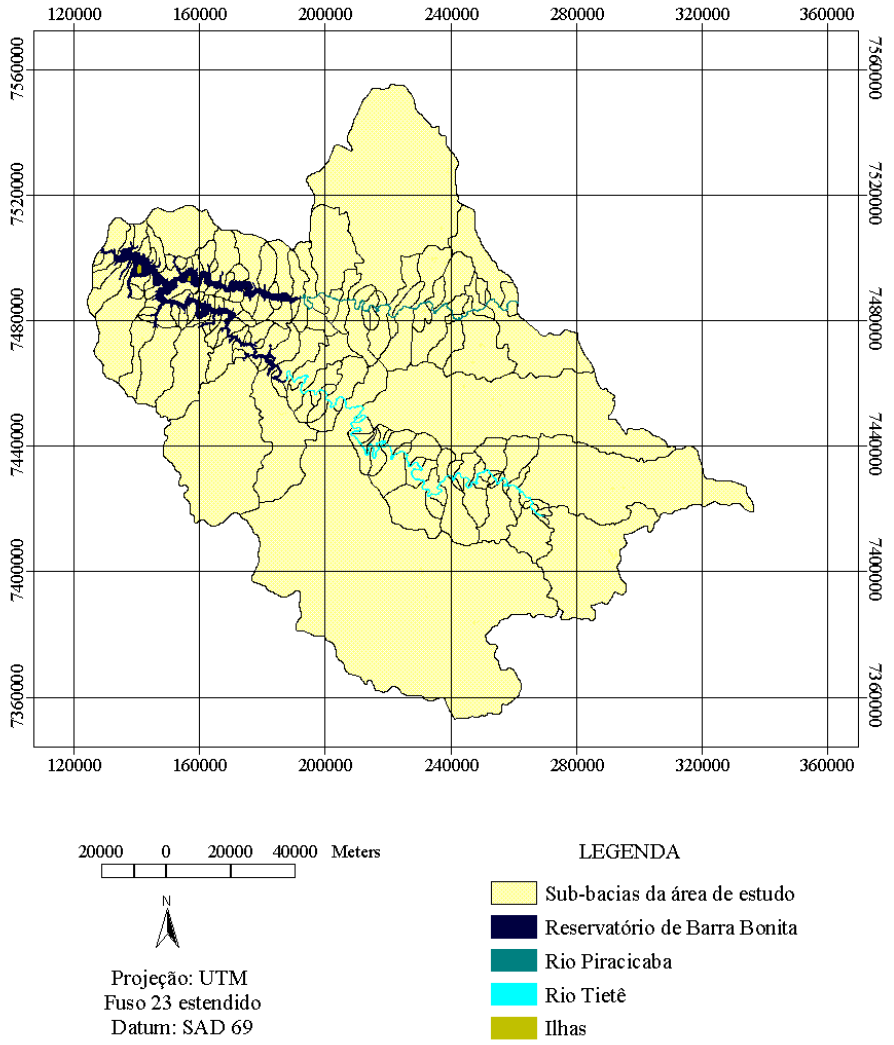


Figura 11: Bacia e sub-bacias da área de estudo na escala 1:1.800.000.
Fonte: IBGE, escala original 1:250.000.

6.1.2 Mapa da rede de drenagem da bacia estudada

O conhecimento da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica é fundamental para o seu planejamento, pois dependendo de suas características como forma, padrão e densidade, ela permitirá uma maior ou menor dispersão e carreamento de sedimentos e poluentes até os rios principais. Segundo ALMEIDA (1964), o padrão geral da

drenagem na porção do Médio Rio Tietê é, predominantemente, do tipo dendrítico. Estas características podem ser observadas no mapa da rede de drenagem obtido para esta bacia, na escala original de 1:250.000, composto pelas classes: reservatório de Barra Bonita, rio Piracicaba, rio Tietê, ilhas e demais rios, lagos e lagoas (figura 12).

A partir deste mapa foi possível obter o mapa da distribuição da densidade de drenagem nas sub-bacias e o mapa da distância das sub-bacias ao reservatório de Barra Bonita, que serão apresentados no item 6.3.

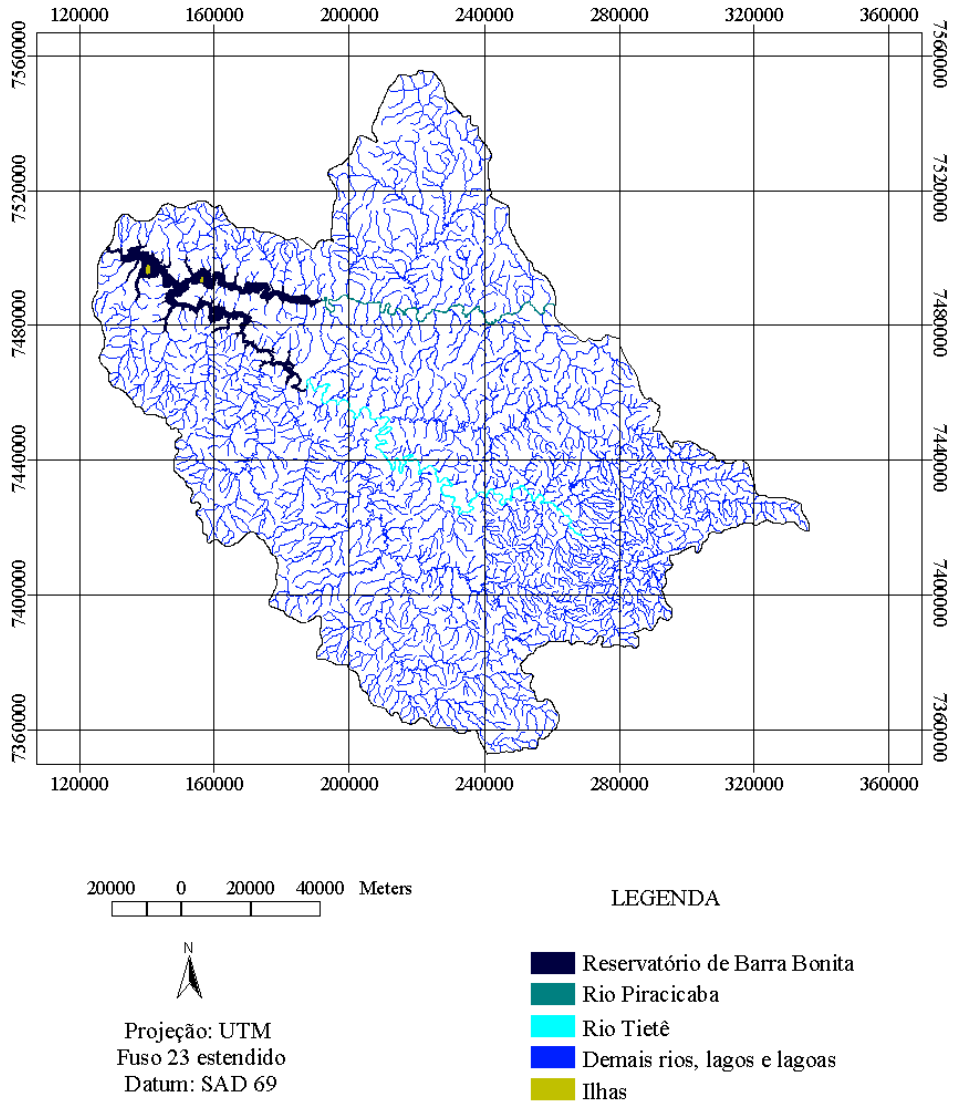


Figura 12: Mapa da rede de drenagem da bacia estudada na escala 1:1.800.000.
Fonte: IBGE, escala original 1:250.000.

6.1.3 Mapa pedológico da bacia estudada

Obteve-se o mapa pedológico para a bacia de estudo a partir do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, do IAC (OLIVEIRA, 1999), na escala 1:500.000. As classes de solo predominantes na área de estudo estão apresentadas na figura 13. As áreas de cada classe foram calculadas e estão na tabela 6, portanto, a descrição das mesmas encontra-se na tabela 19 do item 6.3.

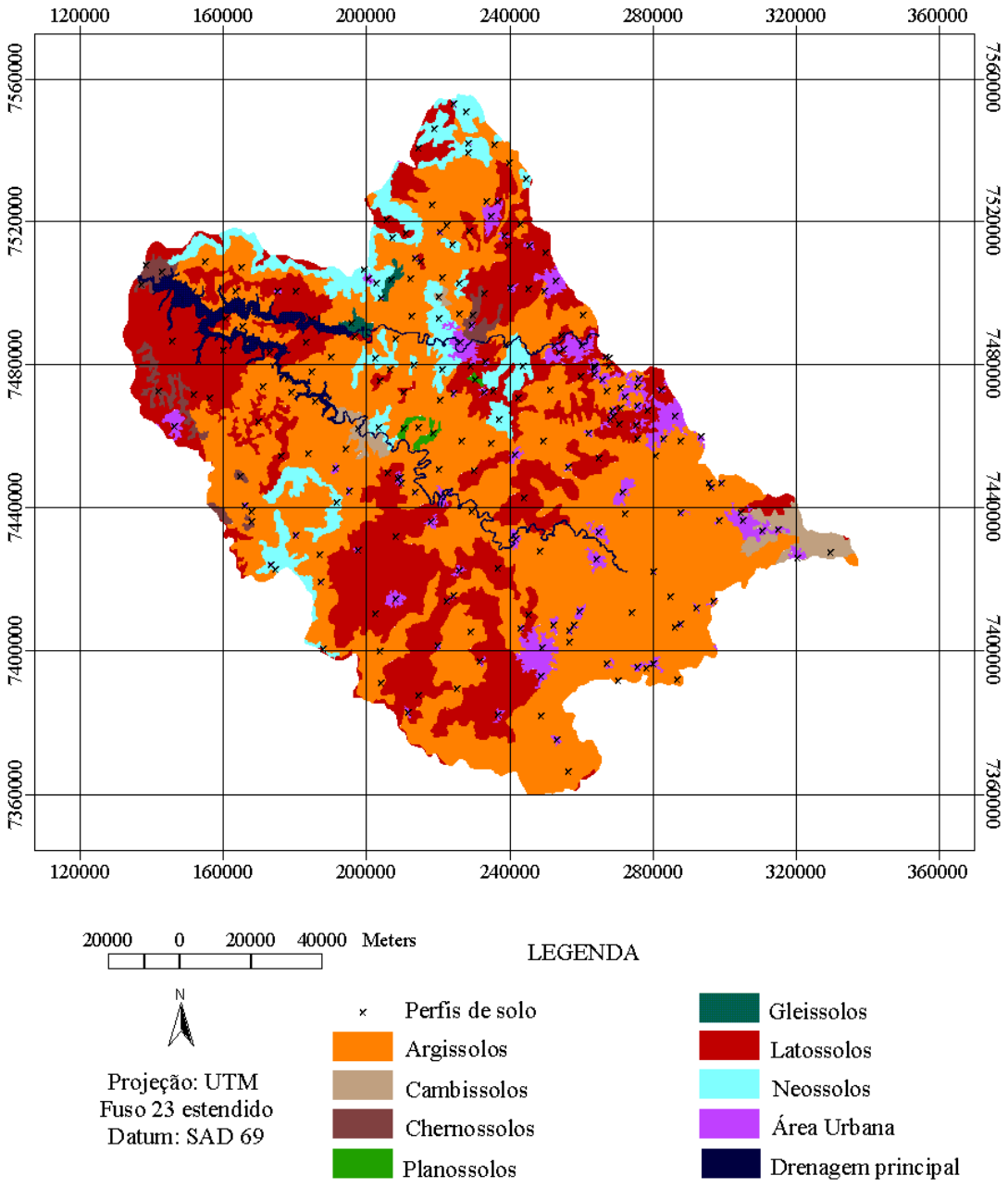


Figura 13: Mapa pedológico da bacia estudada na escala 1:1.800.000.
Fonte: OLIVEIRA, 1999 (IAC), escala original 1:500.000.

Tabela 6: Áreas das classes pedológicas para a bacia estudada.

Classes pedológicas	**Área (km^2)**
Argissolos	10.630,52
Cambissolos	321,18
Chernossolos	264,87
Planossolos	48,22
Gleissolos	58,33
Latossolos	5.422,86
Neossolos	1.311,46
Área Urbana	811,71
Drenagem principal	295,28
TOTAL	**19.164,43**

Observa-se que as classes de solo predominantes na bacia são os Latossolos e Argissolos. Pertencem à classe dos Latossolos, solos muito evoluídos, intemperizados, profundos, porosos, nos quais os mecanismos de formação mais atuantes são a transformação do material e perda de bases. Devido às boas condições físicas sem impedimentos à drenagem, constituem sistemas com considerável resistência aos processos erosivos, porém, como apresentam alta porosidade, permitem uma boa drenagem interna e considerável lixiviação de nutrientes e outros elementos que, dependendo da mobilidade destes, podem causar contaminação do lençol freático ao longo do tempo. Somando a isto se destaca a natureza do material constitutivo, geralmente de baixa capacidade de adsorção.

Os Argissolos são solos bastante evoluídos, porém, são muito susceptíveis à erosão devido à mudança textural, por vezes abrupta, encontrada entre os horizontes A e Bt. Esta característica morfológica condiciona uma marcante diferença na condutividade hidráulica dos horizontes tornando o sistema mais susceptível aos processos erosivos. São solos bem drenados com *solum* profundos, com razoável estruturação e porosidade, o que permite uma percolação e lixiviação de elementos, sobretudo lateral. Desta forma, são capazes de contaminar lençóis freáticos ou corpos hídricos em cotas mais baixas. Quanto à capacidade de adsorção de elementos, apesar de ser bastante variável, devido à variabilidade do material constituinte e mesmo das classes texturais, destaca-se o fato de serem solos, por definição de classe, com atividade de argila baixa o que identifica a limitação na retenção eletroquímica de possíveis elementos contaminantes.

6.1.4 Mapa geológico da bacia estudada

Obteve-se o mapa geológico para a bacia de estudo a partir do Mapa Gelógico do Estado de São Paulo, do IPT (BISTRICHI *et al.*, 1981) na escala 1:500.000. Cada unidade litoestratigráfica pertencente à área de estudo passou a ser uma classe do mapa temático geológico e as classes predominantes podem ser observadas na figura 14. As

áreas de cada classe foram calculadas e encontram-se na tabela 7, portanto, a descrição de cada classe encontra-se no item 6.3.

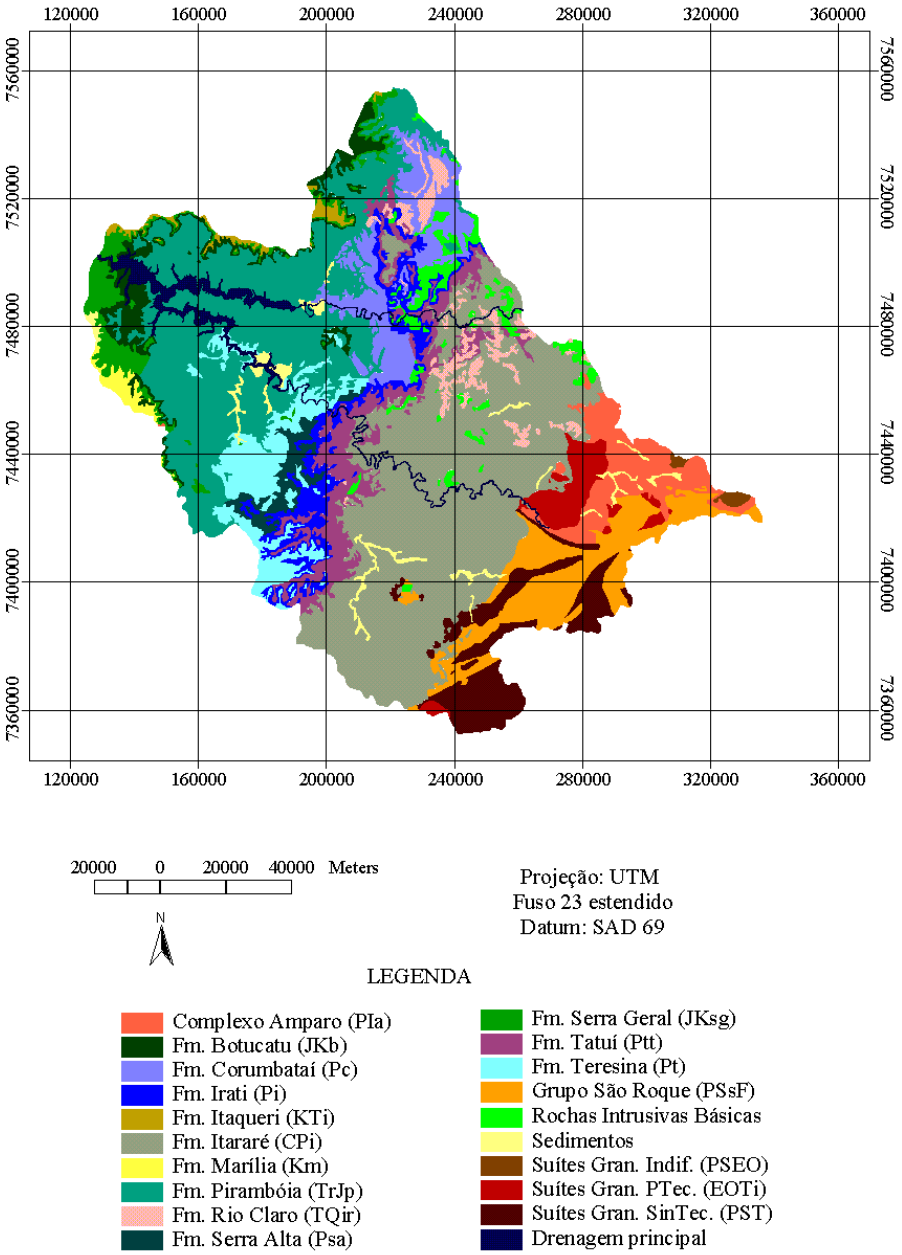


Figura 14: Mapa geológico da bacia estudada na escala 1:1.800.000.
Fonte: BISTRICHI *et al.* (1981), escala original 1:500.000.

Tomando como referência BISTRICHI *et al.* (1981), observou-se grande diversidade de unidades litoestratigráficas na área de estudo, pertencentes a grupos e eras geológicas diferenciados, predominando as formações: Itararé, Pirambóia, Tatuí e Grupo São Roque. As unidades geológicas diferenciam-se em função de sua idade e paleoambiente.

Tabela 7: Áreas de cada classe geológica para a bacia estudada.

Classe geológica	Área (km^2)
Formação Itaqueri	106,04
Formação Serra Geral	538,28
Formação Botucatu	561,23
Formação Pirambóia	3.870,94
Sedimentos	284,60
Formação Marília	114,63
Formação Teresina	915,37
Formação Corumbataí	919,87
Formação Irati	761,77
Formação Tatuí	1.055,90
Formação Rio Claro	452,83
Rochas Intrusivas Básicas	419,16
Formação Serra Alta	273,77
Suítes Graníticas Sintectônicas	889,00
Grupo São Roque	1.228,04
Formação Itararé	5.236,47
Suítes Graníticas Pós-tectônicas	419,13
Complexo Amparo	767,67
Suítes Graníticas Indiferenciadas	49,58
Drenagem principal	295,28
TOTAL	**19.164,43**

6.1.5 Mapa geomorfológico da bacia estudada

Obteve-se o mapa geomorfológico para a bacia de estudo a partir do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, do IPT (PONÇANO *et al.*, 1981). Cada forma do relevo que pertencente à área de estudo passou a ser uma classe do mapa temático de geomorfologia e as classes predominantes podem ser observadas na figura 15. As áreas de cada classe foram calculadas e estão na tabela 8, portanto, a descrição das mesmas encontra-se no item 6.3.

A maior parte da bacia estudada, de acordo com PONÇANO *et al.* (1981), pertence à Unidade Geomorfológica Paulista denominada Depressão Periférica, mais especificamente à Zona do Médio Tietê. Porém, há pequenas porções da bacia pertencentes ainda às Unidades Cuestas Basálticas e Planalto Atlântico, abrangendo a Serra do Japi e uma pequena parte no Planalto Ocidental, correspondendo à classe de relevo de Mesas Basálticas.

A Zona do Médio Tietê, segundo ALMEIDA (1964), compreende a área da Depressão Periférica drenada para o rio Tietê e caracteriza-se pela ocorrência de rochas sedimentares, com áreas expressivas de intrusões de rochas básicas com reflexos na sua topografia. Igualmente importantes são os falhamentos, que perturbam as camadas e a presença da intrusão alcalina de Ipanema, que elevou porção do embasamento cristalino. Predominam nesta Zona as seguintes formas de relevo: Colinas Amplas, Colinas Médias e Morrotes Alongados e Espigões.

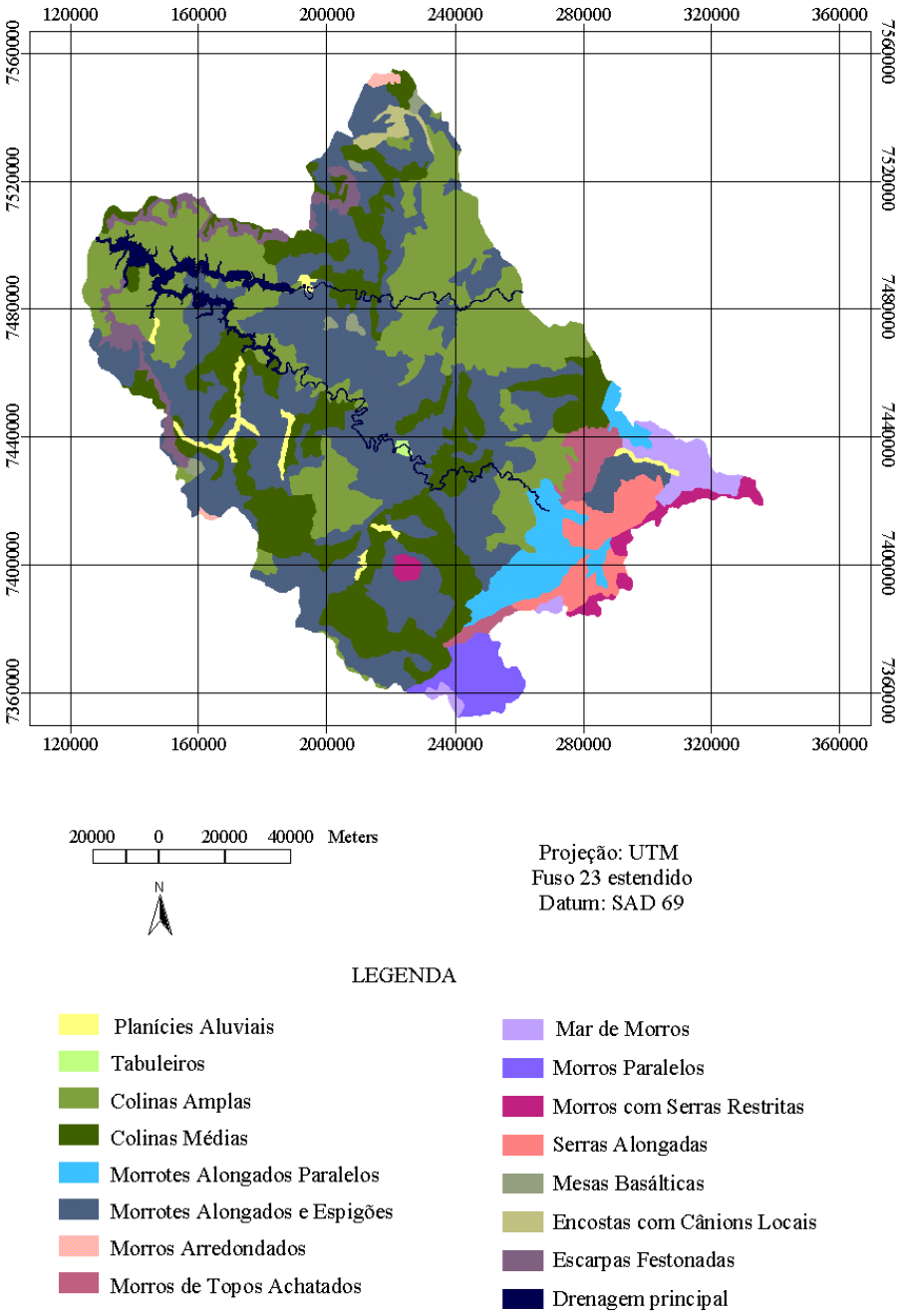


Figura 15: Mapa geomorfológico da bacia estudada na escala 1:1.800.000.
Fonte: PONÇANO *et al.*, 1981, escala original 1:1.000.

A parte da bacia compreendida pelas Cuestas Basálticas refere-se, principalmente, ao relevo escarpado nos limites com a Depressão Periférica sustentado por rochas da Formação Botucatu, predominando as formas Encostas com Cânions Locais e Escarpas Festonadas. As dimensões destas formas são extremamente variáveis, desde escarpas pouco extensas até longos trechos de escarpas ultrapassando 100 quilômetros de extensão, sendo que os desníveis entre o topo e a base destas escarpas podem também oscilar.

As formas de relevo, nas áreas de transição para o Planalto Atlântico, estão geralmente relacionadas aos tipos litológicos, havendo níveis de relevo que decrescem gradualmente de altitude no sentido do embasamento cristalino para a bacia sedimentar. Predominam neste

trecho as seguintes formas de relevo: Morrotes Alongados Paralelos, Morros de Topos Achatados, Mar de Morros, Morros Paralelos, Morros com Serras Restritas e Serras Alongadas.

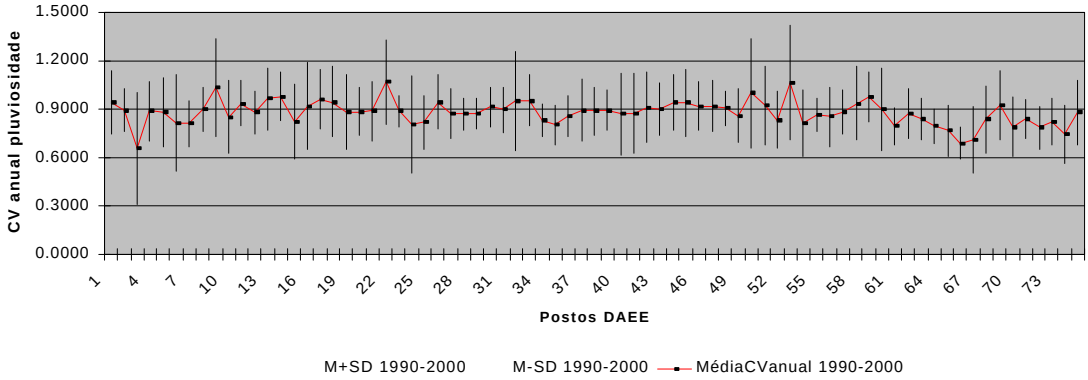
Tabela 8: Áreas das classes geomorfológicas para a bacia estudada.

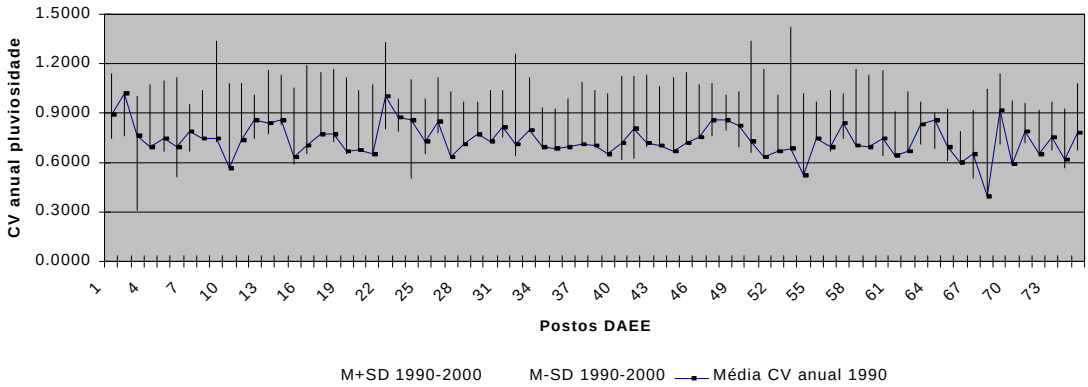
Classes geomorfológicas	**Área (km^2)**
Planícies aluviais	223,66
Tabuleiros	17,46
Colinas amplas	4.442,4
Colinas médias	3.767,5
Morrotes alongados paralelos	763,40
Morrotes alongados e espigões	6.874,81
Morros arredondaddos	41,04
Morros de topos achatados	334,31
Mar de morros	432,07
Morros paralelos	440,00
Morros com serras restritas	289,95
Serras alongadas	564,93
Encostas com cânions locais	102,95
Escarpas festonadas	485,09
Drenagem principal	295,28
TOTAL	**19.164,43**

6.1.6 Coeficiente de variação de pluviosidade da área estudada

Com os dados de pluviosidade mensais obtidos nos 75 postos de monitoramento do DAEE na área de estudo, foi possível calcular o coeficiente de variação de pluviosidade anual (anexo 1). O ano de 1990 foi escolhido para que os CVP para todos os postos fossem interpolados, por meio de técnicas de análise espacial, para a obtenção de um mapa temático.Também foram gerados gráficos (figuras 16 e 17) que mostram que o CVP de 1990 fica abaixo da média do CVP decadal (1990-2000).

Entretanto, este ano foi escolhido por possuir mais postos em monitoramento e com dados completos, sendo maior o número de eventos a serem utilizados na modelagem para a interpolação, o que melhora os resultados obtidos. Além disso, o regime de chuvas deste ano apresentou um comportamento similar aos outros anos (figura 18) e é esperado que o CVP de 1990 seja menor porque na média do CVP de 1990 foi incorporada apenas a variabilidade mensal e sazonal da precipitação, enquanto que o CVP decadal incorpora também a variabilidade inter-anual, que no caso da década analisada foi afetada por episódios marcantes de oscilação climática decorrentes principalmente dos fenômenos *El Niño* e *La Niña* que são recorrentes.





Figuras 16 e 17: Média do Coeficiente de Variação de pluviosidade decadal (1990-2002) e de 1990.

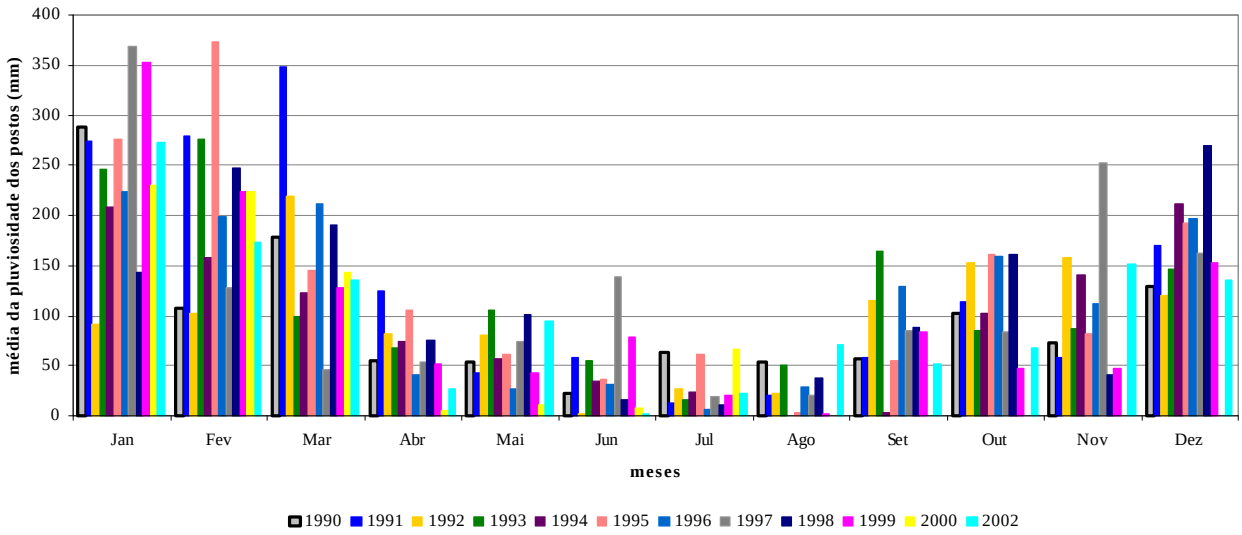


Figura 18: Médias das médias mensais de pluviosidade dos postos de monitoramento do DAEE para os anos de 1990 a 2002, estando 1990 em destaque.

Na figura 19, encontra-se a comparação dos dados de pluviosidade para os anos de 1990 e 2002 utilizados nas análises limnológicas. Observa-se que o mês que apresenta maiores precipitações, em ambos os casos, é janeiro e o inverso ocorre para junho, sendo que nestes meses choveu um pouco menos em 2002 com relação a 1990.

Na comparação da média de precipitação dos meses pertencentes à estação chuvosa com a dos meses pertencentes à estação seca, verificou-se grande similaridade para ambos os anos.

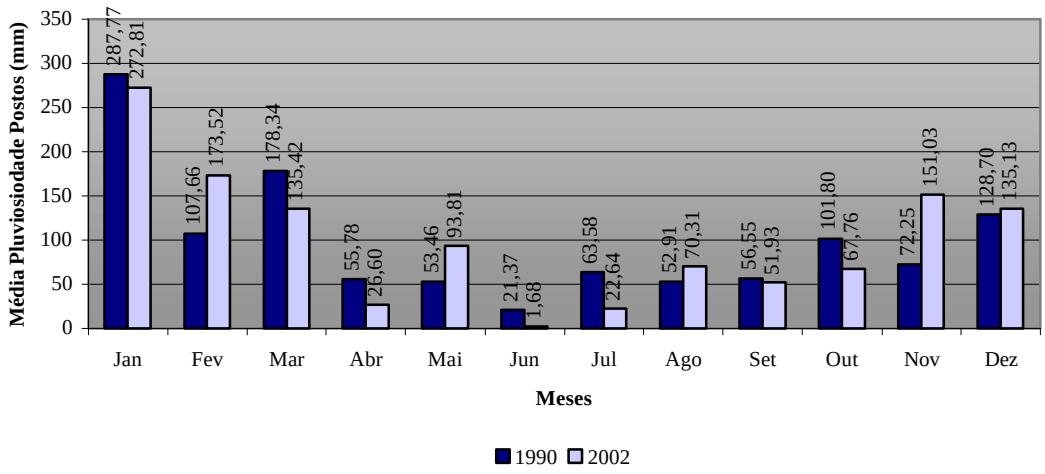


Figura 19: Comparação das médias das médias mensais de pluviosidade dos postos de monitoramento do DAEE para os anos de 1990 e 2002.

Quanto à interpolação dos coeficientes de variação de pluviosidade para a área de estudo, foi aplicada uma técnica de geoestatística denominada krigeagem. Primeiramente, são apresentados os resultados da análise exploratória, que no Spring 3.6 realiza-se por meio de estatísticas univariadas e bivariadas (tabela 9). As estatísticas univariadas fornecem um meio de organizar e sintetizar um conjunto de valores, que se realiza principalmente por meio de um histograma. As estatísticas bivariadas fornecem meios de descrever o relacionamento entre duas variáveis, isto é, entre dois conjuntos de dados ou de duas distribuições, sendo dadas pelo diagrama de dispersão. E ainda, é possível nesta fase obter o grau de relação linear entre as variáveis, sendo medido por meio do coeficiente de correlação. Além das estatísticas descritivas utiliza-se também, para sua melhor caracterização, os recursos gráficos de histograma e do gráfico da probabilidade normal.

Tabela 9: Estatística descritiva da distribuição dos pontos na área de estudo.

ESTATÍSTICA DESCRITIVA	
=> Número de amostras	75
=> Número de amostras válidas	75
=> Média	0.73607668
=> Variância	0.00998942
=> Desvio Padrão	0.09994710
=> Coeficiente de Variação	**0.13578354**
=> Coeficiente de Assimetria	0.00519020
=> Coeficiente de Curtose	4.52076113
=> Valor Mínimo	0.39069179
=> Quartil Inferior	0.68108183
=> Mediana	0.72491753
=> Quartil Superior	0.79451233
=> Valor Máximo	1.02106309

A fase seguinte foi a geração do semivariograma para a análise de variabilidade espacial. Na geoestatística a análise da variabilidade espacial por semivariograma é a etapa mais importante de todo o processo, pois o modelo de semivariograma escolhido é a interpretação da estrutura de correlação espacial a ser utilizada nos procedimentos inferenciais da krigeagem (CAMARGO e FUKS, 2001). Os resultados numéricos desta fase podem ser vistos na tabela 10.

Tabela 10: Resultados numéricos da análise da variabilidade espacial por semivariograma.

No. Lag:4 Incremento:32999.00 Tolerância:16499.50

Direção: 0.00 Tol.Angular: 90.00 Máxima Bw: 70000.00

Lag	No. Pares	Distância	Semivariograma
1	182	11756.526	0.00737
2	1408	34664.238	0.00911
3	1718	65160.886	0.00972
4	868	97046.296	0.01140
5	302	128939.688	0.01245
6	60	161817.403	0.01260

O passo seguinte foi o ajuste de semivariograma e a definição dos parâmetros do modelo, sendo o semivariograma omnidirecional melhor ajustado ao modelo teórico esférico. A tabela 11 mostra o relatório dos valores dos parâmetros do modelo, sendo estes tomados sempre referentes ao menor valor de *akaike*, que é um dos parâmetros do modelo (CAMARGO e FUKS, 2001).

Na seqüência, realizou-se a validação do modelo de ajuste. Este processo é uma etapa que precede as técnicas de krigeagem, sendo o seu principal objetivo avaliar a adequação do modelo proposto no processo que envolve a re-estimação dos valores amostrais conhecidos. A partir daí foi obtida a estatística do erro (tabela 12) e ainda o

histograma de erros e o diagrama espacial do erro. Observa-se que foram obtidos valores de *akaike* satisfatórios, abaixo de –40 no caso 2 e 3, uma média tendendo a zero e um desvio padrão pequeno, o que demonstra uma boa adequação do modelo à situação modelada.

Tabela 11: Parâmetros do modelo de semivariograma aplicado.

No. de variáveis: 3
No. de Lags usados: 6

Parâmetros iniciais:
Efeito Pepita (Co): 0.006
Para modelo transitivo: Esférico
Contribuição (C1): 0.006
Alcance (a): 80908.702

Modelo de Semivariograma Esférico

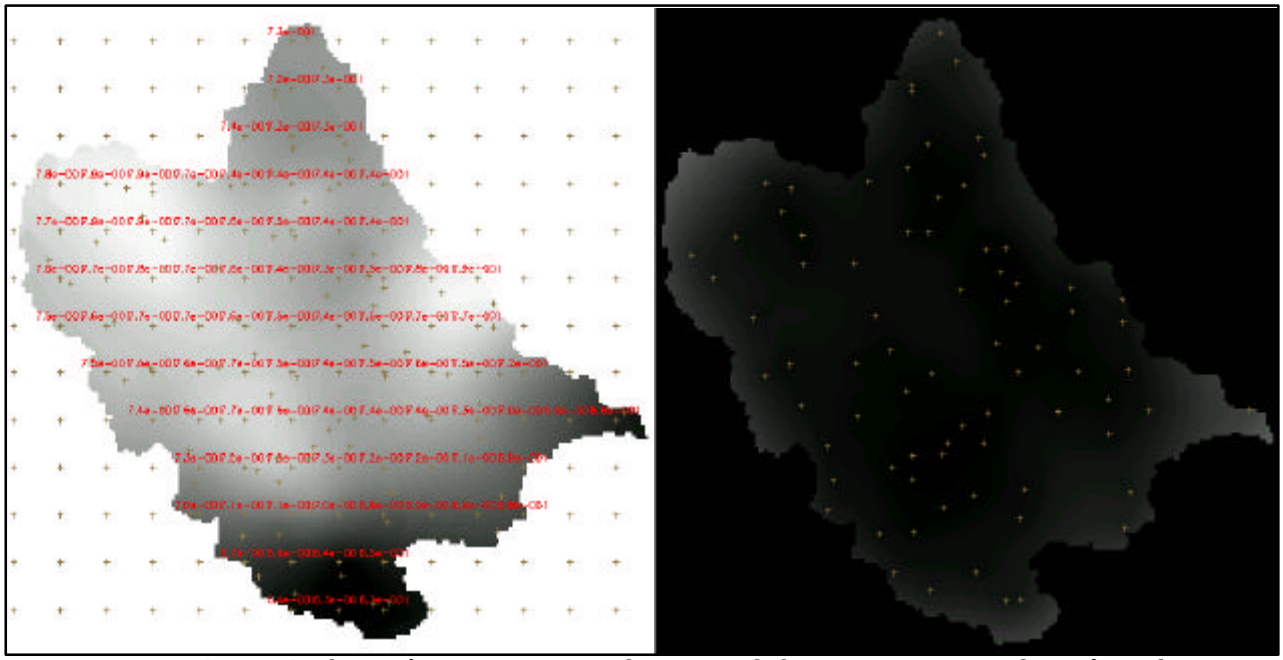
No.	Akaike	Efeito Pepita	Contribuição	Alcance
1	-34.988	0.007	0.005	124043.736
2	-42.564	0.007	0.006	166989.295
3	-43.038	0.007	0.006	168581.264

Tabela 12: Estatística do erro.

ESTATÍSTICA DO ERRO

=> Número de amostras 75
=> Média 0.002
=> Variância 0.008
=> Desvio Padrão 0.091
=> Coeficiente de Variação 59.726
=> Coeficiente de Assimetria ..... -0.248
=> Coeficiente de Curtose 4.577
=> Valor Mínimo ..... -0.285
=> Valor Máximo 0.290

Na última fase, que consistiu na aplicação da krigeagem em si, sendo utilizada a krigeagem ordinária, obteve-se a grade numérica e imagem da interpolação (figura 20). Observa-se que as regiões mais claras são as que possuem um coeficiente de variação de pluviosidade mais elevado e nas regiões mais escuras ocorre o inverso. Também foi possível a obtenção de uma imagem mostrando a variância do erro (figura 21). Na imagem variância do erro para o parâmetro em questão observa-se áreas mais claras, que são as de maior variância do erro devido à baixa densidade de pontos amostrais e áreas mais escuras onde ocorreu o processo inverso.



Figuras 20 e 21: Grade numérica e imagem gerados a partir da krigeagem e imagem da variância do erro, respectivamente.

A krigeagem consistiu em atribuir valores para os pontos intermediários das amostras, gerando uma superfície contínua. Porém, é necessário obter um valor médio do coeficiente de variação pluviométrica para cada sub-bacia da área de estudo, que será apresentado no item 6.3, juntamente dos outros temas. Esta técnica aplicada para a espacialização dos dados de pluviosidade parece ser bastante interessante podendo ser aplicada em outros casos, visto que este tema é fundamental em estudos ambientais desta ordem e que os dados, além de escassos, são pontuais.

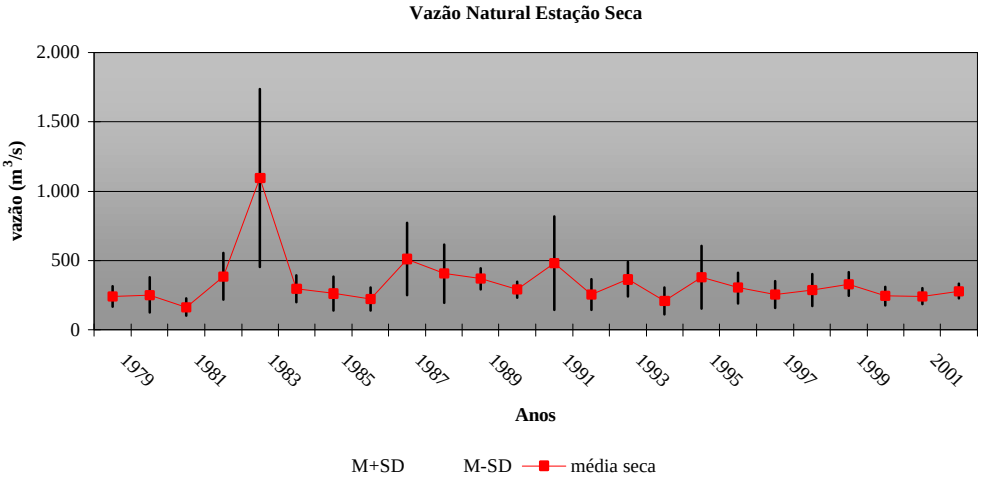
6.1.7 Vazões naturais do reservatório de Barra Bonita

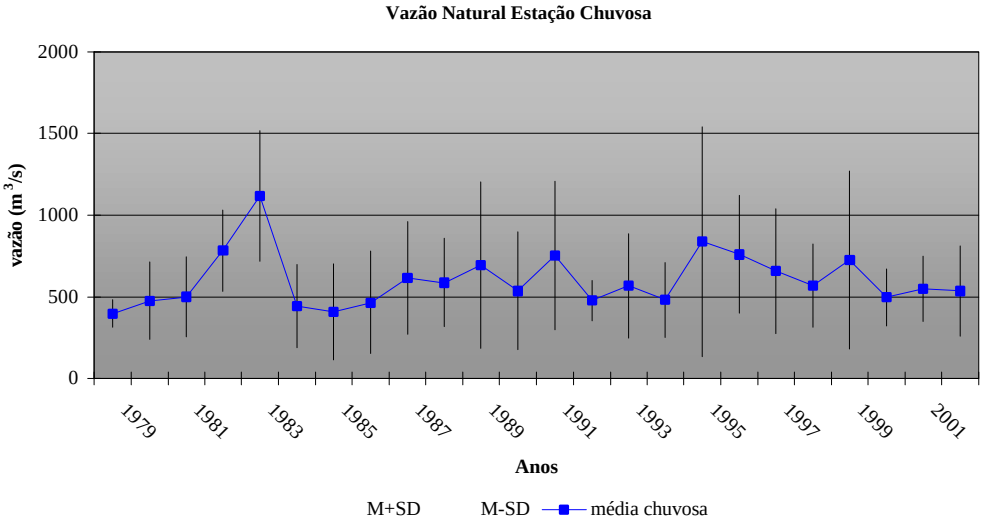
As vazões naturais do Reservatório de Barra Bonita foram obtidas no Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). As séries de vazões naturais médias mensais dos aproveitamentos das bacias dos rios Paraná, Tocantins e São Francisco foram revistas no âmbito do “Projeto de Revisão das Séries de Vazões Naturais”, contratado pelo ONS junto a empresas de consultoria e consórcios de empresas.

A avaliação das vazões naturais foi procedida por uma ampla análise de consistência de dados fluviométricos e pluviométricos disponíveis nas principais estações hidrométricas existentes em cada bacia, bem como de uma abrangente análise de consistência dos dados operativos dos aproveitamentos. As vazões naturais foram obtidas em cada local de aproveitamento, retirando os efeitos da operação dos reservatórios existentes a montante e incorporando as vazões relativas à evaporação, com base em vetores de evaporação líquida (diferença entre evaporação de lago e

evapotranspiração real) correspondentes aos valores das Normais Climatológicas (ONS, 2004).

A partir dos dados de vazões naturais médias mensais do reservatório de Barra Bonita de 1990 a 2002, foram obtidas médias para as estações seca e chuvosa de cada ano considerado, assim como o desvio padrão (SD), a média mais o desvio padrão (M+SD) e a média menos o desvio padrão (M-SD) (anexo 2). A partir destes dados foram obtidos os gráficos das figuras 22 e 23.





Figuras 22 e 23: Médias das vazões naturais, dos meses das estações seca e chuvosa, respectivamente, do reservatório de Barra Bonita.

Ao se observar os gráficos das figuras 22 e 23 verifica-se que os valores das médias de vazões, por estação do ano, foram inferiores na estação seca, o que já era esperado e que para a estação seca os intervalos M+SD e M-SD foram, na maioria das

vezes menores, indicando também menor desvio padrão para esta estação. Por outro lado, na estação chuvosa ocorreu o inverso. Para ambas as estações, os picos de vazões naturais ocorreram em 1983, 1991, 1995 e 1999, coincidentes com as maiores precipitações que estes anos também apresentaram.

6.2 Uso e cobertura: mudanças no espaço e no tempo na bacia hidrográfica de estudo.

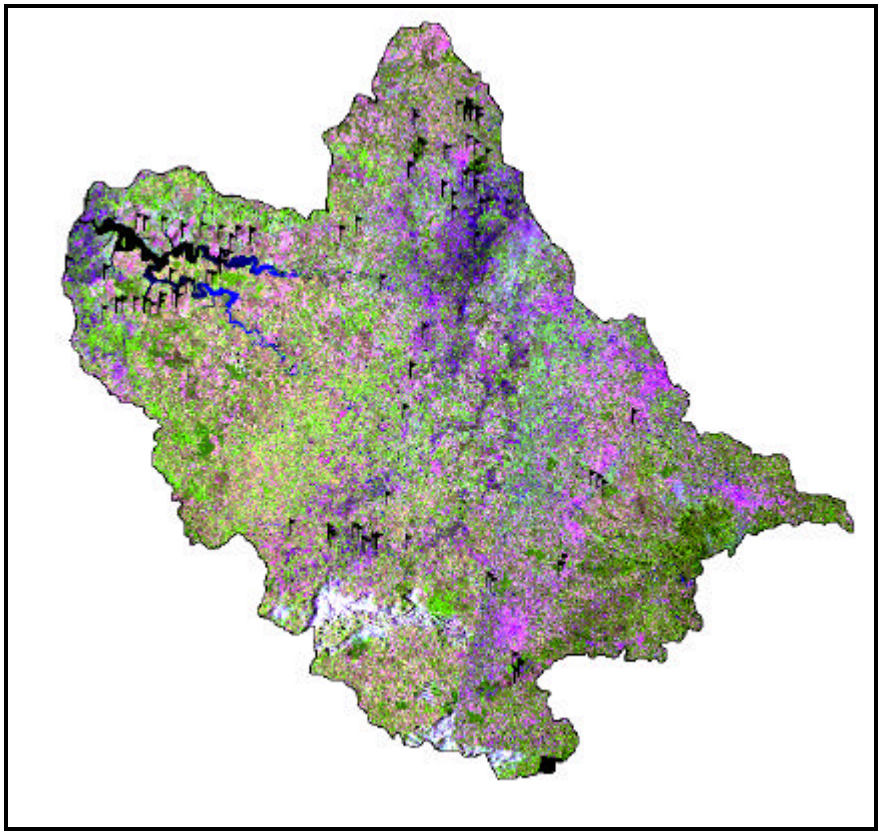
Para o levantamento das principais classes do uso e cobertura da terra, no período proposto, bem como para a análise da sua dinâmica e potencial poluidor do reservatório de Barra Bonita, foram utilizadas informações de diversas fontes como imagens de satélite, dados censitários e observações de campo.

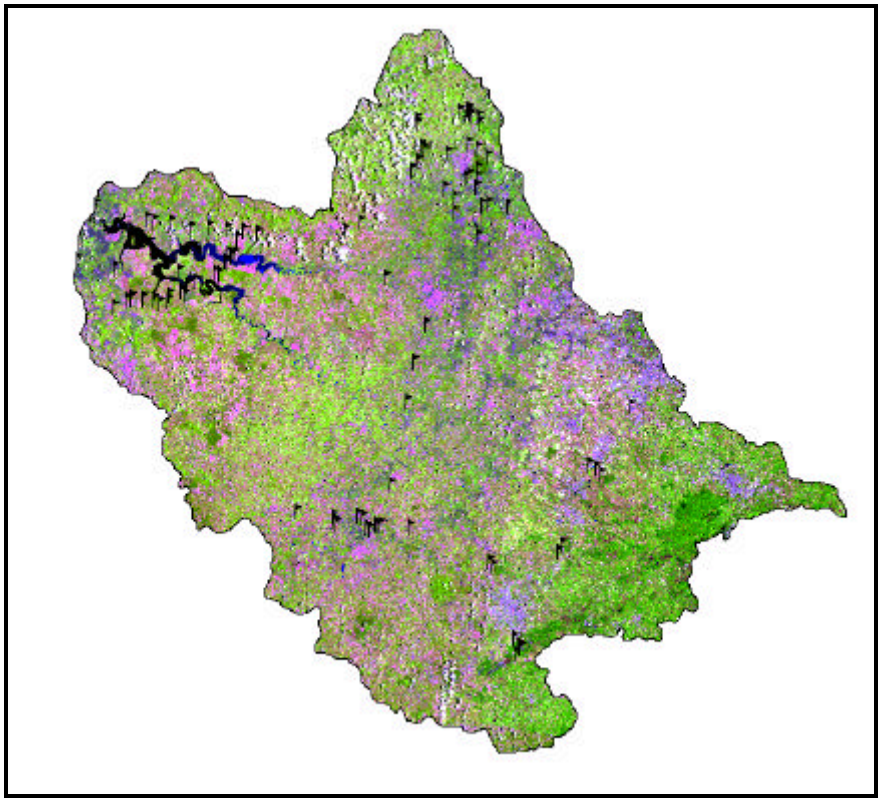
6.2.1 Resultados intermediários do processamento de imagens de satélite (1990 e 2002)

A partir da fase de pré-processamento das imagens de 1990 e 2002 (estação chuvosa) obtiveram-se dois mosaicos, um para cada ano, utilizando uma composição colorida TM5(R), TM4(G) e TM3(B) para 1990 e ETM+5(R), ETM+4(G) e ETM+3(B) para 2002 (figura 24 e 25). A metodologia de equalização das cenas para cada data, utilizando o *software* ENVI 3.4 foi bastante eficiente, visto que este procedimento suavizou as regiões de contato das cenas.

Mesmo antes da classificação perceberam-se mudanças no uso e cobertura da terra entre 1990 e 2002, sendo que em 1990 a área coberta de nuvens foi maior que a do ano de 2002. Observou-se ainda uma grande diversidade de classes fragmentadas e misturadas o que dificultou bastante o trabalho do intérprete nesta escala. Algumas classes apresentaram respostas espectrais muito semelhantes, como por exemplo, a classe cana-de-acúcar (cultura em estágio adulto) e pastagem viçosa; áreas de várzeas, capoeiras e vegetação secundária; dentre outras, o que dificultou também o processo de classificação. Em estudos mais detalhados, pode ser melhorada a discriminação desses das classes de uso é feita apenas a partir da integração de informações de aptidão agrícola da área de estudo, com dados de sensoriamento remoto adquiridos ao longo do ciclo fenológico das diferentes culturas (EPIPHANIO *et al.* 2003).

As marcas em preto são os locais visitados em campo, que auxiliaram na fase de treinamento para a classificação das imagens.



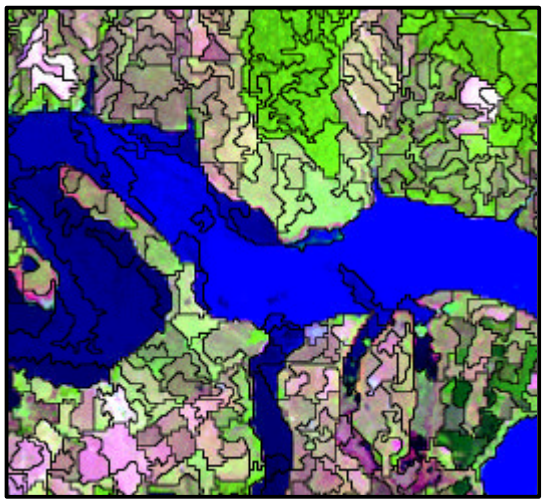


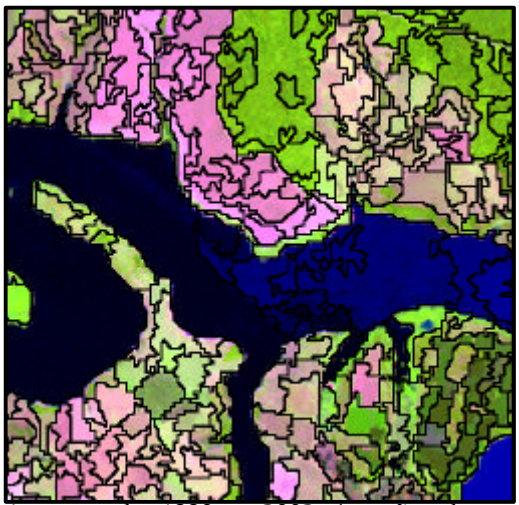
Figuras 24 e 25: Mosaicos obtidos do pré-processamento das imagens de 1990 e 2002 (estação chuvosa), respectivamente.

Conferindo as classes de uso da terra visualizadas na imagem em campo, foi possível verificar que de acordo com o manejo que se faz nas diversas culturas e pastagens, obtêm-se respostas espectrais também diferenciadas. Por exemplo, em uma região onde houve o corte da cana-de-açúcar e o solo ficou exposto ocorre uma resposta espectral distinta de outra região cuja cana-de-açúcar foi cortada, mas o solo ficou coberto com a palhada (figuras 26 e 27).

Figuras 26 e 27: Solo exposto e solo coberto pela palhada no cultivo da cana-de-açúcar, respectivamente.

Sendo assim, a segmentação foi utilizada, visando facilitar a classificação das imagens. Obteve-se um resultado satisfatório utilizando limiares de 10 e 20, de similaridade e área, respectivamente, tanto para 1990 como para 2002. As figuras 28 e 29 mostram um trecho da área de estudo segmentada, abrangendo diferentes classes de interesse, para ambos os anos.





Figuras 28 e 29: Resultado da segmentação das imagens de 1990 e 2002 (estação chuvosa), respectivamente, para um trecho da área de estudo.

Verificou-se que com os limiares utilizados a segmentação subdividiu classes homogêneas como é o caso da água do reservatório de Barra Bonita, o que não seria necessário, mas por outro lado, delimitou bem as classes que possuíam pequenos fragmentos como foi o caso da vegetação natural e por este fato foram mantidos. Na classificação supervisionada, utilizando o classificador *Bhattacharya Distance* e as 98 amostras de campo no treinamento, foi obtida uma matriz de classificação cuja estatística de erros apresentou bons resultados tanto para 1990 como para 2002 (tabela 13).

Tabela 13: Estatística de erros da classificação supervisionada.

	Imagem 1990	**Imagem 2002**
Desempenho geral	88,65%	90,65%
Confusão média	8,33%	5,61%
Abstenção média	3,03%	3,74%

Mesmo obtendo bons resultados na matriz de classificação de erros para ambos os anos, comparando os resultados da classificação com as imagens originais, observou-se uma confusão significativa para algumas classes feita pelo classificador. Sabendo que realmente algumas classes da área de estudo podem ser passíveis de confusão, que o uso da terra na área de estudo é bastante fragmentado e levando em conta a escala de trabalho regional adotada, optou-se pela delimitação, em tela, de algumas classes de forma homogênea e contínua, na fase de edição matricial.

Ocorre que de fato, em determinadas regiões da área de estudo, há um predomínio de certas classes, como é o caso da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, das pastagens na região de Conchas, da cultura permanente da laranja na região de São Manoel, do reflorestamento na região de Votorantim e Indaiatuba e de outras culturas anuais ou temporárias, além da cana-de-açúcar, na região de Tatuí.

Verificou-se, entretanto, que imagens do Landsat numa escala aproximada de 1:50.000, não são suficientes para diferenciar e quantificar com precisão classes de uso e cobertura da terra em áreas extensas, com lotes muito fragmentados e misturados, como é o caso da área de estudo. Para tal, seria necessário um trabalho de verificação terrestre bastante exaustivo, com um número muito grande de amostras ou se utilizar fotos aéreas e imagens com resolução espacial melhor e softwares mais robustos como, por exemplo, o *E-Cognition* que permite uma maior interferência do conhecimento do

intérprete no processo de classificação. Porém, estes recursos ainda possuem custo elevado, nem sempre podendo ser utilizados em pequenos projetos e teses.

Entretanto, para estudos semelhantes a este, que se proponham a identificar as classes de uso e cobertura da terra, predominantes de uma bacia hidrográfica, para fins de análises multitemporais, gerenciamentos, zoneamentos, em escalas regionais, as imagens do sensor *Thematic Mapper* do Landsat se mostram adequadas. Neste sentido, mais recentemente surgiu a possibilidade de se utilizar imagens do satélite sino-brasileiro CBERS 1 e 2 lançados respectivamente em 1999 e 2003 (http://www.cbers.inpe.br) que se encontram disponíveis gratuitamente e podem ser obtidas via Internet (http://www.obt.inpe.br).

6.2.2 Mapas de uso e cobertura da terra 1990 e 2002

A partir da classificação supervisionada e edição das imagens do Landsat 5 e 7, referentes à 1990 e 2002, respectivamente, foram obtidos os mapas de uso e cobertura da terra da área de estudo, para ambos os anos, na escala 1:500.000 (em anexo).

Também foi realizado um cálculo de áreas para os dois anos no Spring 3.6, cujo resultado encontra-se na tabela 14. Quanto à porcentagem de mudança, os valores positivos indicam expansão da área e os negativos indicam redução de área.

Tabela 14: Áreas das classes de uso e cobertura da terra para os anos de 1990 e 2002.

Classes	Área 1990 (km^2)	Área 2002 (km^2)	Mudança (km^2)	Mudança (%)
Área urbana	996,85	1.286,49	289,64	29,06
Solo exposto	2.486,46	1.804,96	-681,50	-27,41
Pastagem e campo	5.029,54	5.143,73	114,19	2,27
Cana-de-açúcar	4.370,78	4.917,72	546,94	12,51
Cultura temporária	858,51	878,80	20,29	2,36
Cultura permanente	267,85	247,65	-20,20	-7,54
Remanescente de vegetação natural	2.870,76	2.665,05	-205,71	-7,17
Reflorestamento	623,47	581,50	-41,97	-6,73
Macrófitas	32,27	19,23	-13,04	-40,41
Nuvem e sombra	1.290,12	1.290,12	0,00	0,00
Corpo de água	337,82	329,18	-8,64	-2,56
Total:	**19.164,43**	**19.164,43**		

Como se observa, trata-se de uma bacia hidrográfica bastante antropizada, abrigando grandes centros urbanos, destacando Campinas, Piracicaba, Sorocaba, Jundiaí, Americana, Indaiatuba, Limeira, Rio Claro, dentre outros, possuindo estas áreas grande potencial poluidor da água, devido ao lançamento de esgoto doméstico e industrial.

Verificou-se uma expansão da área urbana, de 1990 para 2002, de 29,06 %, o que corresponde na maioria das vezes, a loteamentos implantados em áreas inadequadas, de forma não planejada e sem a infra-estrutura necessária, trazendo problemas ambientais e de outras ordens. Houve na década de 90, transferência de várias indústrias, com potencial poluidor, da capital paulista para os municípios do interior do Estado, o que acentuou ainda mais a demanda pelo uso da água nestas regiões, bem como a produção de efluentes líquidos. Segundo FELICIDADE *et al.* (2001), o processo de interiorização paulista baseou-se na utilização de múltiplas estratégias de atração da indústria e de modernização da agricultura, ambas requerendo uso intensivo dos recursos naturais, dentre os quais, os hídricos.

Notou-se uma redução bastante significativa das áreas consideradas como a classe solo exposto, de 1990 para 2002. Esta redução pode ser explicada pelo fato de nesta classe estarem agrupados solos permanentemente ou temporariamente expostos. Desta forma, solos expostos durante o plantio de culturas temporárias, com destaque para a cana-de-açúcar, foram detectados pelo sensor do Landsat de forma muito semelhante a um solo permanentemente exposto. E ainda, as cenas que compõe o mosaico de 1990 são dos meses de janeiro, março e novembro. Segundo MOURA (2000), que realizou um estudo em áreas comuns à bacia de estudo em questão, os meses de janeiro a março são os meses de plantio da cana-de-açúcar, período em que o solo apresenta-se bastante exposto. Segundo dados de área plantada, obtidos em IBGE (2004), houve uma maior área plantada para culturas temporárias em 1990 em relação a 2002.

Quanto à cana-de-açúcar, obteve-se um aumento da área ocupada por esta classe de 1990 para 2002. Conforme IBGE (2004), realmente houve uma expansão da cana-de-açúcar neste período, tanto para o Estado de São Paulo como para a bacia estudada. Outro fato é que as cenas que compõem o mosaico de 2002 são de outubro e dezembro, no final do corte desta cultura, que se inicia, segundo MOURA (2002), em abril. Sendo assim, a cana-de-açúcar cortada no início do período de corte, pode ter brotado e crescido, sendo confundida pelo sensor com a cana-de-açúcar adulta e, desta forma, foi agrupada como tal em 2002. No que se refere a esta cultura, várias dificuldades são encontradas na interpretação da imagem visto que, em determinadas condições, a cana-de-açúcar pode se confundir com a pastagem viçosa como já mencionado anteriormente; que o solo em fases de preparo para o plantio reflete como solo exposto;

que o período da colheita é extenso abrangendo meses de ambas as estações, seca e chuvosa e que há monocultivo em determinadas regiões e cultivo em pequenas áreas em outras regiões. E ainda vale ressaltar que a cana-de-açúcar, de acordo com a tabela 14, ocupa a segunda maior área da bacia, sendo menos expressiva apenas que a classe pastagem e campo, correspondendo também à maior área ocupada por culturas, sejam elas temporárias ou permanentes. No sentido de obter maior precisão na discriminação de culturas específicas, vários estudos têm sido desenvolvidos no INPE (SILVA, 1994; EPIPHANIO *et al.*, 1996; MOURA, 2002, GÜRTLER, 2003 e outros), enfatizando a necessidade de se usar séries temporais de imagens durante o ciclo de crescimento da cultura, o que não é o escopo do atual trabalho.

A classe de cultura temporária, abrangendo culturas com plantio, geralmente, em pequena escala, incluindo a cana-de-açúcar em pequenos lotes, mas não a cana-de-açúcar intensiva que foi considerada como uma classe à parte, apresentou um ligeiro aumento de 1990 para 2002. Mas, a área ocupada por esta classe fica ainda muito aquém da área ocupada pelo monocultivo da cana-de-açúcar. Em trabalho de verificação terrestre, foi possível obter relatos dos pequenos agricultores que relataram que nos últimos anos eles vêm substituindo áreas com outras culturas temporárias pela cana-de-açúcar, sendo a última vendida para as usinas sem muita mão-de-obra e riscos de perda de safra.

No caso da classe cultura permanente houve um decréscimo na área em 2002 com relação a 1990. Observou-se em trabalho de campo que a cultura permanente que predomina na bacia estudada é a Laranja, concentrada em determinados municípios. Conforme IBGE (2004), tanto o Estado de São Paulo como a bacia estudada, reduziram suas áreas de culturas permanentes em geral, assim como da cultura da laranja, especificamente, de 1990 para 2002.

A classe remanescente de vegetação natural apresentou uma redução de área no período estudado. Esta classe abrange desde fragmentos florestais ainda existentes na região, incluindo matas ciliares (em diversos estágios de sucessão), assim como vegetação de capoeira, cerrado, campo sujo, várzeas e parques vegetados em áreas urbanas. Estas áreas vêm sendo reduzidas devido à ocupação para expansão de área urbana, pastagens, culturas e reflorestamento. Existem algumas unidades de conservação na área de estudo, contudo a fiscalização pelos órgãos competentes ainda é insuficiente, havendo muitas vezes corte seletivo para madeira, entre outras atividades

predatórias. Além disso, é importante ressaltar que em termos de vegetação natural, as áreas aqui apresentadas possivelmente encontram-se superestimadas, visto que as áreas de várzeas já não apresentam mais uma vegetação natural, bem como as matas ciliares, que muitas vezes são detectadas pelo sensor do Landsat, mas não possuem largura e biodiversidade significativas. Sem contar que pode ocorrer superposição do comportamento espectral da vegetação natural e reflorestamento, o que em determinados casos leva a que essas classes sejam confundidas no processo de interpretação das imagens. Contudo, fica evidente que a área estudada, como ocorre na maior parte do interior do Estado de São Paulo, encontra-se com um déficit de cobertura vegetal muito grande.

A classe reflorestamento apresentou também pequena redução de 1990 para 2002. O reflorestamento aparece concentrado em algumas regiões como nos municípios Indaiatuba, Sorocaba, Votorantim, Alumínio, Alambari, dentre outros, estando relacionados, na maioria das vezes, a indústrias de papel e celulose.

As macrófitas aquáticas foram detectadas pelo sensor do Landsat, tanto no reservatório de Barra Bonita como nos seus principais rios formadores, Tietê e Piracicaba, para ambos os anos. No entanto, o ano de 1990 apresentou uma maior área coberta por macrófitas que o ano de 2002. A variação da biomassa destas plantas aquáticas está relacionada a diversos fatores. THOMAZ e BINI (1999) destacam cinco fatores que afetam o corpo aquático como um todo, sendo eles: o clima, a geologia, as flutuações dos níveis de água, a área do reservatório e o *pool* regional de espécies.

As datas da passagem do satélite para a cena que abrange o reservatório de Barra Bonita, utilizadas neste trabalho foram 12/11/1990 e 23/12/2002 (ambas na estação chuvosa). Porém, segundo PETRARCO (1995), em ecossistemas artificiais como os reservatórios, a flutuação do nível de água não é caracterizada apenas pelo ciclo pluviométrico, sendo decorrente principalmente do manejo dos mesmos em função da geração de energia. E ainda, o uso e a cobertura da terra na bacia de contribuição para o reservatório de Barra Bonita exercem significativa influência sobre as características da água, o que interfere na variação de biomassa das macrófitas ao longo do tempo.

Quanto à classe nuvem e sombra, foi gerada uma máscara contendo as áreas cobertas por nuvem e sombra para as duas épocas e esta foi aplicada nos mapas de 1990 e 2002. Este procedimento evita que uma área coberta por nuvem ou sombra em um ano

(portanto não identificada), seja contabilizada no outro ano, interferindo de forma equivocada nos resultados de comparação de áreas.

Quanto aos corpos d'água foi observada também uma redução em sua área de 1990 para 2002, o que provavelmente ocorreu pelas diferenças nos regimes de chuvas desses anos.

Observou-se nos mapas de 1990 e 2002 várias alterações nas classes de uso e cobertura da terra para a área de estudo, o que mostra a dinâmica das atividades antrópicas, podendo influenciar de maneira diferenciada na qualidade da água ao longo do tempo.

6.2.3 Produtividade agrícola de 1990 a 2002 como indicativo da dinâmica do uso e cobertura da terra

A partir dos dados de área plantada (ha) para culturas temporárias e permanentes do PAM (Produtividade Agrícola Municipal), IBGE (2004), foi possível analisar a variação destas culturas nos municípios com mais de 70% de sua área pertencentes à bacia estudada, de 1990 a 2002. Os dados de área plantada obtidos para culturas permanentes e temporárias foram organizados em tabelas (anexo 3). Foram gerados gráficos (figuras 30, 31 e 32) com o somatório anual das áreas plantadas (culturas permanentes e temporárias) nos municípios, no período de 1990 a 2002. Também foi calculada a média (M), desvio padrão (SD), média mais desvio padrão (M+SD) e média menos desvio padrão (M-SD) para ambas as culturas (tabela 15).

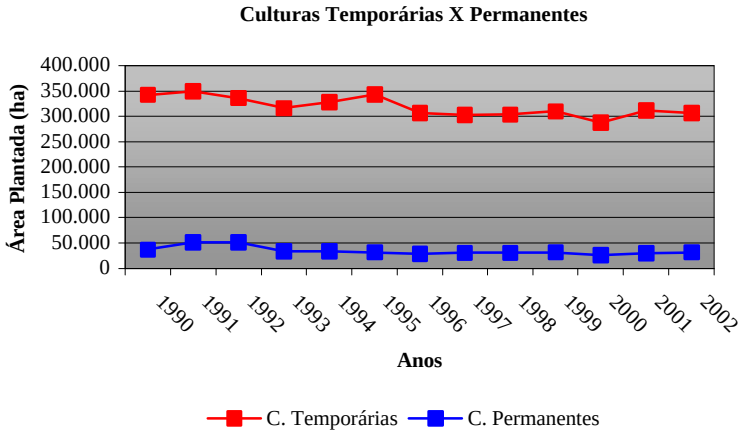
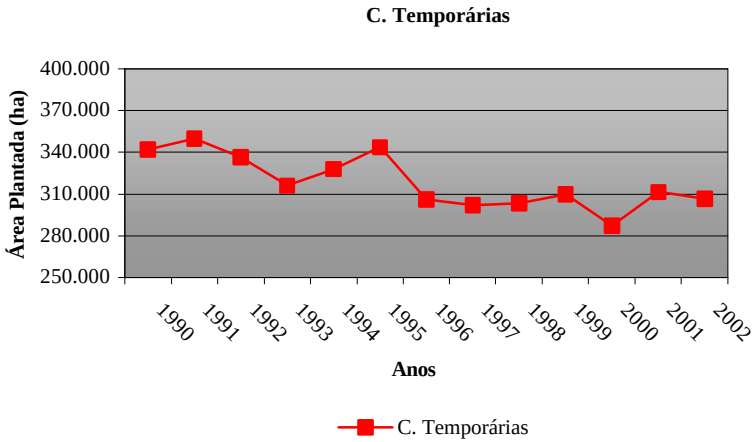
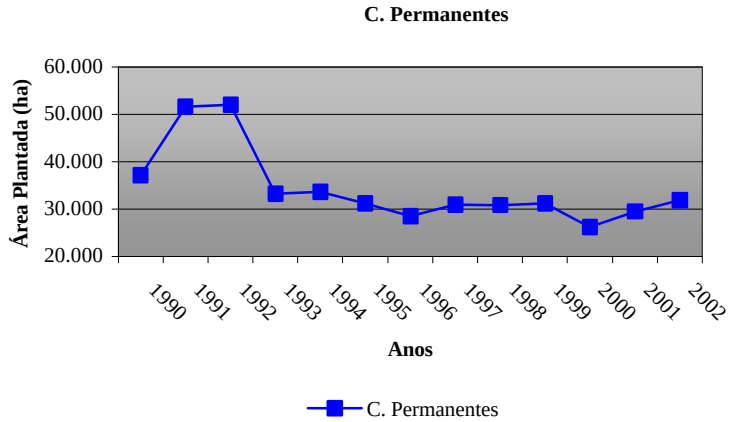


Tabela 15: Estatística para as culturas temporárias e permanentes.

	C. Temp.	C. Perm.
Média	318.513	34.499
SD	19.315	8.106
M+SD	337.828	42.605
M-SD	299.197	26.393





Figuras 30 (esquerda acima), 31 (direita acima) e 32 (direita abaixo): Área plantada de culturas permanentes e temporárias, área plantada de culturas temporárias e área plantada de culturas permanentes, respectivamente.

A figura 30 mostra que as áreas com culturas temporárias são explicitamente muito superiores às áreas com culturas permanentes, predominantemente devido à cana-de-açúcar, e que ambas apresentam uma tendência à redução, no período estudado, apesar dos resultados obtidos para a classe culturas temporárias dos mapas de uso e cobertura da terra (em anexo) mostrarem o contrário. Todavia, há de se considerar mais uma vez que a classe culturas temporárias adotada nos mapas de uso e cobertura da terra não abrange a cana-de-açúcar intensiva, como faz o IBGE (2004).

Finalmente, verifica-se uma oscilação nítida ao longo do tempo em ambos os casos, apresentando desvios padrões de 19.315 e 8.106 para as culturas temporárias e permanentes, respectivamente (tabela 18).

Observou-se um fato interessante relacionado às culturas permanentes (anexo 3 e figura 32). Em 1991 verificou-se uma elevação brusca na área plantada com relação ao ano anterior, se mantendo em 1992. Porém, em 1993 ocorreu uma queda também brusca, proporcional à elevação. Segundo Carlos Alberto Lauria – IBGE (informação verbal) no ano de 1991 foi plantada uma área bastante extensa de cultura de laranja no município de Indaiatuba, sendo um projeto da Empresa Votorantim Papel e Celulose. No entanto, esta cultura apresentou problemas, sendo abandonada posteriormente.

Fazendo um somatório das áreas plantadas em todo o período, para cada município (anexo 3), tem-se que os municípios com maior somatório de áreas plantadas (acima de 20.000 ha) para culturas permanentes são: Capela do Alto, Indaiatuba, Jundiaí, Porto Feliz, Rio Claro, Piracicaba, Rio das Pedras e São Pedro ao passo que os municípios com maior somatório de áreas plantadas (acima de 150.000 ha) de culturas temporárias são: Capivari, Piracicaba, Porto Feliz, Monte Mor, Rio Claro e Tatuí. Entretanto, ao se considerar apenas os anos de 1990 e 2002, observa-se que destes municípios, apenas Capela do Alto, Porto Feliz e Rio Claro se mantêm na liderança no caso de culturas permanentes (acima de 2000 ha por ano) e Capivari e Piracicaba no caso de culturas anuais (acima de 15.000 ha por ano).

Sobretudo, percebeu-se uma intensa dinâmica com relação a essas duas classes de uso da terra nas diversas formas de análise, tanto espacial como temporalmente, o que não se diferencia das outras classes não analisadas neste item, mas contempladas nos mapas de uso e cobertura da terra de 1990 e 2002 (em anexo). Esta dinâmica encontra-se relacionada a fatores naturais como a precipitação, as pragas, a aptidão agrícola das terras, assim como a fatores antrópicos como o preço de mercado interno e

externo, a situação econômica do país, os subsídios financeiros à agropecuária, o acesso à tecnologia, a disponibilidade de mão-de-obra, o nível de dificuldade na comercialização do produto, o tipo de manejo que se faz da terra, dentre outros.

E, conseqüentemente, esta dinâmica no uso e cobertura da terra, da bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita, está diretamente relacionada ao processo de transporte e deposição de sedimentos e poluentes no mesmo corpo d'água, pois vai determinar a intensidade dos processos erosivos, da permeabilidade da bacia, da aplicação de defensivos agrícolas, da redução da vegetação natural, da conservação do solo e das margens dos rios e outros.

No trabalho de BORMANN *et al.* (1974), os autores apresentam uma equação para estimar o material particulado que é perdido, por ano, por unidade de área. A equação aplicada à bacia preservada apresentou o resultado estimado, próximo ao resultado medido. Para a área alterada, o valor medido foi muito maior do que o estimado. Os autores consideraram que a diferença entre o estimado e o medido consiste exatamente nas perdas atribuídas ao aumento de erodibilidade.

Desta forma, percebe-se a importância do planejamento da ocupação das terras, bem como a adoção de técnicas de manejo adequado do solo e da água, da conservação dos pequenos remanescentes de vegetação natural existentes, da recuperação de matas ciliares e de políticas públicas que incentivem o gerenciamento dos recursos hídricos em nível de bacias hidrográficas de forma integrada e participativa, como forma de reduzir as fontes pontuais e difusas de poluição, assegurando melhor qualidade aos recursos hídricos.

6.2.4 Identificação de fontes de poluição da água nas proximidades do reservatório de Barra Bonita

Foi realizado um trabalho de verificação terrestre em 98 pontos da bacia de estudo (figura 33), em agosto de 2002. Os pontos de amostragem concentraram-se, principalmente, em áreas onde ocorreram mais dúvidas no tocante ao uso e cobertura da terra, portanto, em regiões onde o uso se apresentava na imagem de satélite como mais intensivo e diversificado. Neste trabalho de verificação terrestre, bem como nas campanhas para coleta de água, realizadas em setembro e dezembro de 2002, foi possível observar, nas proximidades do reservatório de Barra Bonita, fontes e indicativos de poluição da água que serão descritos a seguir.

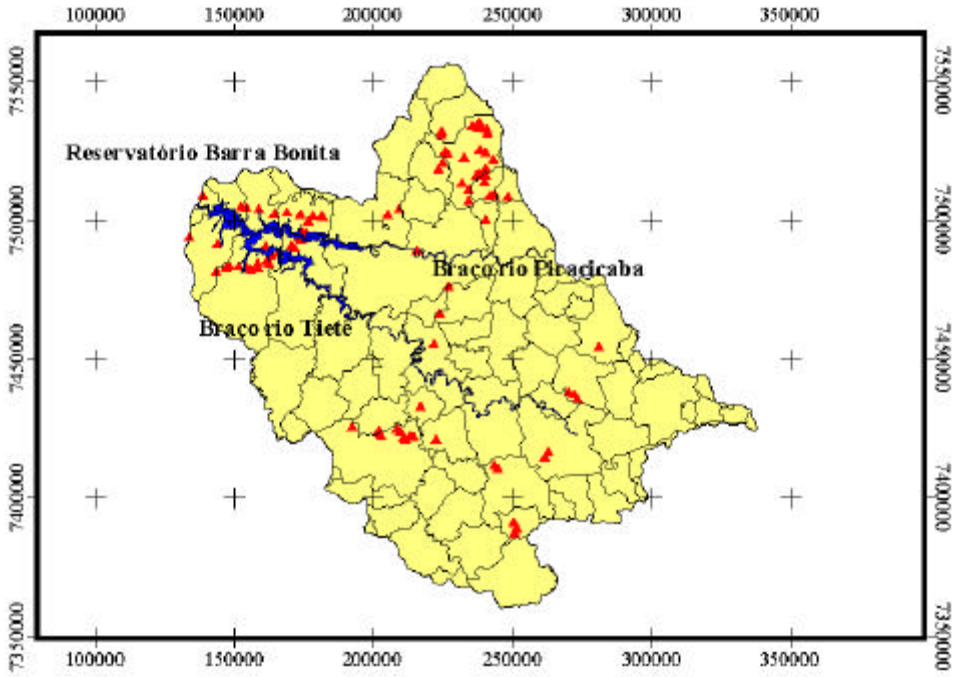


Figura 33: Mapa da localização dos pontos visitados no trabalho de verificação terrestre na bacia, apresentando a malha municipal e a drenagem principal.

Foram observados vários locais de explotação de areia tanto às margens do reservatório de Barra Bonita quanto às margens de seus afluentes (figura 34). Geralmente esta atividade é realizada sem os devidos cuidados exigidos pela legislação, havendo destruição de vegetação ciliar, depósitos de areia em locais inadequados, sendo esta transportada nas estações chuvosas até o reservatório, provocando o seu assoreamento e comprometendo sua capacidade de armazenamento.

Além da areia, foram identificados vários locais, ao longo da bacia estudada, de explotação de argila, calcário, entre outros. Essas áreas são extensas, provocando a destruição da vegetação natural, sem sinais de trabalhos de recuperação de áreas degradadas (figura 35). Essas áreas, com o solo totalmente exposto, são grandes fontes potenciais de sedimentos, os quais ao serem transportados, via escoamento superficial até os corpos d'água, causam assoreamento e degradação da qualidade da água.

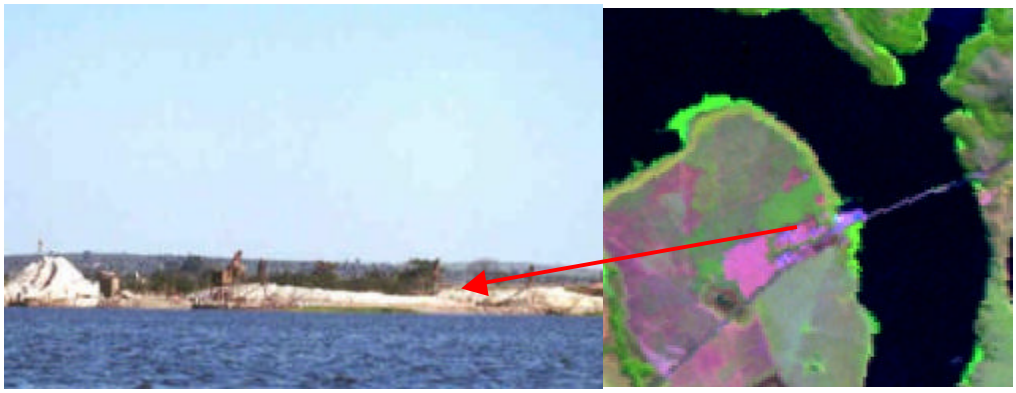


Figura 34: Exploração de areia às margens do reservatório de Barra Bonita.
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002 e trecho da imagem do Landsat 7, 2002.

Figura 35: Área degradada devido à mineração.
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002

Processos erosivos com início de formação de voçorocas, em áreas de pastagens degradadas, foram também observados na bacia estudada (figura 36). Como a pastagem é um dos principais usos da bacia, se essa não for bem manejada, haverá um grande potencial na exportação de sedimentos e nutrientes dos solos até os rios e desses para o reservatório de Barra Bonita. Para agravar a situação, grande parte das margens deste reservatório é utilizada como pastagens, estando essas em contato direto com a água, pois o reflorestamento de matas ciliares não ocorreu a partir da construção do reservatório. Sendo assim, existe também o risco de entrada no reservatório de dejetos gerados pelo rebanho bovino, bem como de nutrientes resultantes da aplicação de herbicidas e fertilizantes nas pastagens, o que pode contribuir ainda mais para o processo de eutrofização.

Figura 36: Processo erosivo com início de voçorocamento, em áreas de pastagens degradadas.
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002

Ainda, devido à ausência de mata ciliar, foram observados, às margens do reservatório, vários desmoronamentos (figura 37) em áreas de pastagens, levando grandes quantidades de sedimento para dentro do mesmo.

Figura 37: Processo erosivo com início de desmoronamento das margens do reservatório, em áreas de pastagens.
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002.

No trabalho de verificação terrestre foi observado o desmatamento de uma área de eucalipto na borda do Horto de Camacuã (município de Rio Claro) (figura 38), local próximo a um assentamento de trabalhadores “sem terras”. Esta atividade demonstra o quão suscetíveis se encontram ainda as áreas de preservação ambiental no Brasil.

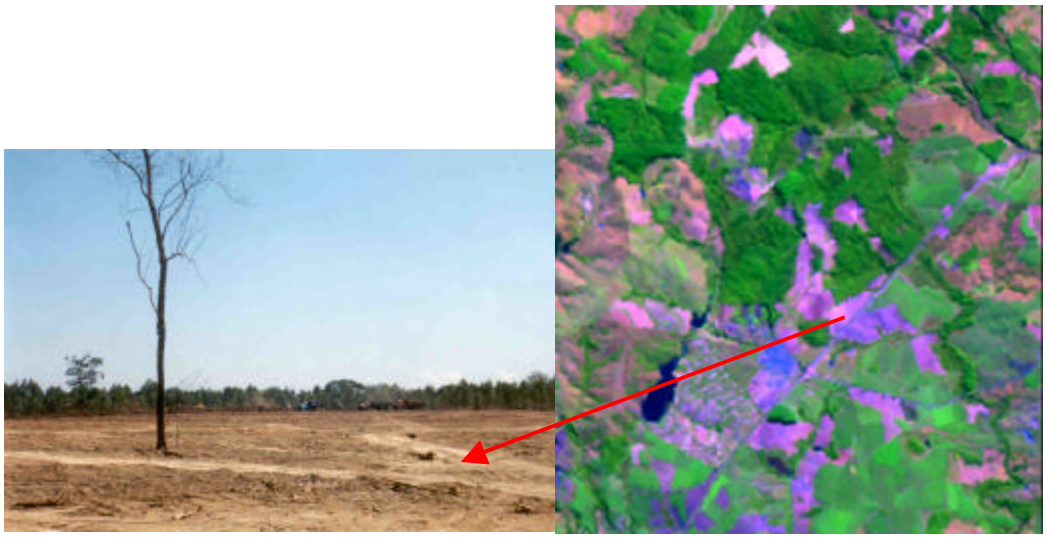


Figura 38: Desmatamento às margens do Horto de Camacuã (Rio Claro).
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002 e trecho da imagem do Landsat 7, 2002.

Um outro uso bastante freqüente, às margens do reservatório, é o cultivo da cana-de-açúcar, não havendo mata ciliar, como pode ser observado na figura 39. O solo exposto em épocas de preparo para o plantio é transportado rapidamente para o reservatório em situações de chuva, quando não se aplica os manejos adequados do mesmo.

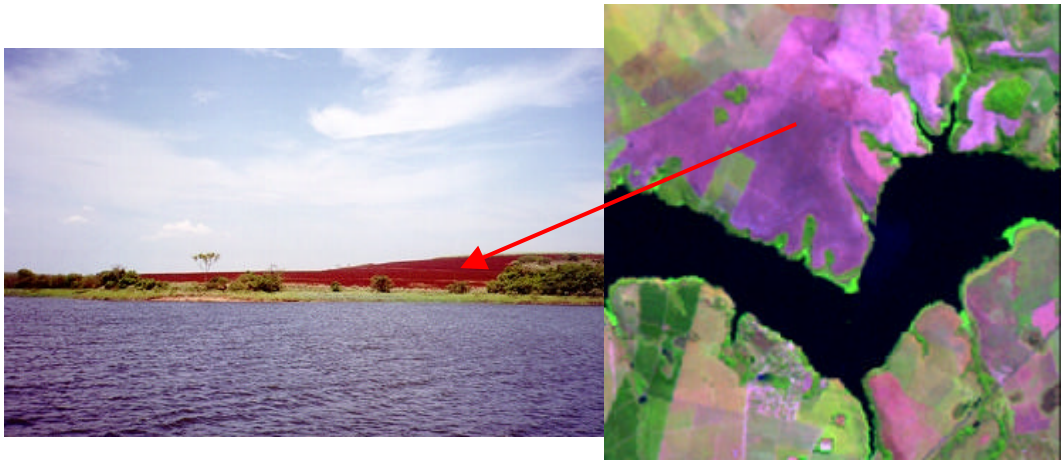


Figura 39: Solo exposto no plantio da cana-de-açúcar, às margens do reservatório de Barra Bonita.
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002 e trecho da imagem do Landsat 7, 2002.

Com relação à cana-de-açúcar, nas proximidades do reservatório, no município de Barra Bonita, fica instalada a Usina da Barra, uma das maiores da América Latina em produção de álcool. O vinhoto produzido na usina é transportado ainda quente por um sistema de canais até o canavial, onde é lançado na cultura (fertirrigação) (figura 40). Segundo PLANALSUCAR (1981), para cada litro de álcool produzido, são produzidos em média 13 litros de vinhoto. Dos componentes mais importantes de tal

resíduo, além de DBO elevada, sobressaem potássio, cálcio, enxofre, nitrogênio e magnésio. Parte dos nutrientes aí contidos é absorvida pela planta, porém, grande parte fica retida no solo, sendo transportada até os corpos d'água no período chuvoso.

Figura 40: Canais para o transporte de vinhoto das usinas sucro-alcooleiras até os canaviais.

Além das fontes difusas de poluição às margens do reservatório, são consideráveis também as fontes pontuais. No entorno do mesmo estão instalados clubes, hotéis e condomínios de casas de veraneio (figura 41), sem contar as cidades próximas (por exemplo, Santa Maria da Serra), cujo esgoto produzido é lançado *in natura* em um dos afluentes do reservatório de Barra Bonita, contribuindo também para o aumento do processo de eutrofização e, portanto, para a degradação da qualidade da água.

Também foram observados resíduos sólidos depositados às margens dos braços do reservatório em questão, no período de estiagem, quando o nível da água fica mais baixo, principalmente no braço do Tietê, comprovando que os resíduos sólidos lançados na água nos grandes centros urbanos são transportados até este reservatório, sendo aí depositados.

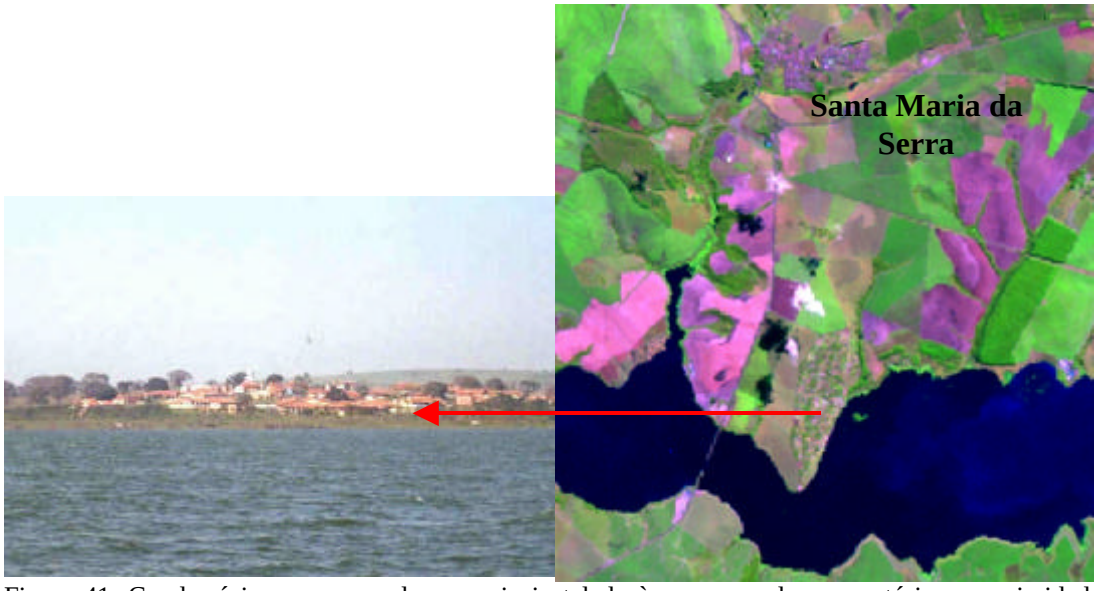


Figura 41: Condomínio com casas de veraneio instalado às margens do reservatório e proximidade do mesmo de cidades.
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002 e trecho da imagem do Landsat 7, 2002.

Como conseqüência da entrada de nutrientes e do processo de eutrofização do reservatório de Barra Bonita, grandes bancos de macrófitas (figura 42) foram observados, essencialmente nos seus "braços", em trechos de curva, onde ocorre deposição de sedimentos e a velocidade da água é reduzida. Quanto à presença e proliferação destas plantas em reservatórios, torna-se necessário um manejo adequado da companhia que o administra, com remoção periódica, para que não haja ainda um comprometimento das estruturas da usina hidrelétrica e da geração de energia (LOPES-FERREIRA, 2000).

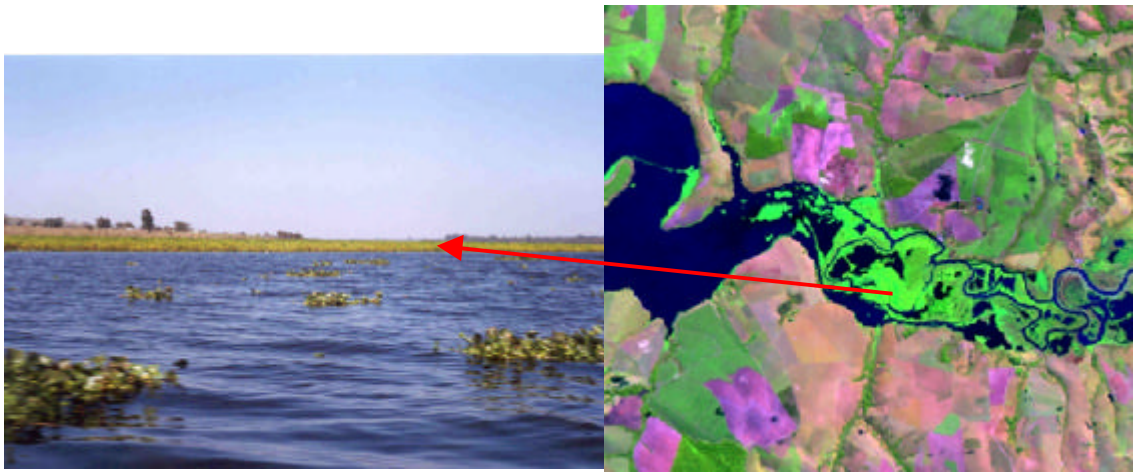


Figura 42: Banco de macrófitas aquáticas no reservatório de Barra Bonita ("braço" Piracicaba).
Foto: Rachel Bardy Prado, 2002 e trecho da imagem do Landsat 7, 2002.

6.3 Modelagem do potencial poluidor: ponderação e integração de fatores fisiográficos e antrópicos da bacia hidrográfica de estudo

Pressupõe-se que cada sub-bacia da área de estudo, esteja contribuindo em diferentes intensidades, para o transporte de poluentes, por meio do escoamento superficial, subsuperficial e dos rios, sendo estes poluentes depositados no reservatório de Barra Bonita, que fica na parte mais baixa da bacia. Este fato ocorre devido às características naturais de cada sub-bacia serem diferentes, bem como à dinâmica do uso e cobertura da terra. Buscando classificar estas sub-bacias quanto ao seu potencial poluidor, foi realizado um exercício de ponderação dos temas com suas respectivas classes e de integração dos mesmos por meio de álgebra de mapas.

6.3.1 Resultado da ponderação das classes para cada tema

Para cada tema a seguir foi realizada uma ponderação das classes sendo apresentadas na forma de tabelas, com as suas respectivas características, níveis de contribuição e pesos (conforme descrito no item materiais e métodos).

A partir da ponderação, utilizando o LEGAL do Spring 3.6, foi atribuído um único valor de contribuição para cada sub-bacia, aplicando uma "Média Zonal" das classes e, em seguida, foi feito um "fatiamento" para que cada sub-bacia recebesse um valor de 1 a 5. Os resultados para cada tema encontram-se na forma de mapas, sendo apresentados juntamente para facilitar a comparação visual dos temas (figuras de 43 a 49).

- ***Uso e cobertura da terra***

Nesta fase do trabalho foi utilizado o mapa de uso e cobertura da terra de 2002 (em anexo). A tabela 16 mostra as suas classes, bem como suas características, níveis de contribuição e seus respectivos pesos.

Tabela 16: Ponderação das classes de uso e cobertura da terra quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita.

Classes de uso e cobertura	Características	Nível de contribuição	Peso
Remanescente de vegetação natural	A vegetação natural proporciona maior infiltração da água evitando erosões, uma maior biodiversidade do solo e retenção de nutrientes evitando o seu carreamento até os corpos d'água, além de outros benefícios ao solo e à água.	Muito baixo	P1
Reflorestamento e cultura permanente	Apesar de não haver a contribuição pela diversidade das espécies, são árvores de porte significativo e permanentes, trazendo alguns benefícios ao solo e à água, quando cultivadas de forma adequada.	Baixo	P2
Cultura temporária	Solo exposto em parte do ano, vegetação de pequeno porte que não facilita a infiltração e nem segura o solo, propiciando um escoamento superficial significativo e até processos erosivos, principalmente, quando o cultivo e manejo agrícola são inadequados.	Médio	P3
Macrófita aquática	Uma vez mortas aceleram o processo de eutrofização, contribuindo para a degradação da água.	Médio	P3
Cana-de-açúcar	O solo fica exposto em parte do ano favorecendo os processos erosivos e para agravar a situação trata-se de uma monocultura na região de estudo, onde a quantidade de agroquímicos aplicada é considerável, bem como o lançamento do vinhoto gerando muitos resíduos que atingem os corpos d'água.	Alto	P4
Campo/pastagem	São plantas monocotiledôneas como a cana-de-açúcar não oferecendo muita proteção ao solo e as pastagens foram enquadradas nesta classe por ser uma atividade bastante intensa em certos trechos da bacia estudada, sendo muitas vezes mal manejadas, favorecendo processos erosivos, além do potencial dos agroquímicos aplicados.	Alto	P4
Nuvem e sombra	Estão cobrindo, essencialmente, regiões de campo/pastagem.	Alto	P4
Solo exposto	É a pior situação que se pode esperar, pois uma vez este solo exposto, iniciam-se os processos erosivos que vão causar dentre outros danos ambientais o assoreamento dos corpos d'água, bem como permitem um transporte livre de nutrientes por meio do escoamento superficial.	Muito alto	P5
Área urbana	Área geralmente impermeabilizada, facilitando o transporte de poluentes pelo escoamento superficial, bem como grande fonte de poluição pontual, visto que produz grande quantidade de resíduos industriais e domésticos que na sua maioria são lançados *in natura* nos corpos d'água, acelerando o processo de eutrofização.	Muito alto	P5
Corpo d'água	É exatamente a classe que está recebendo o impacto.	Nenhum	0

- ***Densidade de drenagem***

A densidade de drenagem é influenciada por outras características do meio como a geomorfologia, a geologia e a pedologia da área. Portanto, se no terreno predomina o arenito, vai haver uma maior taxa de infiltração da água, conseqüentemente, o escoamento superficial será reduzido, evitando maior dissecação do terreno e, finalmente, originando uma menor densidade de drenagem. Na situação inversa em que predomina o argilito, a infiltração da água será menor, causando um aumento no escoamento superficial, que terá maior influência na dissecação do terreno, dando origem a uma maior densidade de drenagem.

Observou-se que a densidade de drenagem da bacia estudada é bastante alta, o que provavelmente deve estar corroborando para um aumento do transporte de poluentes ao longo dos principais rios e seus afluentes até o reservatório de Barra Bonita, seja em solução ou em suspensão na água.

Foram obtidos cinco intervalos de densidade de drenagem permitindo que as bacias fossem classificadas entre 1 a 5 quanto ao seu potencial de contribuição para o processo de eutrofização do reservatório. A tabela 17 mostra os intervalos obtidos, bem como os níveis de contribuição e seus respectivos pesos.

Tabela 17: Ponderação dos intervalos de densidade de drenagem quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita.

Intervalos de densidade de drenagem (m/m^2)	**Nível de contribuição**	**Peso**
0-0,0002056	Muito baixo	P1
0,0002056-0,0004042	Baixo	P2
0,0004042-0,0006028	Médio	P3
0,0006028-0,0008014	Alto	P4
0,0008014-0,001	Muito alto	P5
Drenagem	Nenhum	0

- ***Distância das sub-bacias ao reservatório***

A distância das sub-bacias ao reservatório é uma característica importante a ser considerada neste estudo, visto que as fontes de poluição, sejam pontuais ou difusas, quanto mais próximas tiverem do corpo d'água, maior será a probabilidade de atingirem o mesmo. A distância também controla a probabilidade do poluente ser dissipado pelo sistema, considerando a capacidade dos afluentes de se depurarem devido à oxigenação natural ao longo da distância percorrida. A tabela 18 mostra os intervalos obtidos, bem como os níveis de contribuição e seus respectivos pesos.

Tabela 18: Ponderação dos intervalos de distância ao reservatório quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita.

Intervalos de distância ao reservatório (m)	**Nível de contribuição**	**Peso**
88.800-111.000	Muito baixo	P1
66.600-88.800	Baixo	P2
44.400-66.600	Médio	P3
22.200-44.400	Alto	P4
0-22.200	Muito alto	P5
Drenagem	Nenhum	0

- ***Pedologia***

A ponderação das classes de solos foi realizada com auxílio de um pedólogo do Centro Nacional de Pesquisas em Solos (CNPS) - Embrapa - RJ, de forma criteriosa, conforme foi descrito na metodologia. A tabela 19 mostra as classes pedológicas, bem como suas características, níveis de contribuição e seus respectivos pesos.

- ***Geologia***

A ponderação das classes geológicas foi realizada com auxílio de uma geóloga do Departamento de Recursos Minerais (DRM) - RJ, conforme foi descrito na metodologia. A tabela 20 mostra as classes geológicas, bem como suas características, níveis de contribuição e seus respectivos pesos.

- ***Geomorfologia***

A ponderação das classes geomorfológicas foi realizada com auxílio de um geomorfólogo da Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM) - RJ, de forma criteriosa, conforme foi descrito na metodologia. A tabela 21 mostra as classes geomorfológicas, bem como suas características, níveis de contribuição e seus respectivos pesos.

Tabela 19: Ponderação das classes de solos quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita, de acordo com suas características.

Classes de Solos	Características	Nível de Contribuição	Peso
Argissolo	Compreende solos minerais não-hidromórficos, profundos, bem a acentuadamente drenado, com horizonte A ou E seguidos de horizonte B textural, com argila de atividade baixa. Alta susceptibilidade à erosão pluvial; alta capacidade de lixiviação e percolação lateral; baixa capacidade de adsorção catiônica.	Muito Alto	5
Latossolo	Compreende solos minerais não-hidromórficos, muito profundos, bem a acentuadamente drenados, com seqüência A-Bw-C. Baixa susceptibilidade à erosão pluvial; muito alta capacidade de lixiviação; muito baixa capacidade de adsorção catiônica.	Alto	4
Chernossolo	Compreende solos minerais não-hidromórficos, pouco profundos, com A chernozênico seguido de horizontes B incipiente, textural, nítico com argila de atividade alta e saturação por bases alta. Média susceptibilidade à erosão pluvial; alta capacidade de lixiviação e percolação lateral; muito alta capacidade de adsorção catiônica.	Baixo	2
Planossolo	Compreende solos minerais hidromórficos ou não, mal ou imperfeitamente drenados, com mudança textural abrupta entre horizonte A ou E e B textural. Alta susceptibilidade à erosão pluvial; baixa capacidade de lixiviação e percolação lateral; alta capacidade de adsorção catiônica.	Médio	3
Gleissolo	Compreende solos minerais hidromórficos, mal a muito mal drenados, com horizontes A ou H seguidos de horizonte glei. Muito baixa susceptibilidade à erosão pluvial; muito baixa capacidade de lixiviação; moderada a alta capacidade de adsorção catiônica.	Muito Baixo	1
Cambissolo	Compreende solos minerais não-hidromórficos, acentuada a imperfeitamente drenados, rasos a profundos com horizonte A seguido de horizonte B incipiente não plíntico. Média susceptibilidade à erosão; média capacidade de lixiviação e percolação lateral; média capacidade de adsorção catiônica.	Médio	3
Neossolo Flúvico/Quartzarê-nicos	Compreende solos minerais hidromórficos ou não, sem horizonte B diagnóstico.Baixa susceptibilidade à erosão pluvial; média capacidade de lixiviação; baixa capacidade de adsorção catiônica.	Médio	3
Neossolo Litólico	Compreende solos minerais não-hidromórficos de seqüência A ou O seguido de Cr ou assente diretamente sobre a rocha. Muito alta susceptibilidade à erosão pluvial; baixa capacidade de lixiviação; média capacidade de adsorção catiônica.	Muito Alto	5

Tabela 20: Ponderação das classes de geologia quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita.

Eras		Grupos	Classes Geológicas	Características segundo BISTRICHI *et al.* (1981)	Nível de Contribuição	Peso
CENOZÓICO			Sedimentos Aluvionais	Aluviões em geral, incluindo areias inconsolidadas de granulação variável, argilas e cascalheiras fluviais subordinadamente, em depósitos de calha e/ou terraços e vulneráveis à erosão fluvial.	Muito baixo	P1
			Formação Rio Claro	Arenitos, arenitos conglomeráticos, arenitos argilosos e pequenas intercalações argilosas.	Muito baixo	P1
			Formação Itaqueri	Predominantemente arenitos de cimento argiloso com lentes alongadas de folhelhos e conglomerados polimíticos.	Médio	P3
MESOZÓICO	BACIA DO PARANÁ	Bauru	Formação Marília	Arenitos de granulação fina e grossa, compreendendo bancos maciços com tênues estratificações cruzadas de médio porte, incluindo lentes e intercalações subordinadas de siltitos, argilitos e arenitos muito finos com estratificação plano-paralela e freqüentes níveis rudáceos. Presença comum de nódulos carbonáticos.	Baixo	P2
		São Bento	Formação Serra Geral e Rochas Intrusivas Básicas	Rochas vulcânicas toléiticas em derrames basálticos de coloração cinza a negra, textura afanítica com intercalações de arenitos intertrapeanos, finos a médios, de estratificação cruzada tangencial e esparsos níveis vitrofíricos não individualizados.	Alto	P4
			Formação Botucatu	Arenitos eólicos avermelhados de granulação fina a média com estratificações cruzadas de médio a grande porte; depósitos fluviais restritos de natureza areno-conglomerática e camadas localizadas de siltitos e argilitos lacustres.	Muito baixo	P1
			Formação Pirambóia	Depósitos fluviais e de planícies de inundação incluindo arenitos finos a médios, avermelhados, síltico-argilosos, de estratificação cruzada ou plano-pararela; níveis de folhelhos e arenitos argilosos de cores variadas e raras intercalações de natureza areno-conglomerática.	Médio	P3
PALEOZÒICO		Passa Dois	Formação Corumbataí	Depósitos possivelmente marinhos de planícies de maré, incluindo argilitos, folhelhos e siltitos cinza, arroxeados ou avermelhados, com intercalações de bancos carbonáticos, silexíticos, e camadas de arenitos finos.	Muito alto	P5
			Formação Teresina	Depósitos possivelmente marinhos e prodeltáicos, compreendendo folhelhos e argilitos cinza escuros a esverdeados ou avermelhados, finamente laminados, em alternância com siltitos cinza-claros e arenitos muito finos; presença de restritas lentes de calcários oolíticos e sílex.	Muito alto	P5
			Formação Serra Alta	Depósitos essencialmente marinhos incluindo siltitos, folhelhos e argilitos cinza-escuros a pretos com laminação plano-paralela.	Muito alto	P5
			Formação Irati	Siltitos, argilitos e folhelhos sílticos de cor cinza clara a escura, folhelhos pirobetuminosos, localmente em alternância rítmica com calcários creme, silicificados, e restritos níveis conglomeráticos; membro pelítico muito persistente na base.	Muito alto	P5
		Tubarão	Formação Tatuí	Depósitos marinhos com estratificação plano-paralela, predominando siltitos; arenitos finos em parte concrecionados, calcários, sílex; cor vermelha arroxeada na parte inferior e esverdeada na parte superior.	Alto	P4
			Formação Itararé	Depósitos glaciares continentais, glácio-marinhos, fluviais, deltáicos, lacustres e marinhos, compreendendo principalmente arenitos de granulação variada, imaturos, passando a arcósios; conglomerados, diamictitos, tilitos, folhelhos, ritmitos; raras camadas de carvão.	Baixo	P2
			Suites Graníticas Pós-tectônicas	Corpos graníticos epizoidais circunscritos de natureza intrusiva e discordante, desenvolvendo auréolas termometamórficas e associados a freqüentes veios e diques aplíticos e microgranítico s.	Muito baixo	P1
PRÉ-CAMBRIANO		São Roque	São Roque	Clorita xistos, quartzo-mica xistos a biotita e/ou muscovita, incluindo intercalações de metassiltitos, metagrauvacas, calcários dolomíticos, calcossilicatadas e filitos; filitos quatzo filitos e filitos grafitosos em sucessões rítmicas incluindo subordinadamente metassiltitos e quatzo xistos, micaxistos e quartzitos; quartzitos, quartizitos feldspáticos com metacórsios e metagravaucas subordinadas; calcários dolomíticos, calcíticos e *hornfels* calcossilicáticos em auréolas termo-metamórficas; metaconglomerados polimíticos e oligomíticos; anfibolitos, metagabros e epídoto anfibolitos; metadioritos e quartzo dioritos gnáissicos e migmatitos de estruturas variadas.	Alto	P4
			Complexo Amparo	Constituído por diversos conjuntos litológicos, tendo o principal deles ampla distribuição no domínio da unidade, incluindo gnaisses a biotita, hornblenda e granada com grau variável de migmatização, associados a migmatitos de estruturas diversas, com intercalações não individualizadas de quartzitos, xistos, anfibolitos, gonditos e metaultrabasitos.	Alto	P4
			Suítes Graníticas Indiferenciadas	Granitos e granitóides polidiapíricos com predominância de termos porfiríticos com granulações variadas.	Alto	P4
			Suítes Graníticas Sintectônicas	Constituem a maior parte do magmatismo granitóide do embasamento paulista, tendo sua distribuição uma dispersão bastante ampla nos vários compartimentos tectônicos. Incluem as facies Migmatítica e Cantareira.	Alto	P4

Tabela 21: Ponderação das classes de relevo quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita.

Unidades Geomorfológicas	Classes geomorfológicas	Características segundo PONÇANO *et al.*.(1981)	Nível de Contribuição	Peso
PLANALTO OCIDENTAL	Mesas Basálticas	Morros testemunhos isolados (peões e baús); topos aplainados e arredondados; vertentes com perfis retilíneos, muitas vezes com trechos escarpados e exposições de rocha; drenagem de média densidade, padrão pinulado e sub-paralelo e vales fechados.	Muito alto	P5
CUESTAS BASÁLTICAS	Encostas em Cânions Locais	Predominam declividades altas (acima de 30%) e amplitudes maiores que 100m; vertentes com perfis retilíneos a convexos, com trechos escarpados; drenagem de média densidade, padrão pinulado, vales fechados, localmente formando cânions e vales principais com fundos chatos.	Muito alto	P5
	Escarpas Festonadas	Predominam declividades altas (acima de 30%) e amplitudes maiores que 100 metros; desfeitas em anfiteatros separados por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos; drenagem de alta densidade, padrão sub-paralelo a dendrítico e vales fechados.	Muito alto	P5
DEPRESSÃO PERIFÉRICA	Planícies Aluviais	Terrenos baixos e mais ou menos planos, junto às margens dos rios, sujeitos periodicamente a inundações, o relevo não favorece processos erosivos pluviais, porém, pode ocorrer erosão fluvial, dependendo do uso e cobertura da terra destas áreas.	Muito baixo	P1
	Tabuleiros	Predominam baixas declividades (até 15%) e amplitudes locais inferiores a 100m; constituem interflúvios extensos e aplainaidos, vertentes ravinadas de pequena expressão em área com perfis retilíneos de alta declividade; drenagem de baixa densidade e vales abertos.	Muito baixo	P1
	Colinas Amplas	Predominam baixas declividades (até 15%) e amplitudes locais inferiores a 100m; interflúvios com área superior a 4 km^2, topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos; drenagem de baixa densidade, padrão sub-dendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas e presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.	Muito baixo	P1
	Colinas Médias	Predominam baixas declividades (até 15%) e amplitudes locais inferiores a 100m; interflúvios com áreas de 1 a 4 km^2, topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos; drenagem de média a baixa-densidade, padrão sub-retangular, vales abertos a fechados, planícies aluviais interiores restritas e presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.	Baixo	P2
	Morrotes Alongados e Espigões	Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais inferiores a 100m; predominam interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos a achatados, vertentes ravinadas com perfis retilíneos; drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico e vales fechados.	Médio	P3
	Morros Arredondados	Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais de 100 a 300m; topos arredondados e localmente achatados, vertentes com perfis convexos e retilíneos, localmente ravinados; exposições locais de rocha; presença de espigões curtos locais; drenagem de média densidade, padrão dendrítico a sub-dendrítico e vales fechados.	Médio	P3
PLANALTO ATLÂNTICO	Morrotes Alongados e Paralelos	Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais inferiores a 100m; topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos a convexos; drenagem de alta densidade, padrão paralelo a treliça e vales fechados.	Médio	P3
	Morros de Topos Achatados	Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais de 100 a 300m; topos achatados e extensos, vertentes com perfis retilíneos a convexos; drenagem de média densidade, padrão sub-paralelo e vales fechados.	Médio	P3
	Mar de Morros	Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais de 100 a 300m; topos arredondados, vertentes com perfis convexos a retilíneos; drenagem de alta densidade, padrão dendrítico a retangular, vales abertos a fechados, planícies aluvionares interiores desenvolvidas; constitui geralmente um conjunto de formas em “meia laranja”.	Alto	P4
	Morros Paralelos	Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais de 100 a 300m; topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos a convexos; drenagem com densidade alta, padrão em treliça e localmente sub-dendrítica, vales fechados a abertos e planícies aluvionares inferiores restritas.	Alto	P4
	Morros com Serras Restritas	Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais de 100 a 300m; morros de topos arredondados vertentes com perfis retilíneos, por vezes abruptas, presença de serras restritas; drenagem de alta densidade, padrão dendrítico a pinulado, vales fechados e planícies aluvionares interiores restritas.	Muito alto	P5
	Serras Alongadas	Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais acima de 300m; topos angulosos, vertentes ravinadas com perfis retilíneos, por vezes abruptas; drenagem de alta densidade, padrão dendrítico, vales fechados; podem ocorrer isoladas nas planícies costeiras.	Muito alto	P5

- ***Coeficiente de variação de pluviosidade***

Este tema também tem fundamental importância no presente estudo, visto que o transporte de poluentes aos corpos d'água ocorre pelo escoamento superficial provocado pelas chuvas. Dependendo da intensidade e duração das chuvas, este processo pode ser mais ou menos intensificado, principalmente associando-o ao uso e cobertura da terra. Por exemplo, se uma determinada área foi arada e adubada para o plantio e em seguida ocorreu uma chuva intensa, tanto os nutrientes como os sedimentos serão levados por meio do escoamento superficial para os cursos d'água, interferindo na qualidade de sua água. A tabela 22 mostra os intervalos do coeficiente de variação de pluviosidade, bem como os níveis de contribuição e seus respectivos pesos.

Tabela 22: Ponderação dos intervalos do coeficiente de variação de pluviosidade quanto à sua contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita.

Intervalos do coeficiente de variação de pluviosidade	Nível de contribuição	Peso
0-0,704	Muito baixo	P1
0,704-0,728	Baixo	P2
0,728-0,752	Médio	P3
0,752-0,776	Alto	P4
0,776-0,80	Muito alto	P5
Drenagem	Nenhum	0

Na seqüência serão apresentados então os mapas temáticos com suas classes ponderadas de 1 a 5 para cada sub-bacia (figura 43 a 49), conforme o seu nível de contribuição para o fenômeno em questão. A partir da legenda torna-se possível a identificação e comparação dos diferentes níveis de contribuição das sub-bacias entre os sete temas considerados, sendo os mesmos ponderados e integrados, por sua vez, no próximo item.

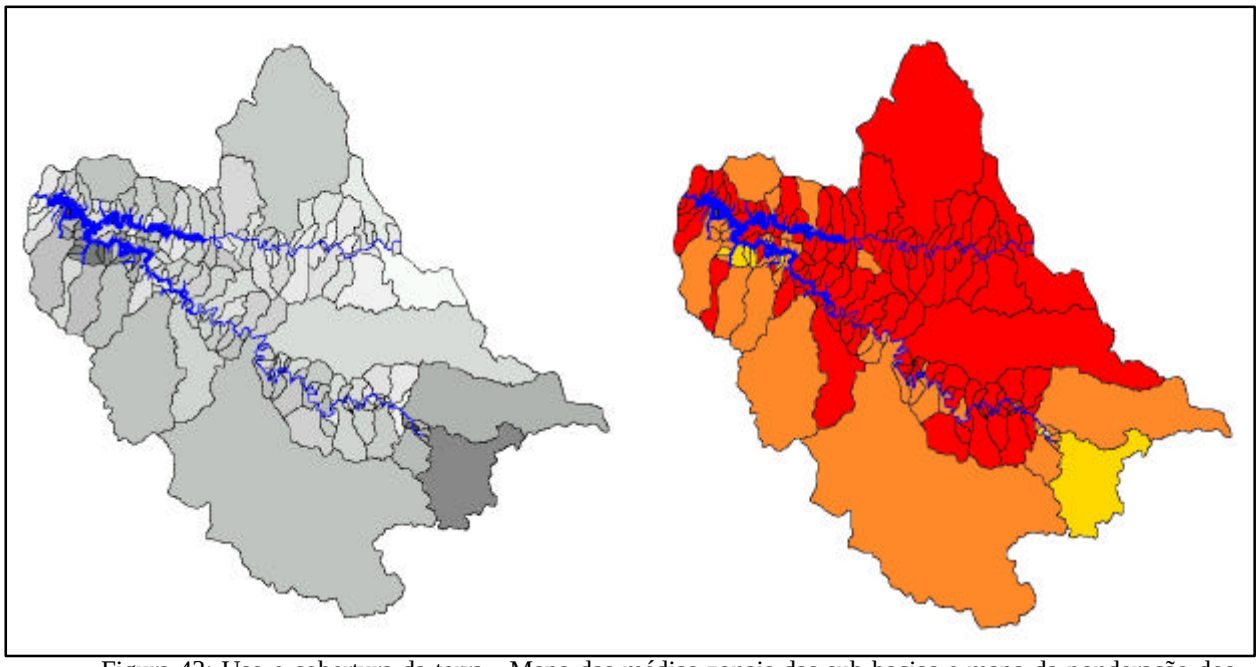
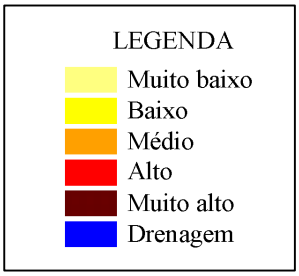


Figura 43: Uso e cobertura da terra - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5.



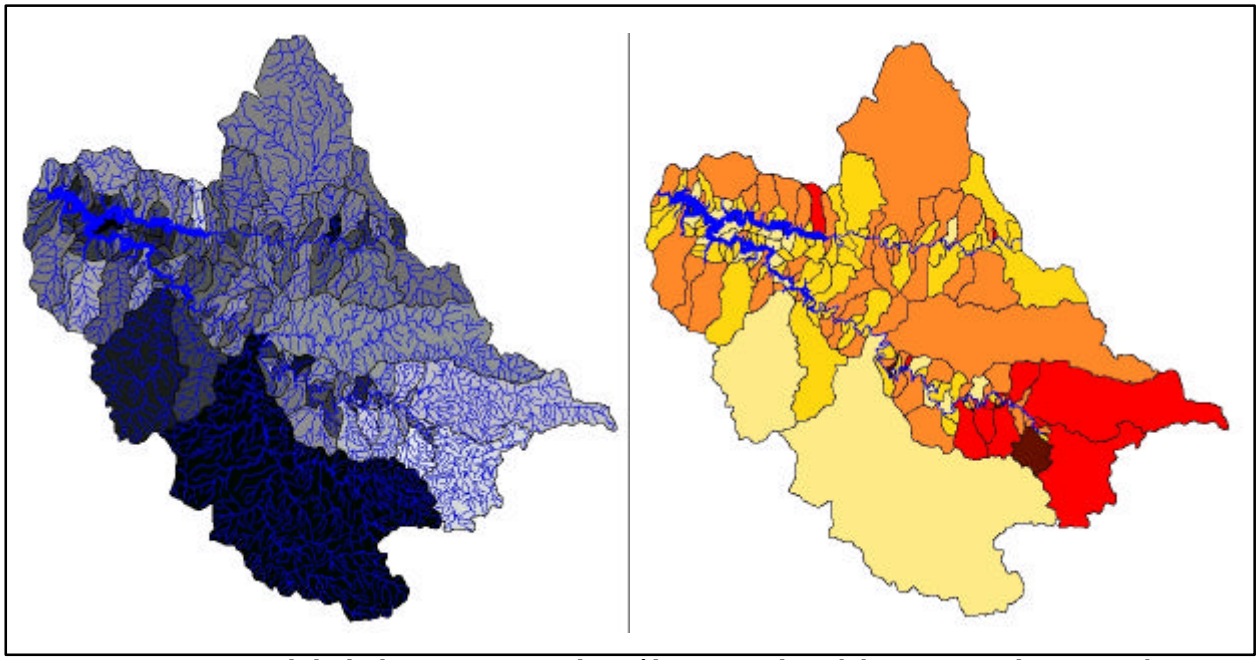


Figura 44: Densidade de drenagem - Mapa das médias zonais das sub-bacias com a drenagem sobreposta e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5.

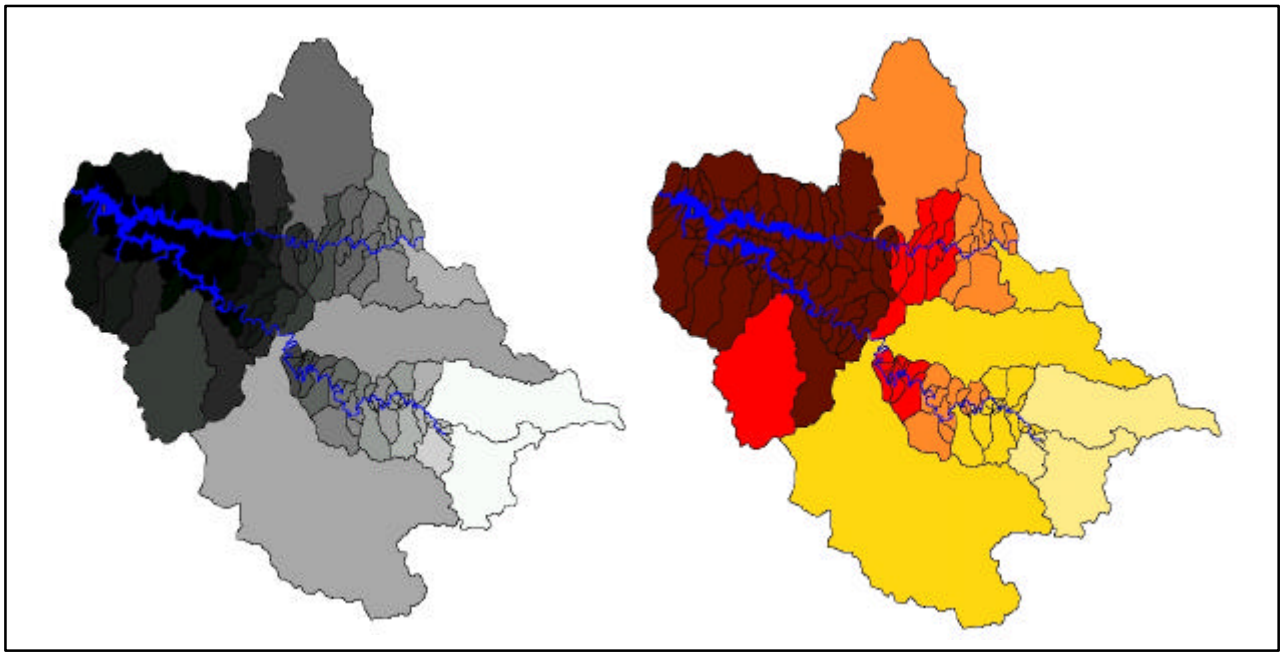
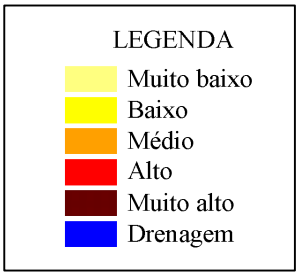


Figura 45: Distância das sub-bacias ao reservatório - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5.



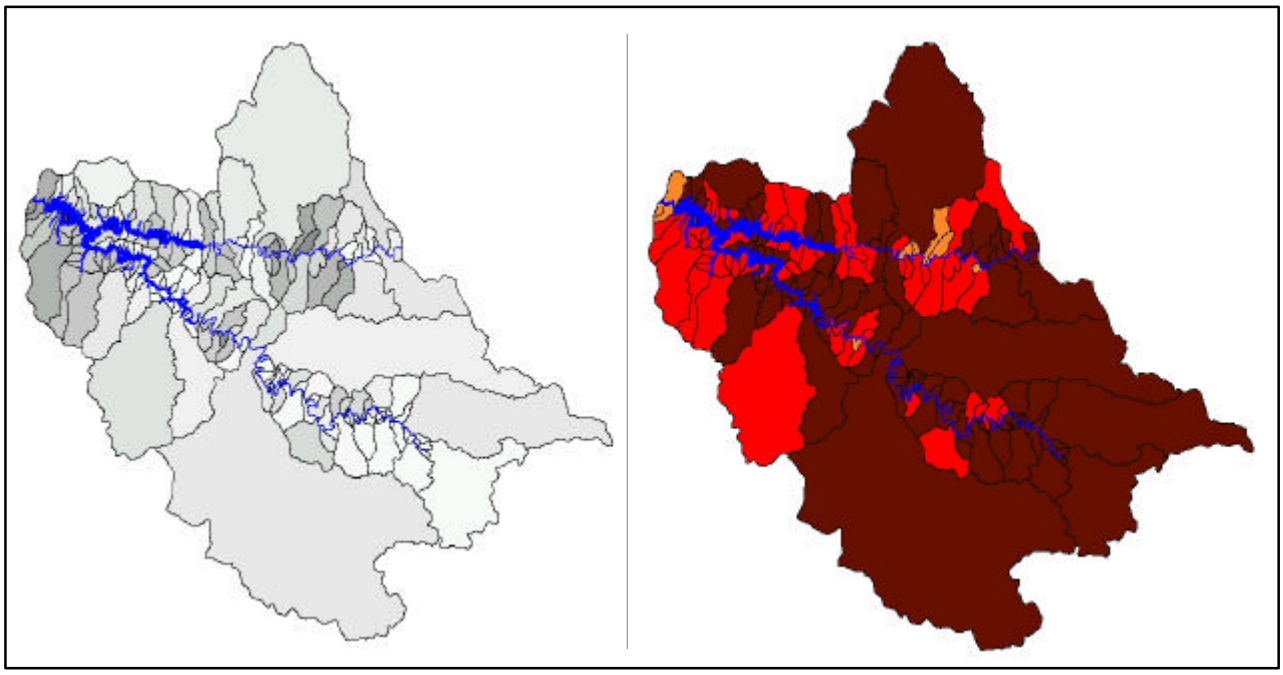


Figura 46: Pedologia - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5.

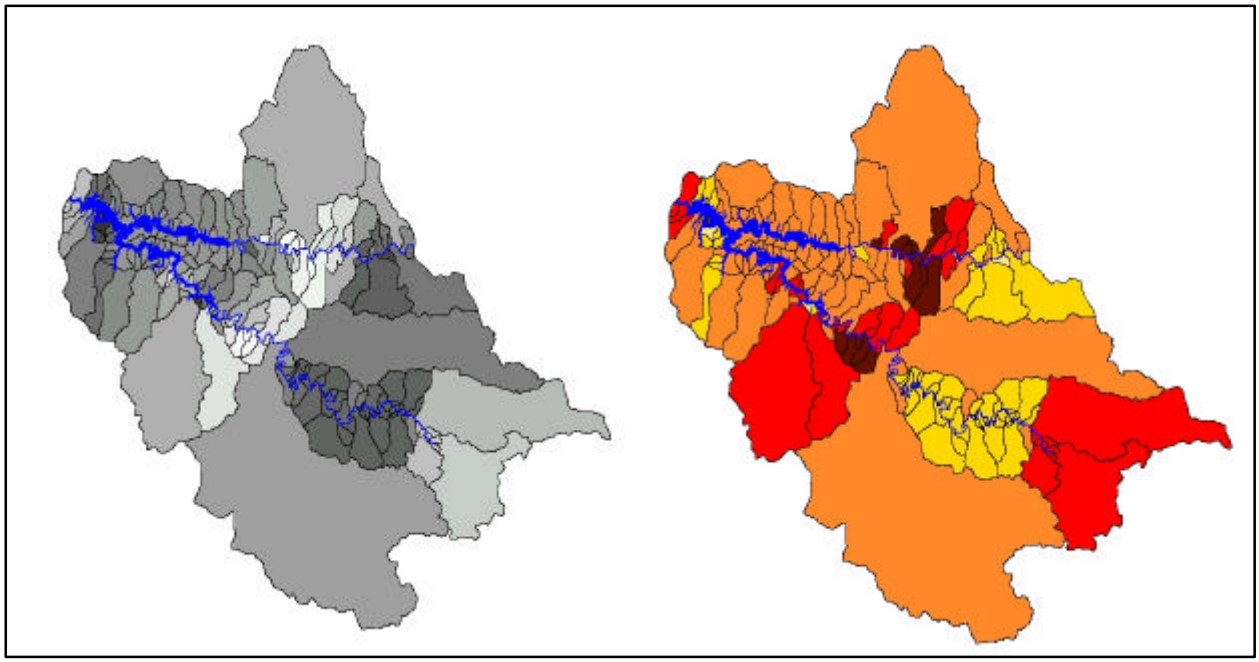
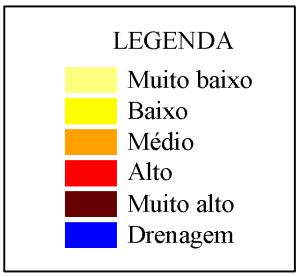


Figura 47: Geologia - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5.



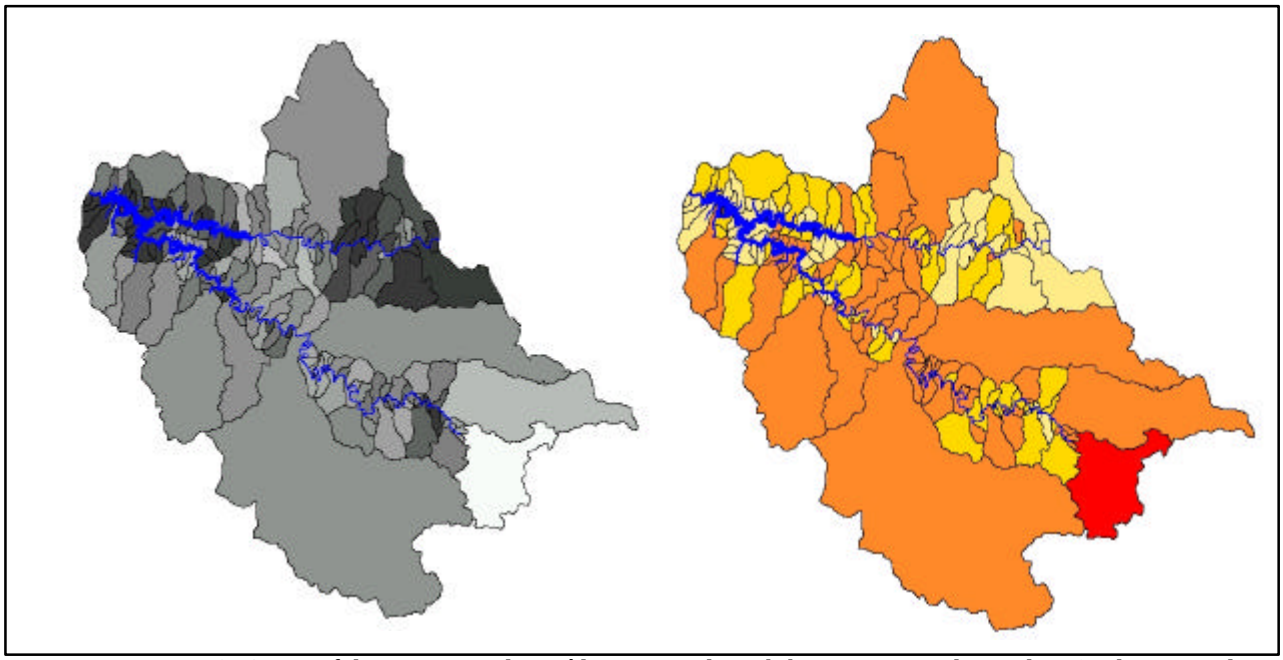


Figura 48: Geomorfologia - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5.

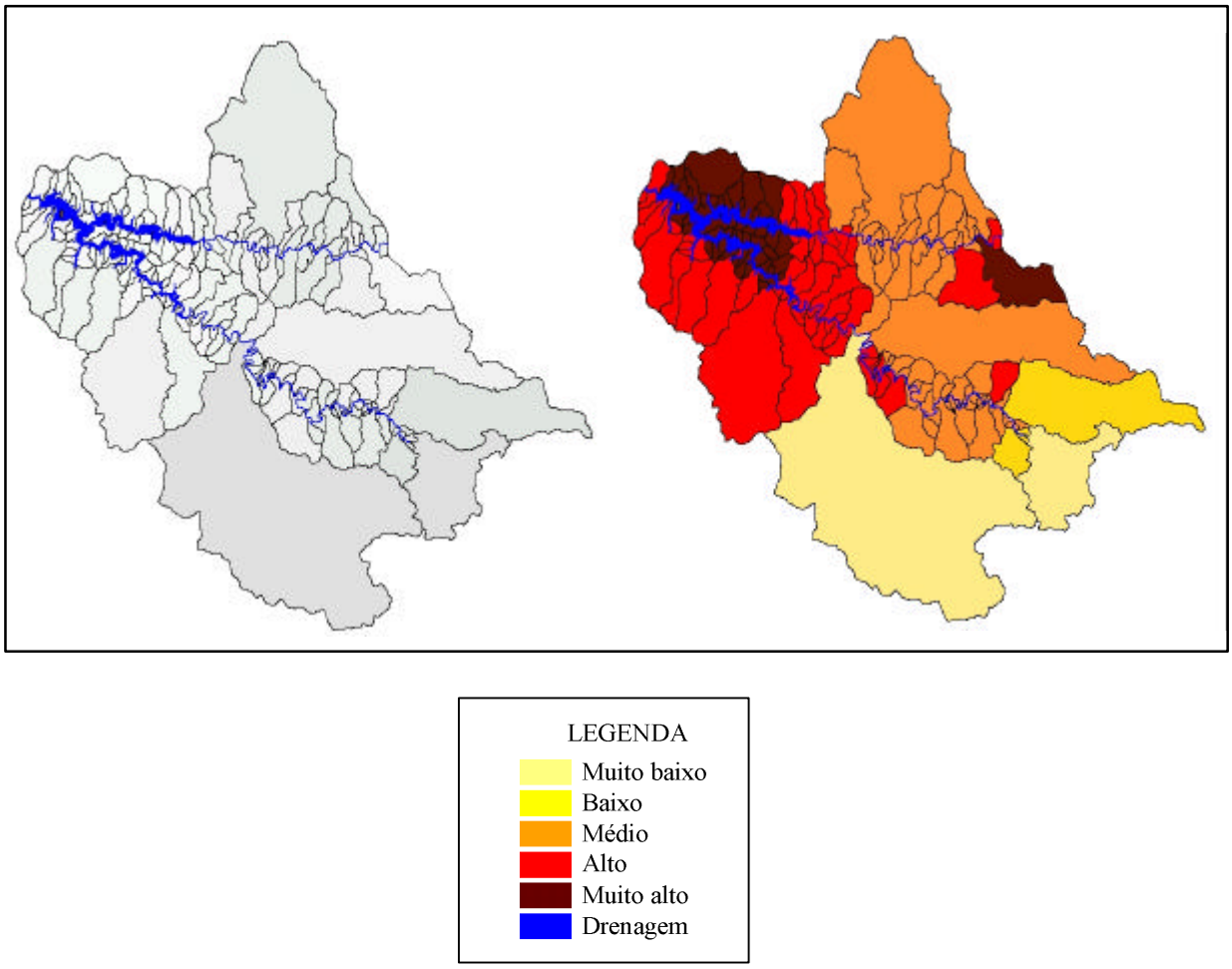


Figura 49: Coeficiente de variação de pluviosidade - Mapa das médias zonais das sub-bacias e mapa da ponderação dos intervalos de 1 a 5.

Observou-se que cada tema apresenta um comportamento diferenciado. No caso da pedologia (figura 46), a maior parte das sub-bacias apresentou uma contribuição muito alta ao passo que no caso da geologia e geomorfologia (figuras 47 e 48), a maioria das sub-bacias apresentou uma contribuição média. A maioria dos temas apresentou uma contribuição maior nas áreas localizadas nas regiões de relevo mais acentuado (sub-bacias localizadas à sudoeste da bacia), onde os processos erosivos são mais intensos e a drenagem é mais densa (figuras 44, 46, 47 e 48).

Quanto ao uso e cobertura da terra (figura 43), praticamente não ocorreu a classe muito baixa, visto que realmente a bacia é muito pouco vegetada e bastante antropizada. Pôde-se observar que as sub-bacias da porção norte do reservatório e rio Piracicaba até o rio Tietê apresentaram maior contribuição, provavelmente devido ao cultivo extensivo de cana-de-açúcar. Observa-se ainda que uma sub-bacia à direita inferior da bacia apresentou contribuição baixa, apesar de estar em regiões mais elevadas, isto deve ter

ocorrido pelo fato desta estar abrigando parte de uma Unidade de Conservação (APA Jundiaí/Cabreúva), sendo a região mais vegetada de toda a bacia.

Quanto à distância (figura 45) a contribuição vai aumentando gradativamente até se aproximar do reservatório, o que já era previsível. Quanto à precipitação da bacia estudada (figura 48), observou-se que as sub-bacias próximas ao reservatório, com algumas exceções, são as que possuem maior coeficiente de variação de pluviosidade. Este fato pode ser compreendido, visto que o reservatório de Barra Bonita possui uma superfície de evaporação bastante grande, aproximadamente 310,00 km^2 de área inundada, fator que pode estar influenciando a precipitação local.

6.3.2 Resultado da ponderação e integração dos temas e análise do potencial poluidor das sub-bacias

Nesta fase, cada tema foi ponderado e integrado aos outros por meio da aplicação da álgebra de mapas, ferramenta implementada no Spring 3.6. A ponderação é bastante subjetiva, visto que os pesos atribuídos dependem da experiência de cada profissional. Várias técnicas estão atualmente disponíveis nos SIG, que funcionam como suporte à decisão, mas estas também possuem a desvantagem de serem automáticas e, portanto, o conhecimento e experiência do profissional são aproveitados de forma limitada. Desta forma, optou-se por aplicar diferentes equações para a superposição dos temas como Média Simples, Média Ponderada e Soma Ponderada, sendo que a Soma Ponderada foi utilizada para gerar vários cenários, atribuindo diferentes pesos ao uso e cobertura da terra (P3, P4, P5 e P7), como já explicado no capítulo materiais e métodos.

Dentre as características da bacia consideradas no presente trabalho, seguramente, a interferência antrópica no ambiente, por meio do uso e ocupação das terras e da alteração da cobertura vegetal tem sido um dos principais fatores a contribuir para a degradação da qualidade da água e por isto este tema foi escolhido para receber diferentes pesos na simulação. Os temas com os seus respectivos pesos, para cada cenário, encontram-se na tabela 23. Os resultados dos cálculos de áreas das classes para cada cenário podem ser visualizados na tabela 24 e os cenários na forma de mapas podem ser visualizados nas figuras 50 a 53.

Tabela 23: Ponderação dos temas nos diferentes cenários.

Temas	**Cenários**					
	Media Simples	**Média Ponderada**	**Simulação (Soma Ponderada)**			
	C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**	**C6**
Uso e cobertura da terra	P1	P3	P3	P4	P5	P7
Densidade de drenagem	P1	P1	P1	P1	P1	P1
Distância ao reservatório	P1	P3	P3	P3	P3	P3
Pedologia	P1	P2	P2	P2	P2	P2
Geologia	P1	P2	P2	P2	P2	P2
Geomorfologia	P1	P2	P2	P2	P2	P2
Coeficiente de variação de pluviosidade	P1	P2	P2	P2	P2	P2

P:Peso
C: Cenário
Em amarelo: Pesos diferenciados apenas para o tema uso e cobertura da terra.

Tabela 24: Áreas das classes dos níveis de contribuição das sub-bacias para o transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita.

Classes dos níveis de contribuição das sub-bacias	**Áreas (km^2)**					
	Media Simples	**Média Ponderada**	**Simulação (Soma Ponderada)**			
	C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**	**C6**
Muito baixo	9,42	8,25	6.471,04 ¯	5.074,22 ¯	739,19 ¯	5,13 ¯
Baixo	6.381,53	6.801,98	3.836,55	2.576,38	5.677,86	741,92
Médio	8.735,80	7.184,43	4.456,41	4.546,38	1.498,67	4.567,38
Alto	3.680,92	4.029,41	2.978,33	4.182,81	6.435,83	1.334,49
Muito alto	6,26	789,86	1.071,60 -	2.349,94 -	4.462,38 -	12.165,01 -
Drenagem	350,50	350,50	350,50	350,50	350,50	350,50
Total	**19.164,43**	**19.164,43**	**19.164,43**	**19.164,43**	**19.164,43**	**19.164,43**

C=Cenário
Em amarelo: Classes que apresentaram maiores alterações de suas áreas.

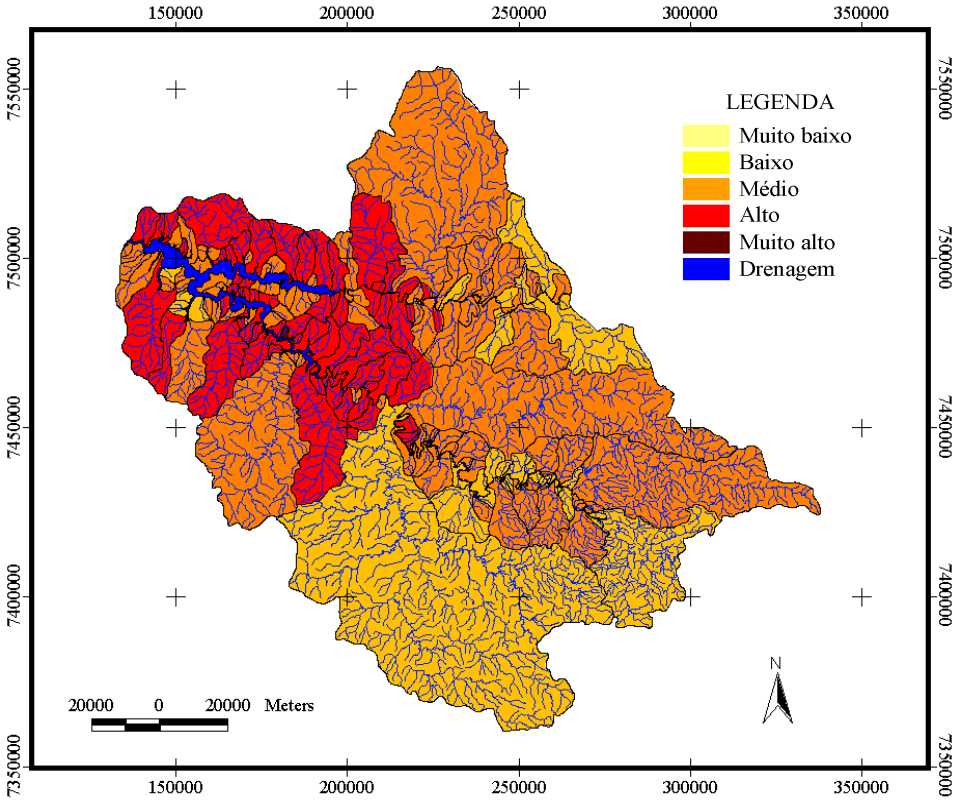


Figura 50: CENÁRIO 1 - Mapa do potencial poluidor das sub-bacias em relação ao reservatório de Barra Bonita – Integração por Média Simples. Escala 1:1.500.000

Observando a tabela 24, Cenário 1 (Média Simples) verifica-se que as classes predominantes foram as intermediárias (baixo, médio e alto) enquanto as classes da extremidade (Muito Baixo e Muito alto) apresentaram áreas bem pequenas. Porém, este não deve ser considerado um cenário ideal, visto que na realidade os fatores ambientais não têm o mesmo papel no processo de produção e transporte de poluentes ao reservatório.

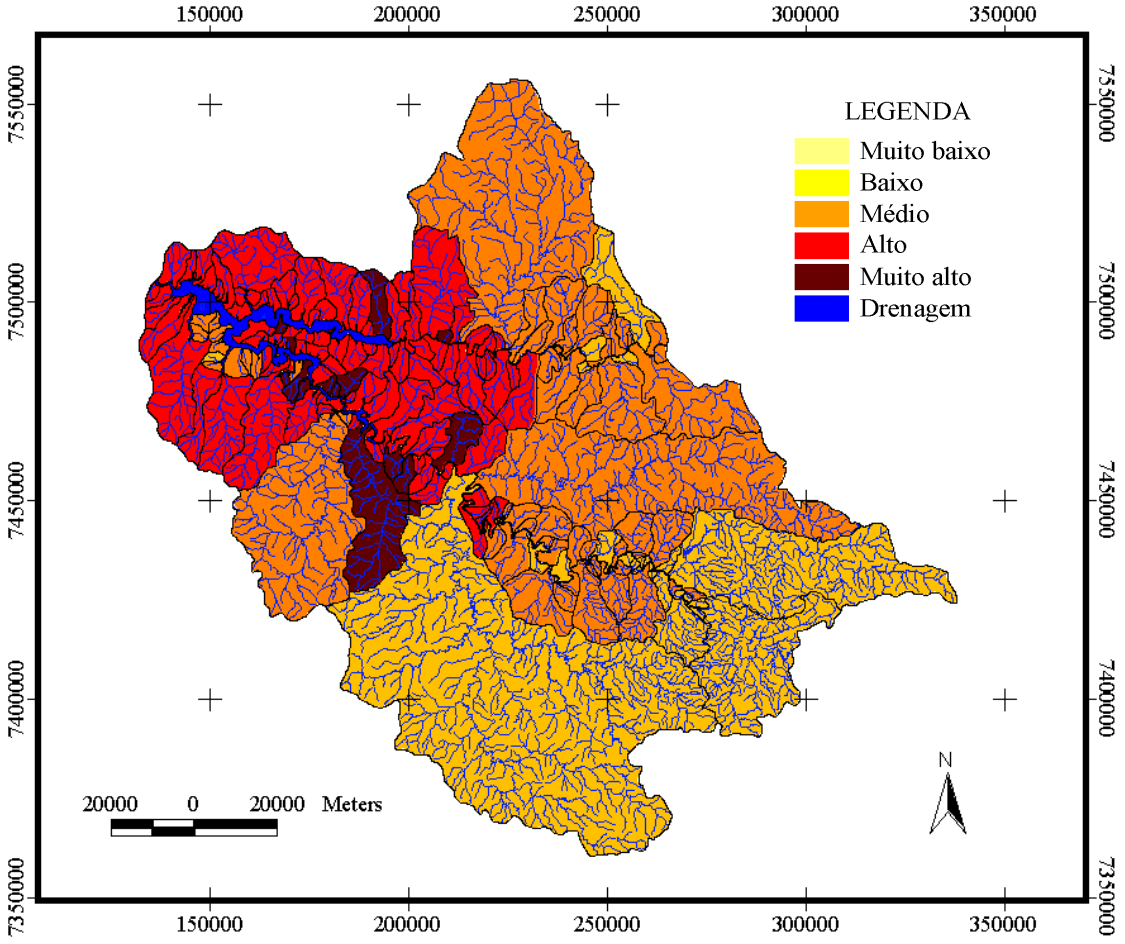


Figura 51: CENÁRIO 2 - Mapa do potencial poluidor das sub-bacias em relação ao reservatório de Barra Bonita – Integração por Média Ponderada. Escala 1:1.500.000.

O Cenário 2, onde os temas foram ponderados, atribuindo peso maior (3) ao uso e cobertura da terra e distância ao reservatório, tentando uma maior aproximação com a realidade, as classes alta e muito alta passaram a ocupar uma proporção maior da área de estudo, indicando que quando se atribui maior peso aos temas, o potencial das sub-bacias começa a aumentar.

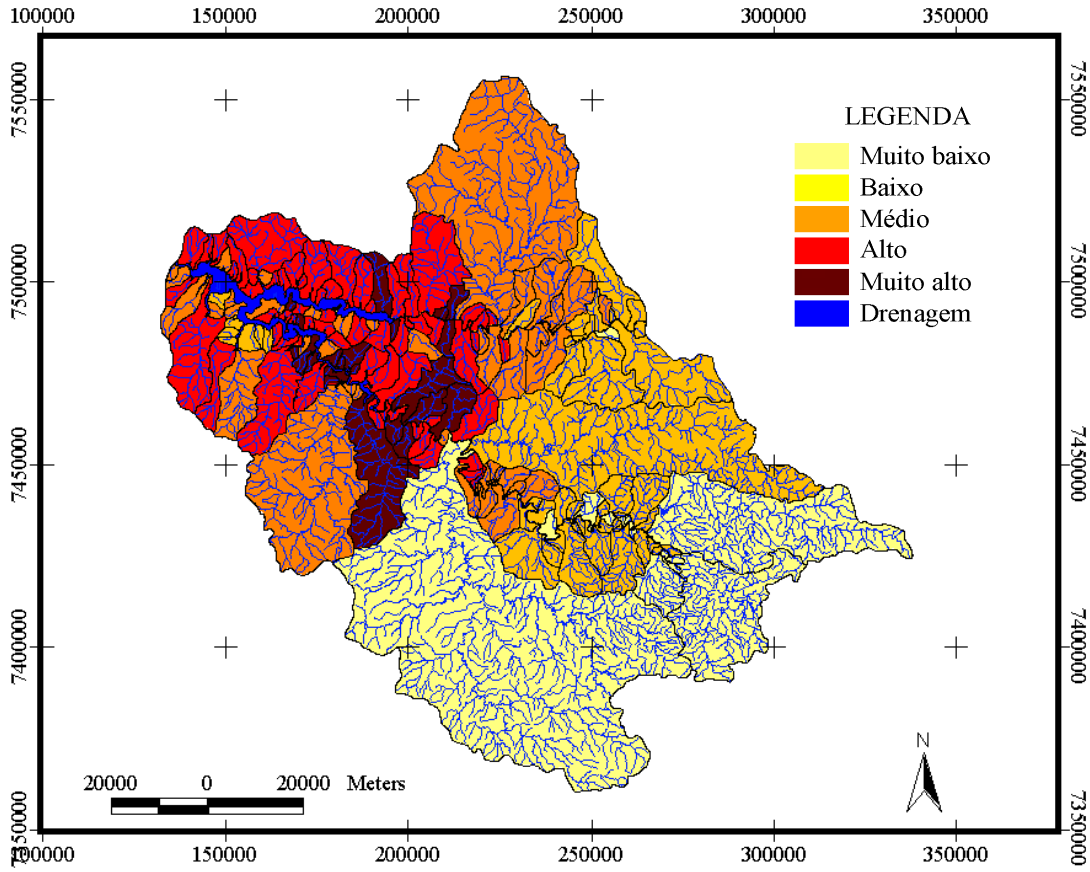


Figura 52: CENÁRIO 3 – Mapa do potencial poluidor das sub-bacias em relação ao reservatório de Barra Bonita – Integração por Soma Ponderada (Uso-P3). Escala 1:1.500.000.

Comparando os Cenários 2 e 3, cujos temas receberam os mesmos pesos, porém, com a aplicação de equações distintas no momento da integração (Média Ponderada e Soma Ponderada), percebeu-se diferenças nas áreas das classes de extremidade, principalmente na classe muito baixo, onde a área em C3 foi bem maior que em C2. Para as outras classes houve uma redução não muito grande das áreas de C2 para C3. Isto mostrou que o tipo de equação que se aplica para a integração dos temas interfere diretamente no resultado dos cenários.

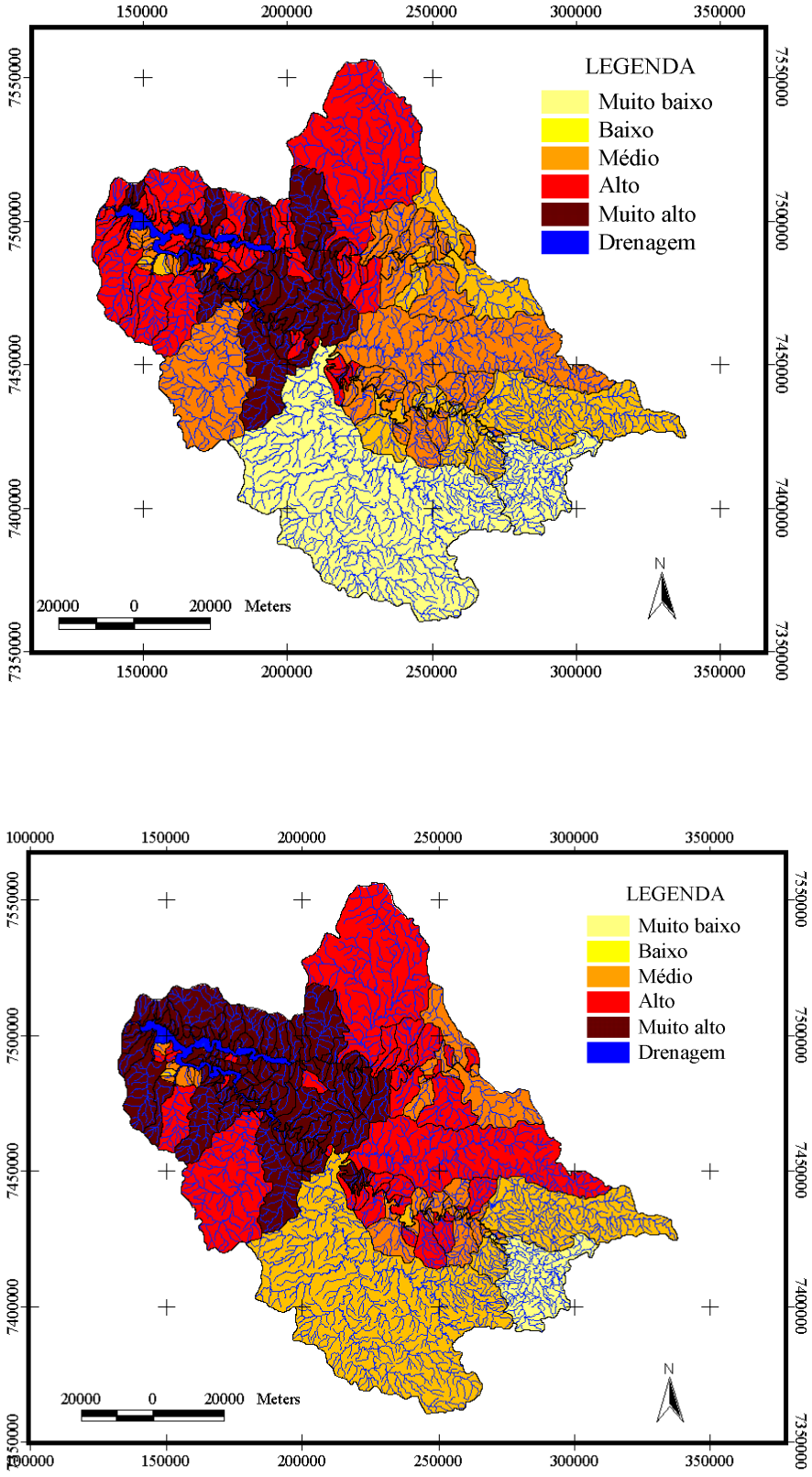


Figura 53 e 54: CENÁRIOS 4 e 5: Mapas do potencial poluidor das sub-bacias em relação ao reservatório de Barra Bonita – Integração por Soma Ponderada (Uso-P4) e Integração por Soma Ponderada (Uso-P5). Escala 1:1.500.000.

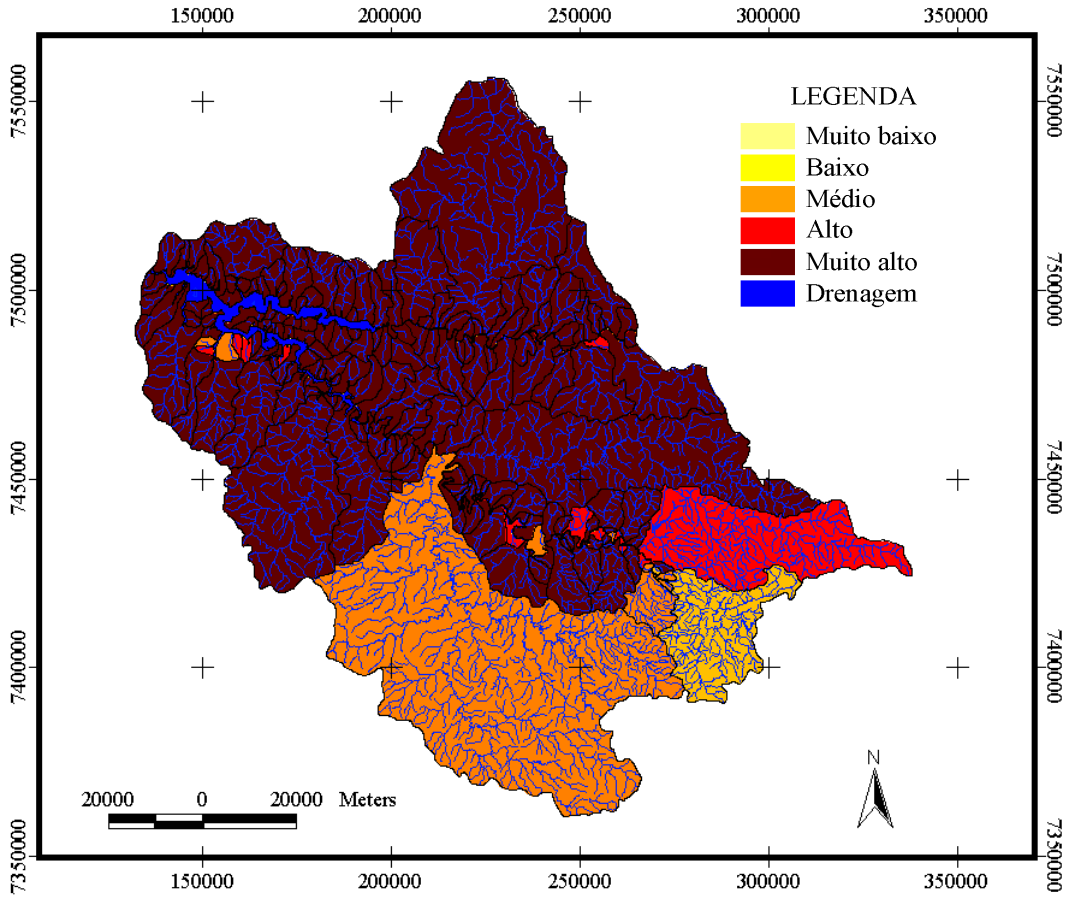


Figura 55: CENÁRIO 6 - Mapa do potencial poluidor das sub-bacias em relação ao reservatório de Barra Bonita –Integração por Soma Ponderada (Uso-P7). Escala 1:1.500.000.

Ao se comparar os Cenários 3, 4, 5 e 6 (Soma Ponderada) notou-se uma tendência de redução da área da classe muito baixo e um aumento da área da classe muito alto, haja visto que conforme se atribuiu maior peso ao tema uso e cobertura da terra, maior passou a ser o potencial das sub-bacias quanto ao transporte de poluentes ao reservatório de Barra Bonita. Este processo vai ocorrendo gradativamente até que todas as sub-bacias passem a ter um potencial máximo (classe Muito alto). No caso das classes intermediárias o comportamento foi variável. Contudo, observou-se que a classe baixo também tende a reduzir, quando o peso atribuído é muito alto, como foi o caso do C6 e que a classe médio se manteve bastante estável ao longo da simulação.

Os resultados obtidos após a ponderação e superposição dos temas foram bastante coerentes considerando que as sub-bacias associadas às classes muito alta ou alta são, predominantemente, as que estão mais diretamente relacionadas ao reservatório. Certamente a distância das sub-bacias em relação ao reservatório contribuiu para estes resultados, mas também o tipo de uso da terra que é intenso às margens do reservatório, a

cobertura vegetal que se apresentou reduzida neste local e a presença de argissolos que são bastante susceptíveis à erosão, sem contar o coeficiente de variação de pluviosidade que se apresentou mais elevado nas proximidades do reservatório.

Apesar da subjetividade envolvida nos processos de ponderação, a álgebra de mapas temáticos ponderados se mostrou adequada ao planejamento de bacias visando a proteção dos recursos hídricos, principalmente quando se trata de áreas bastante extensas. Esta metodologia pode ser utilizada para identificar áreas prioritárias à intervenção no sentido de otimizar o uso e ocupação das terras, recuperar áreas degradadas, reflorestar áreas de nascentes e margens dos rios, reduzir a aplicação de defensivos agrícolas, minimizar os processos erosivos, dentre outras práticas que venham a diminuir as fontes difusas de poluição e, conseqüentemente, assegurar melhor qualidade da água.

Para KUHNLE *et al.*(1996) o conhecimento dos efeitos da variação do uso da terra sobre o movimento de sedimentos e água através da bacia hidrográfica é muito importante para a tomada de decisões sobre o manejo adequado das terras. Neste sentido, a modelagem matemática tem sido utilizada. A principal vantagem de sua aplicação reside na possibilidade do estudo de vários cenários diferentes e de forma rápida, muitos deles ainda não explorados em experimentos reais. Outra importante vantagem da utilização de simulação de cenários está associada a seu baixo custo. Na maioria das aplicações, o custo de executar um programa computacional é muitas ordens de magnitude menor do que o correspondente custo relativo à investigação experimental. Esse fator adquire maior importância na medida em que o problema real estudado apresenta maiores dimensões e complexidade (como uma bacia hidrográfica de tamanho significativo), além dos custos operacionais mais elevados relativos às pesquisas de campo (PESSOA *et al.*, 1997).

Nesse contexto, MACHADO *et al.* (2003) realizaram um trabalho simulando cenários alternativos de uso e ocupação da terra na microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins (Piracicaba, SP), comparando-os quanto à sua produção de sedimentos com o cenário de uso atual, para o biênio 1999/2000. As simulações foram realizadas por meio da integração do modelo matemático *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) e o SIG ArcView da ESRI. Os mesmos autores concluíram que os resultados evidenciaram a necessidade de se tratar a paisagem em bacias hidrográficas de uma forma global, identificando as "áreas ambientalmente sensíveis", onde são necessárias práticas de controle dos processos erosivos ou mudanças de uso da terra, e não somente a proteção dispensada aos cursos d'água por meio da mata ciliar.

6.4 Análise espaço temporal dos parâmetros de qualidade da água em resposta às atividades antrópicas do entorno do reservatório de Barra Bonita e de seus principais afluentes

O reservatório de Barra Bonita foi construído em 1963 e, ao longo das últimas décadas, muitos trabalhos têm sido realizados neste ecossistema analisando parâmetros de qualidade da água sob diversos enfoques, acrescentando ainda estudos relacionados ao zooplâncton e fitoplâncton, à ictiofauna, às macrófitas, entre outros. Contudo, poucos foram os trabalhos que procuraram fazer análises ao longo de um período de tempo significativo, considerando a distribuição espacial dos processos e a contribuição do uso e cobertura da terra de seu entorno. Geralmente as amostras eram coletadas em apenas um ponto ou poucos pontos ao longo do reservatório, o que dificulta a interpretação da situação analisada. Outro aspecto desvantajoso é que em épocas passadas não se obtinha uma localização precisa do ponto de amostragem, pois não se dispunha de dispositivos como o GPS.

Desta forma, o presente trabalho buscou realizar uma análise temporal (1979 a 2002) e espacial (30 pontos de amostragem ao longo do reservatório de Barra Bonita, nas estações seca e chuvosa no ano de 1990 e 2002) de alguns parâmetros de qualidade da água no reservatório de Barra Bonita, fazendo uso de vários dados da literatura, além dos dados obtidos por amostragens em campo neste trabalho em 2002.

6.4.1 Análise temporal do processo de degradação da água (1979 a 2002)

Inicialmente, foram testados ajustes de diversos modelos de tendência, visando ilustrar o comportamento de cada parâmetro de qualidade de água para as médias (estações seca e chuvosa) do ponto 30 (Barragem) onde há maior concentração de estudos, ao longo do tempo. Mas, mesmo assim o número de amostras analisadas ainda foi insuficiente para se obter um bom ajuste. Além do reduzido número de amostras, outros fatores contribuem para a dificuldade de se obter um bom modelo de ajuste, dentre os quais destacam-se a existência de datas sem amostragens (descontinuidade) e as diferenças nos métodos analíticos adotados pelos diferentes grupos de pesquisa. Essas fontes de variabilidade externa reduziram em muito a precisão do modelo gerado, e explicam em parte os baixos valores de r^2 obtidos.

Apesar dos baixos valores de r^2 nos gráficos de tendência, pôde-se observar, a partir de uma análise qualitativa, uma tendência com oscilações em torno da média, de aumento de alguns parâmetros de qualidade de água analisados de 1979 a 2002, principalmente na estação chuvosa, podendo ser destacada a *condutividade elétrica* (figura 56). O número de amostras neste caso foi em torno de 20.

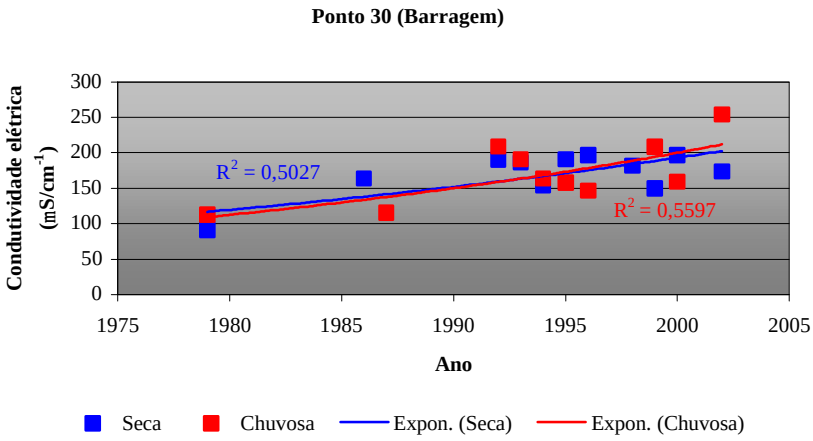


Figura 56: Linha de tendência para o parâmetro condutividade elétrica.

Apesar de todos os "erros" amostrais acumulados pela evolução dos métodos de medida, a passagem do tempo explica mais de 50% da variação dos valores de condutividade, considerando que o valor de r^2 para o parâmetro condutividade elétrica foi de 0,5027 para a estação seca e 0,5597 para a estação chuvosa. Isso indica que existe uma tendência consistente de aumento da condutividade da água do reservatório ao longo dos últimos 23 anos. É interessante ainda observar que essa tendência independe da estação do ano e que, portanto, não está apenas ligada ao manejo do reservatório, mas ao aumento da carga poluidora do reservatório ao longo do tempo.

Já os resultados para clorofila (figura 57), por exemplo, indicam uma tendência não muito acentuada no aumento de sua concentração ao longo do tempo. Isso pode ser explicado pelo fato deste ponto estar muito próximo da barragem, sofrendo perdas de biomassa pela vazão vertida, principalmente nos períodos chuvosos. Este fato se explica ainda pelo caráter mais episódico da ocorrência de florescimento de algas, o que acaba por dificultar a possibilidade de determinar tendências temporais a partir de amostragens episódicas como as disponíveis na literatura consultada. Análises recentes, da variabilidade temporal da condutividade e da concentração de clorofila, baseadas em amostras de alta freqüência obtidas pelo Sistema Integrado de Monitoramento Ambiental (SIMA) mostraram que a condutividade tem um comportamento estável ao longo do dia, enquanto

a concentração de clorofila pode ser dobrada de um dia para outro. Assim, amostragens episódicas tendem a mascarar o comportamento médio do sistema (NOVO *et al*., 2004).

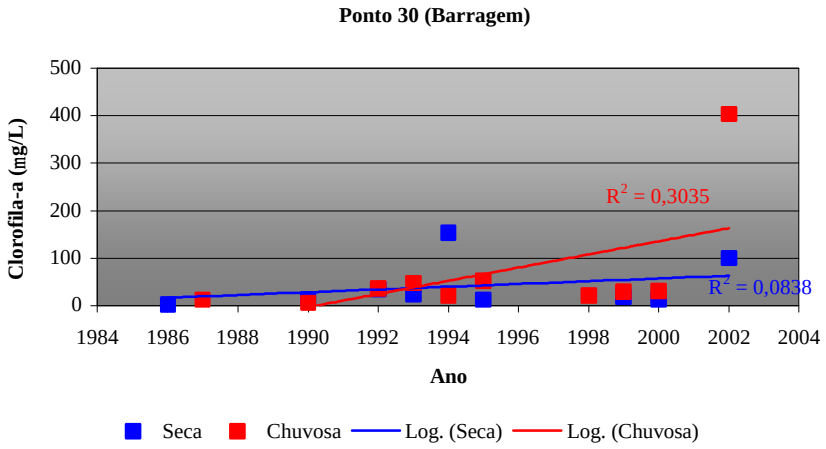
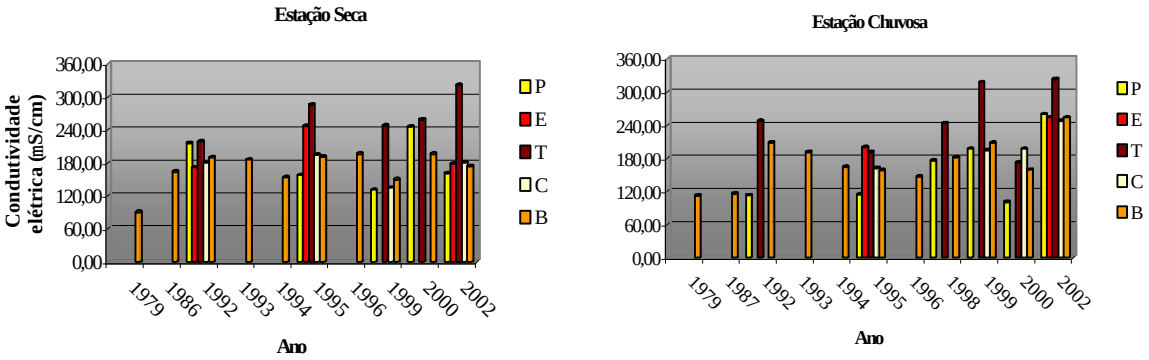


Figura 57: Linha de tendência para o parâmetro clorofila a total.

Na seqüência foram analisadas, temporalmente, as médias estacionais dos pontos de amostragem por compartimento P (“braço” Piracicaba), E (encontro dos “braços”), T (“braço Tietê), C (“corpo” central) e B (barragem), para alguns parâmetros, cujos resultados foram mais expressivos. Este procedimento foi adotado visando reduzir o número de amostras a serem comparadas e partindo do pressuposto que cada compartimento do reservatório tem um comportamento distinto para cada parâmetro, o que já se verificou no trabalho de NOVO e BRAGA (1995), por exemplo.

Nas figuras 58 e 59 estão apresentados os valores de *condutividade elétrica* ao longo do tempo, nas estações seca e chuvosa, por compartimento. Observa-se que seus valores tendem a aumentar tanto na estação seca quanto na chuvosa, para todos os compartimentos, tendência já verificada quando da análise da amostra localizada próxima à barragem (30), e integradora do conjunto de influências sofridas ao longo do reservatório. O aspecto mais notável ao se dividir o reservatório em compartimentos é verificar a intensificação dessa tendência no compartimento T, sendo as concentrações as mais elevadas. Isto indicou estar havendo uma quantidade maior de íons neste compartimento, provindos da bacia do Médio Tietê o que leva a um aumento da condutividade elétrica. Provavelmente este fato ocorre devido aos resíduos industriais e domésticos provindos da região Metropolitana de São Paulo, por ser este reservatório o primeiro dos reservatórios em cascata implantados no rio Tietê a partir de São Paulo, além da contribuição de

afluentes contaminados por poluentes provindos de outros grandes centros urbanos como Sorocaba, Jundiaí e Capivari.



Figuras 58 e 59: Condutividade elétrica ao longo do tempo, nas estações seca e chuvosa, por compartimento, respectivamente.

CALIJURI (1999), mesmo não podendo contemplar todas as concentrações iônicas, observou que os valores de condutividade indicaram que deve ter havido um acréscimo substancial de íons na água do reservatório de Barra Bonita no período estudado. Este fato foi explicado pelos valores obtidos no inverno de 1993 terem sido 44% maiores do que os obtidos em 1979 e 37% superiores aos de 1986/1987. Considerando médias mensais, o aumento foi de 38% em relação a 1979 e de 30% aos obtidos por CALIJURI (1988).

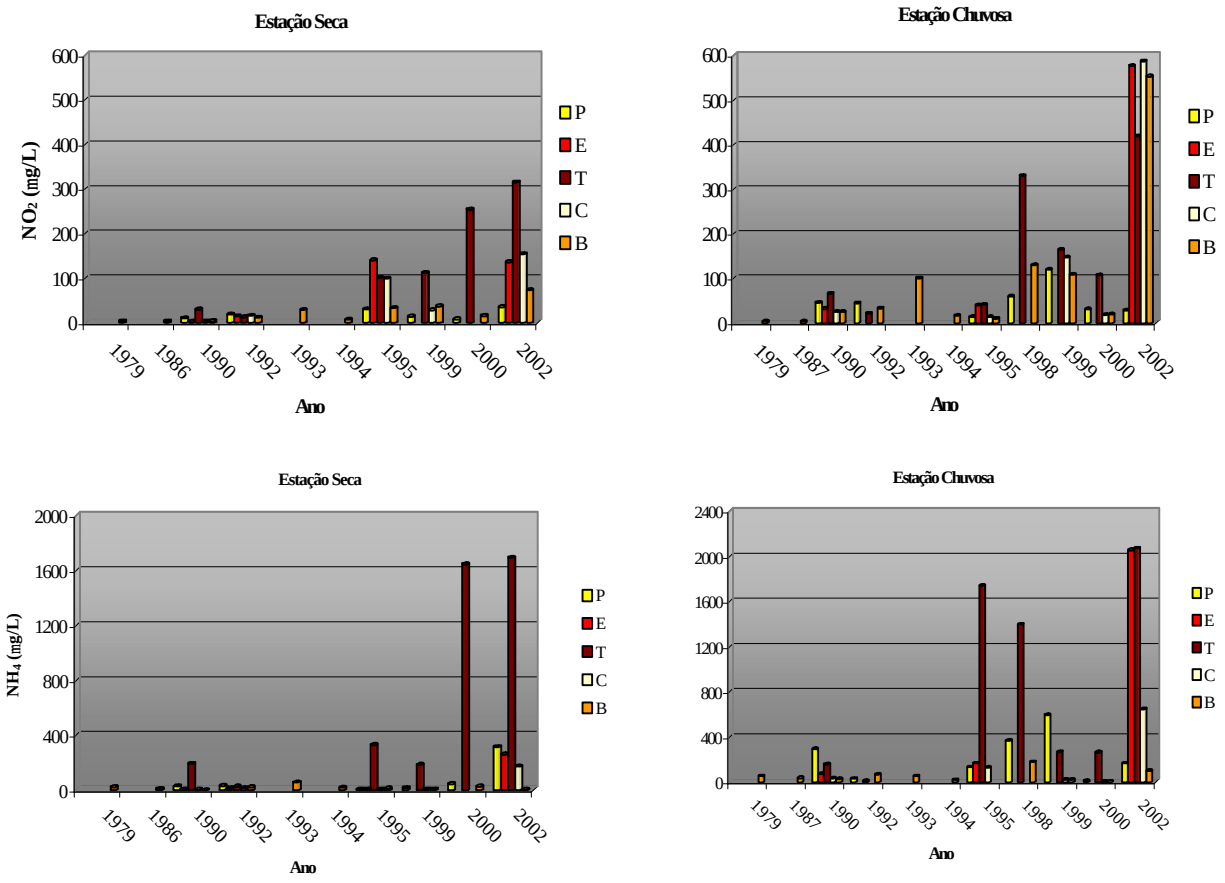
Os dados de 1979 utilizados neste trabalho foram obtidos em GUNTZEL (2000) que observou para a condutividade elétrica que as concentrações obtidas na estação chuvosa foram superiores às obtidas na estação seca, nos reservatórios de Barra Bonita, Bariri e Ibitinga, sendo que Barra Bonita foi responsável pelo maior valor observado 90,7μS/cm. Comparando este valor com os obtidos nas figuras 58 e 59 em 2002, do presente trabalho, percebe-se que realmente houve um aumento significativo ao longo do tempo, chegando a ultrapassar 300 μS/cm.

Com relação às formas de nitrogênio, tanto o *nitrito* como o *íon amônio* apresentaram um aumento ao longo do tempo (figuras 60 a 63).

Verificou-se, pois, que o íon amônio apareceu em concentrações maiores que o nitrito, isto devido ao lançamento de esgoto sanitário sem tratamento prévio em larga escala. O compartimento mais expressivo foi o Tietê em ambas as estações, sendo que na estação chuvosa as concentrações foram mais elevadas, devido à entrada de nutrientes pelo escoamento superficial provenientes de fontes difusas. É importante ressaltar aqui que os fertilizantes aplicados na agricultura são geralmente ricos em nitrogênio. Ainda no período

chuvoso de 2002, tanto para o nitrito como para o íon amônio, o compartimento E também apresentou concentrações bastante elevadas, provavelmente pela influência do "braço" do rio Tietê.

Segundo OISHI (1996), em Barra Bonita, o rio Tietê é o que mais contribui com o total de nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) para o reservatório. Na carga de nitrogênio transportada pelo rio Tietê, o nitrito foi a forma predominante representando 50,80% do total da entrada.



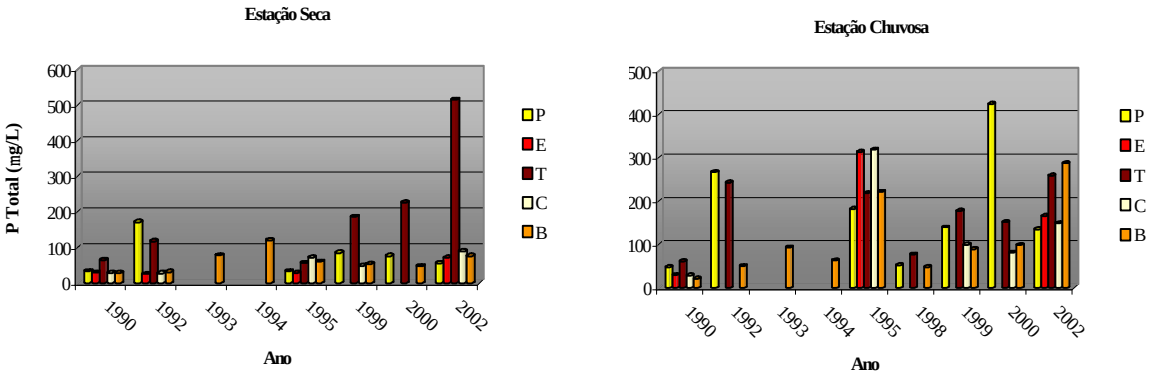
Figuras 60, 61, 62 e 63: Nitrito e íon amônio ao longo do tempo, nas estações seca e chuvosa, por compartimento.

Para GUNTZEL (2000), o íon amônio foi a segunda forma nitrogenada mais abundante nos reservatórios analisados. Este elemento é um bom indicador da presença de poluição recente.

Comparando os resultados de 1979 desta autora para o reservatório de Barra Bonita (51,5 µg/L na estação chuvosa e 22,9 µg/L na estação seca) com os obtidos no presente trabalho em 2002 (acima de 2000 µg/L na estação chuvosa e de 1600 µg/L na estação seca)

verificou-se um aumento muito grande nas concentrações deste parâmetro, temporalmente. A mesma autora, comparando as concentrações de amônio de 1979 com as de 1997/1998 também concluiu que realmente houve um aumento deste íon em 20 anos.

Quanto às formas fosfatadas, todas as analisadas (PID, PTD e P total) apresentaram um incremento ao longo do tempo, principalmente no compartimento T. Mas como o *fósforo total* apresentou concentrações elevadas para todos os compartimentos, este foi escolhido para ser aqui discutido. As figuras 64 e 65 mostram os resultados para este parâmetro nas estações seca e chuvosa.



Figuras 64 e 65: Fósforo total ao longo do tempo, nas estações seca e chuvosa, por compartimento., respectivamente.

Ao se comparar esses resultados verificou-se que no caso do compartimento T as concentrações tenderam a aumentar ao longo do tempo, atingindo concentrações mais elevadas na estação seca. OISHI (1996) também encontrou concentrações maiores para o fósforo total, em quase todas as estações de amostragens, na época de estiagem e ainda observou que o rio Tietê contribuiu com 39% do fósforo total e o rio Piracicaba, com apenas 10%. Este fato pode ser explicado pelo compartimento T do reservatório ter uma contribuição maior de esgotos domésticos e industriais (resíduos inclusive provindos da região metropolitana de São Paulo), contendo produtos fosfatados, como os detergentes, que no período da seca se concentram nos corpos d'água.

Por outro lado, os compartimentos P e B apresentaram teores maiores na estação chuvosa, demonstrando que o fósforo total detectado em períodos chuvosos na água deve ter origem natural (geologia ou pedologia) ou na aplicação de substâncias organofosforadas, atingindo o reservatório por meio do escoamento superficial. Conforme LEITE (1998), as altas concentrações de fósforo total na água estão relacionadas com a erosão de partículas de terrenos com grande inclinação, e solos facilmente erodíveis. De

acordo com CALIJURI (1999), no período de julho de 1989 a julho de 1993, a concentração de fósforo total em Barra Bonita aumentou 33%, aproximadamente, evidenciando a aceleração do processo de eutrofização neste sistema, visto que o fósforo é o seu principal elemento indutor.

A clorofila, sendo um dos principais responsáveis pela fotossíntese, pode dar indicações da biomassa e produtividade do fitoplâncton presente no reservatório, e, portanto, do estado trófico do mesmo. De acordo com ESTEVES (1988), em lagos tropicais a produtividade do fitoplâncton é dependente, principalmente, da disponibilidade de radiação subaquática e da concentração de nutrientes, especialmente fosfato, amônia e nitrato.

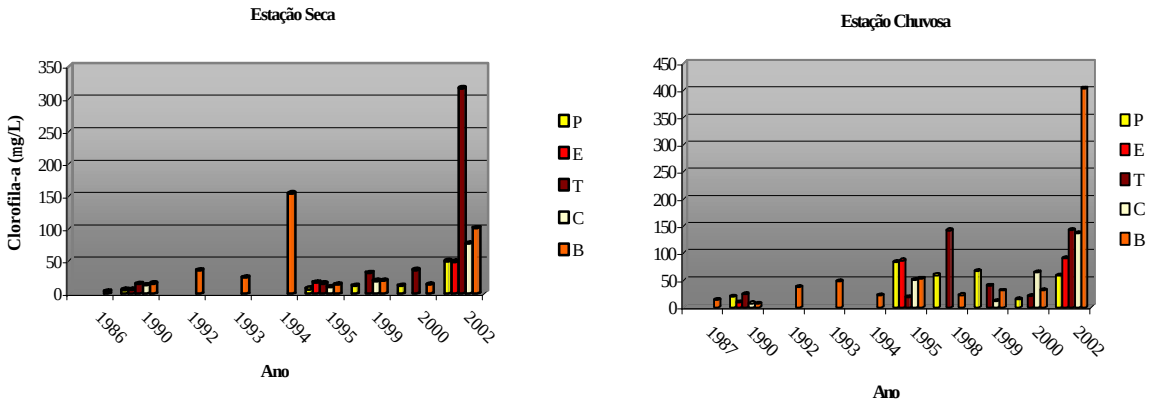
Por este fato, analisando o parâmetro *clorofila a total,* para as estações seca e chuvosa (figura 66 e 67), foi possível observar um aumento ao longo dos anos, principalmente, no compartimento B na estação chuvosa e no compartimento T na estação seca, lembrando que no presente item está sendo considerada a média dos pontos de amostragens para cada compartimento, diferentemente do item anterior onde se considerou os valores referentes apenas ao ponto de amostragem 30.

Provavelmente, na época da seca observou-se uma concentração maior no compartimento T, devido à entrada de nutrientes provindos dos esgotos domésticos e industriais desta bacia. Verificou-se ainda um pico na estação seca no compartimento B, em 1994 e um pico na estação chuvosa no compartimento T, em 1998. O primeiro pico foi obtido na amostragem de CALIJURI (1999) e esta autora explica que a variabilidade temporal, em curto prazo, demonstra que podem ocorrer grandes diferenças nas estimativas de biomassa (concentração de clorofila) e produtividade primária. Esta afirmação foi confirmada pelo trabalho de NOVO *et al.* (1994) relacionado ao SIMA, já mencionado anteriormente.

A variabilidade deste parâmetro em curto espaço de tempo pode estar relacionada à instabilidade das condições físicas e químicas do sistema aquático, instabilidade esta provocada por variáveis climatológicas e de operação da usina, interações biológicas e ritmos dos processos fisiológicos do fitoplâncton, dentre outros.

O pico ocorrido em 1998 para a estação seca foi obtido na amostragem de GUNTZEL (2000). A autora justifica o ocorrido pela capacidade das algas de aumentarem o conteúdo deste pigmento, em reservatórios turbulentos e com turbidez elevada, e, portanto, limitados pela luz, o que as tornam capazes de absorver mais fótons, em faixa

mais ampla de comprimento de onda, aumentando a capacidade fotossintética durante o curto período em que permanecem expostas à luz, durante a circulação das águas, através de um fenômeno denominado “fotoadaptação compensatória” (REYNOLDS, 1999).



Figuras 66 e 67: Clorofila a total ao longo do tempo, nas estações seca e chuvosa, por compartimento, respectivamente.

6.4.2 Análise dos parâmetros de qualidade da água e sua relação com as características fisiográficas e uso e cobertura da bacia de contribuição (1990 e 2002)

Nesta fase foram analisados para 1990 e 2002 (estações seca e chuvosa), 14 parâmetros de qualidade da água (transparência da água, temperatura, NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+, N total, PID, PTD, P total, clorofila a total, MST, MSO, MSI e SiO_2), buscando correlacioná-los às fontes de poluição pontuais e difusas das regiões de entorno do reservatório. Os parâmetros pH, condutividade elétrica e OD não puderam ser comparados nesta fase, visto que não foram analisados em 1990 no projeto SISA.

A figura 68 mostra a *transparência* da água obtida pelo Disco de Secchi, nos diferentes compartimentos do reservatório de Barra Bonita. Observou-se, inicialmente, uma maior transparência da água nas estações secas. Segundo CALIJURI (1999), no período seco, o reservatório de Barra Bonita apresenta maior transparência, menor condutividade, menor quantidade de material orgânico dissolvido, devido à menor vazão e maior tempo de residência da água. Comparando os dois anos verificou-se que a transparência foi maior em 1990 no caso da estação chuvosa, porém, foi maior em 2002 no caso da estação seca. Este fato pode estar relacionado ao regime de chuvas visto que a estação seca de 1990 foi mais acentuada enquanto a estação chuvosa de 2002 apresentou maiores precipitações (figura 19 do tópico 6.1.6). Quanto aos diferentes compartimentos do reservatório, observou-se nitidamente que o compartimento T foi o que apresentou

menor transparência, devido à presença de grande quantidade de nutrientes e material em suspensão provindos de esgotos domésticos e industriais da bacia de contribuição do Médio Rio Tietê. No compartimento P a situação se mostrou um pouco melhor. E ainda, verificou-se um gradiente ao se passar da fase de rio para lago, demonstrando a hidrodinâmica e autodepuração que vai ocorrendo ao longo do mesmo e também a contribuição dos afluentes (efeito de diluição devido às suas águas serem menos poluídas), que contribuem para a melhoria da qualidade da água. A maior transparência foi obtida no compartimento C (ponto 27), devido a este ponto estar localizado próximo à desembocadura do afluente rio Araquá, que possui uma vazão significativa e águas com nível de poluição menos acentuado do que o reservatório de Barra Bonita (figura 9 do tópico 5.1.2.2). Ao se analisar a transparência da água em diferentes períodos, deve-se considerar ainda a influência da entrada dos elementos MSO e MSI, que serão apresentados e discutidos posteriormente.

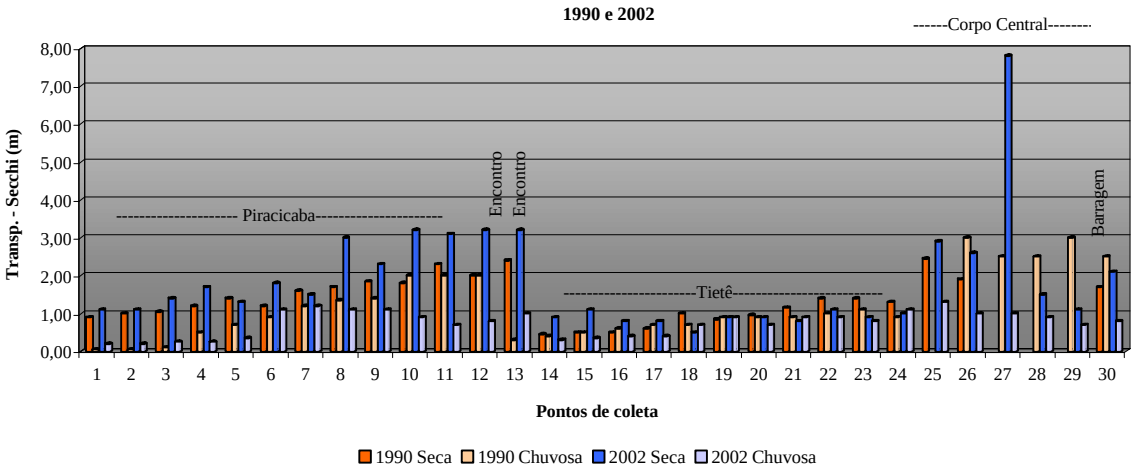
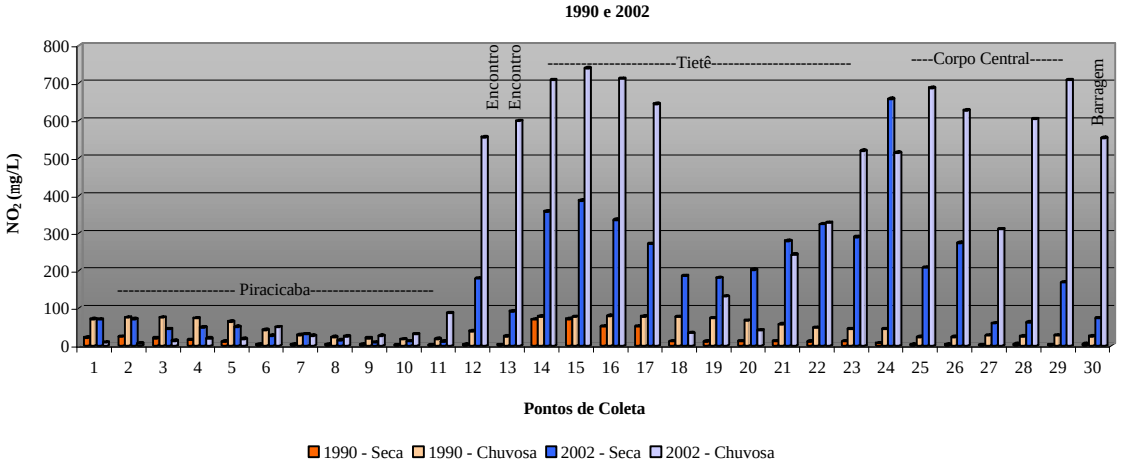
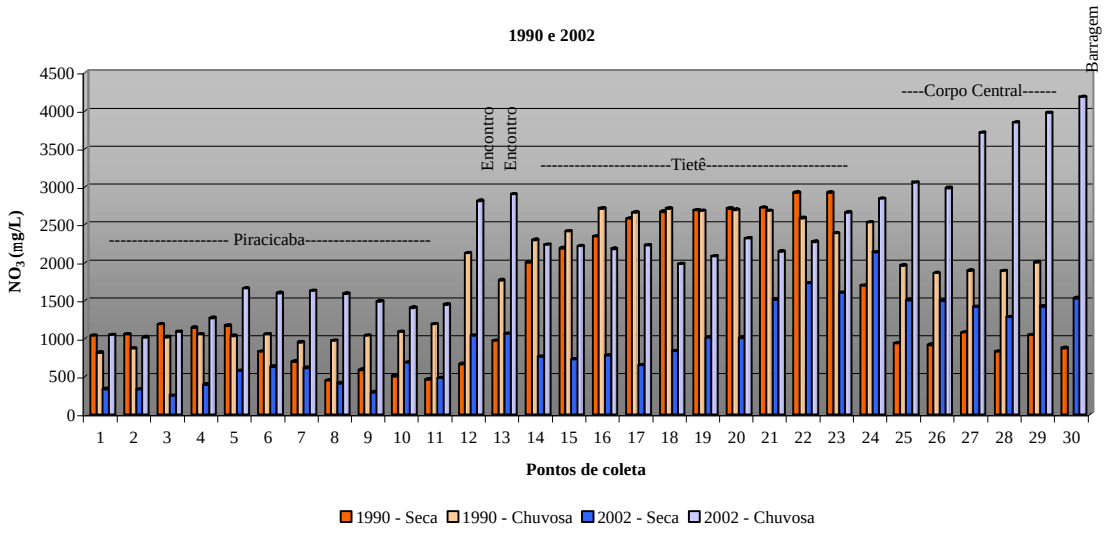


Figura 68: Transparência, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens.

Quanto às *formas nitrogenadas*, as figuras 69 a 72 mostram os resultados obtidos para nitrato, nitrito, amônio e nitrogênio total, respectivamente. Segundo BARBOSA (1981), a concentração e a distribuição de *nitrato* em lagos tropicais parecem estar diretamente relacionadas com o grau de oxigenação da coluna d'água. Para ESTEVES (1988), em lagos eutróficos, como é o caso do reservatório de Barra Bonita, durante o período de estratificação térmica, ocorre um aumento da concentração de nitrito no hipolímnio. E ainda, quanto ao nitrogênio amoniacal, este autor comenta que na maioria dos lagos tropicais estudados, parece não haver relação deste elemento com a produtividade, mas sim com a duração do período de estratificação térmica.





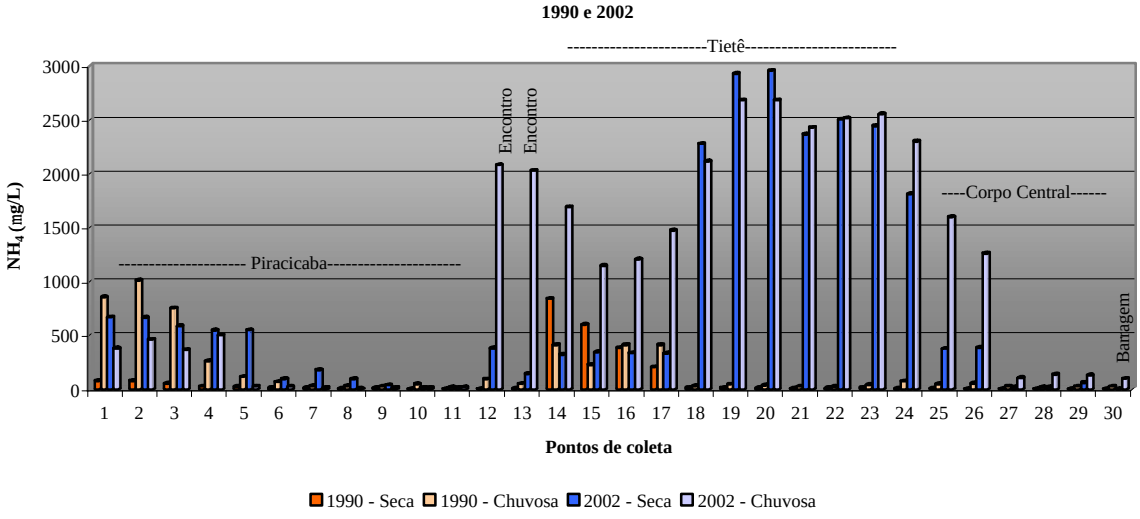


Figura 69, 70 e 71: Nitrito, nitrato e íon amônio, respectivamente, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens.

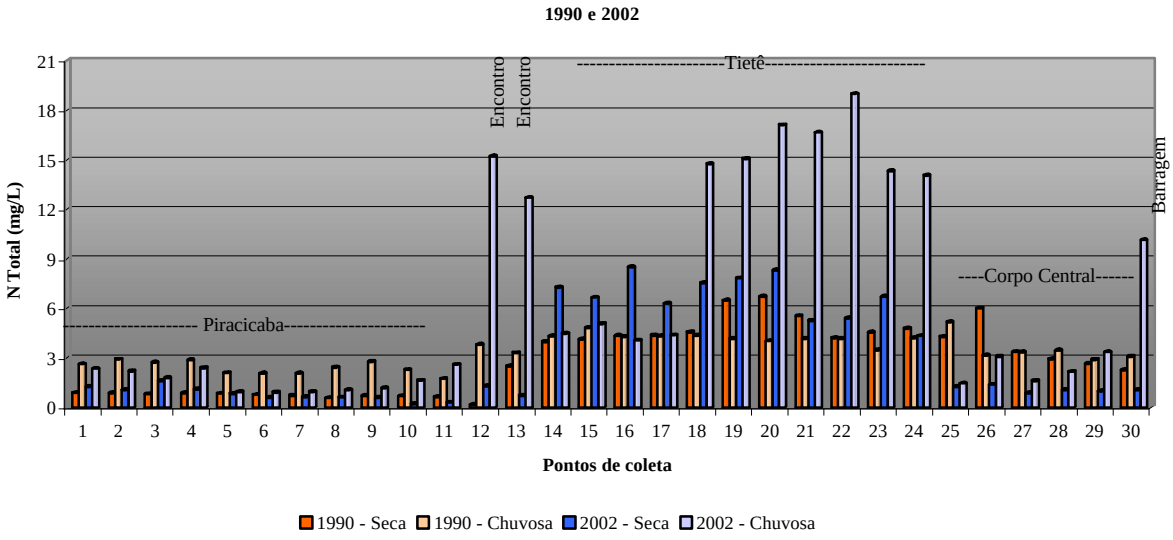


Figura 72: Nitrogênio total, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens.

Ao se observar a distribuição das formas nitrogenadas deste estudo, nas diferentes estações do ano e compartimentos do reservatório, verificou-se uma variabilidade bastante grande. Comparando nitrato, nitrito e amônio, o nitrato foi a forma que apresentou teores mais elevados, ultrapassando os 4.000 μg/L, principalmente no compartimento C, na estação chuvosa de 2002, sugerindo que neste período chuvoso, os nutrientes foram transportados dos "braços" do reservatório para o "corpo central", sem considerar a contribuição das fontes difusas. Por outro lado, para o ano de 1990 foram observados valores maiores de nitrato no compartimento T, similares nas estações seca e chuvosa. E ainda, em ambos os anos na estação seca, houve uma concentração maior deste nutriente em torno dos pontos 23 e 24, localizados no final do compartimento T e início do "corpo" central. Isto reflete o somatório das concentrações de nitrato do rio Tietê proveniente de fontes pontuais de poluição, que no período seco não sofre o efeito de diluição pelas chuvas, sem considerar que estes pontos estão localizados a jusante da entrada do ribeirão da Capivara, trazendo resíduos de esgoto do município de Botucatu (figura 9 do tópico 5.1.2.2).

No caso do *nitrito* e do *íon amônio*, as concentrações mais elevadas ocorreram em 2002. O nitrito é bastante instável e por isto não são detectados altos teores para esta forma de nitrogênio. Neste estudo os seus valores maiores ocorreram nos compartimentos T e C, com exceção do ponto 27 que por receber a contribuição do afluente rio Araquá, sofreu diluição e apresentou valor reduzido. Para a estação seca, observou-se no compartimento T, que nos pontos 18 e 19 a concentração de nitrito ficou reduzida, talvez pelo fato de haver uma curva no "braço" Tietê bastante acentuada que pode estar retendo sedimentos e,

juntamente com estes, nutrientes como é o caso do nitrito. Este fenômeno pode inclusive ser observado na figura 9 do tópico 5.1.2.2, que mostra uma tonalidade mais escura da água nesta curva do rio, (na imagem de satélite) indicando que realmente está ocorrendo acúmulo de sedimentos, nutrientes e material em suspensão neste local. Por outro lado, o nitrito se concentra nos pontos a jusante (23 e 24) pela contribuição de nutrientes provindos do Ribeirão da Capivara, cujas nascentes encontram-se na área urbana de Botucatu.

Para o amônio, as concentrações maiores foram também no compartimento T, sendo várias vezes superiores no ano de 2002 com relação ao ano de 1990, para as duas estações, ultrapassando 2.500 μg/L. Este fato pode ser justificado, visto que o íon amônio provém do lançamento de esgotos, principalmente domésticos, e que a população da bacia de contribuição do Médio Rio Tietê aumentou de 1990 para 2002. No compartimento P as concentrações de amônio foram menores, porém, observou-se um gradiente decrescente nítido da fase de rio para a de lago, em ambas as estações, verificando novamente a interferência do processo de depuração do rio.

E, finalmente, quanto ao *nitrogênio total*, as concentrações mais significativas foram no compartimento T, na estação chuvosa de 2002 (acima de 18 mg/L ou 18.000 μg/L, valores altíssimos, visto que no esgoto *in natura* são encontrados teores em torno de 40 mg/L) e na região do encontro E, estando esta sofrendo a influência do nitrogênio advindo do “braço” do rio Tietê, lembrando que o “braço” T sofre influência de esgotos sanitários da Região Metropolitana de São Paulo. No compartimento P, as maiores concentrações foram na estação chuvosa de 1990. O fato das maiores concentrações de nitrogênio serem obtidas na estação chuvosa leva a suspeitar de forte contribuição de nutrientes provindos de fontes difusas, relacionadas à agricultura, visto que ambas as bacias Tietê e Piracicaba possuem extensas áreas agrícolas, com destaque para o cultivo da cana-de-açúcar. No entanto, é difícil quantificar o nitrogênio, pois ocorre transição entre as diferentes formas, além da fixação por microorganismos e confinamento no sedimento.

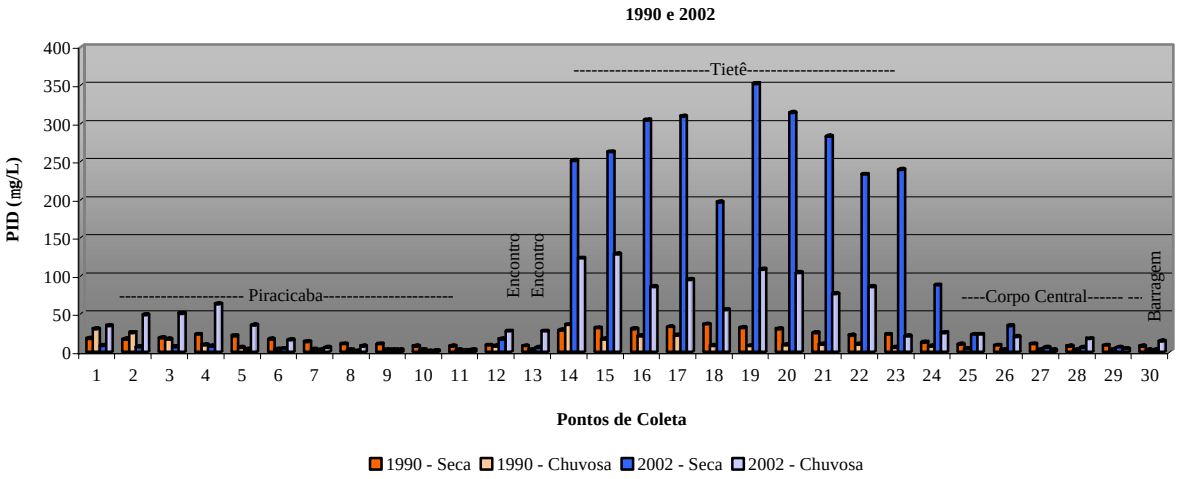
Quando se refere ao nitrogênio orgânico total (NTK) está se referindo ao nitrogênio orgânico particulado somado ao nitrogênio amoniacal. Geralmente, em estudos limnológicos analisa-se o teor de nitrogênio total pelo método *Kjeldahl*, que transforma todo o nitrogênio em amoniacal. Para o nitrogênio orgânico total, segundo OISHI (1996), ocorreu uma introdução de 46.081 ton/ano, uma exportação de 31.549 ton/ano (68%) e uma retenção de 14.531 ton/ano (32%) no reservatório de Barra Bonita. Quanto às *formas*

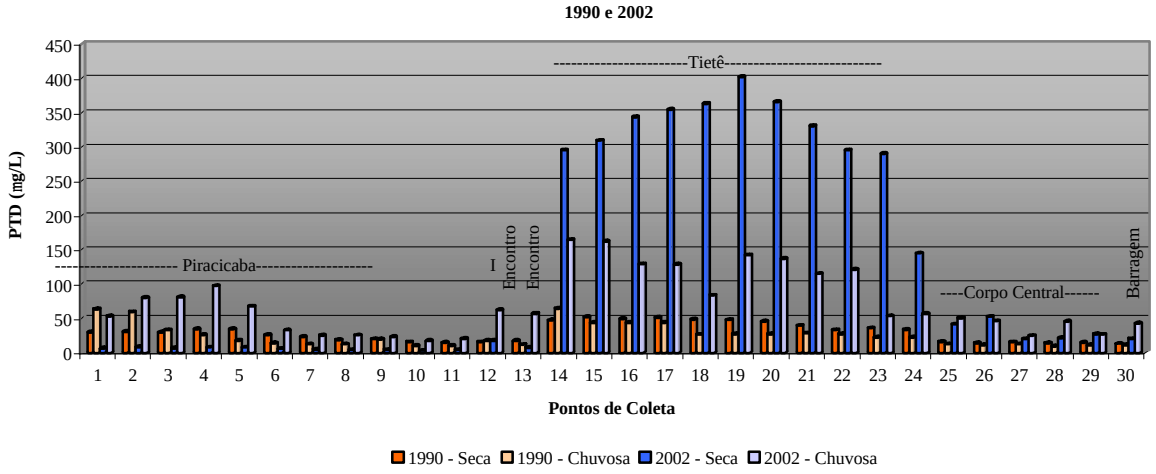
fosfatadas as figuras 73 a 75 demonstram os resultados referentes ao PID, PTD e P total, respectivamente.

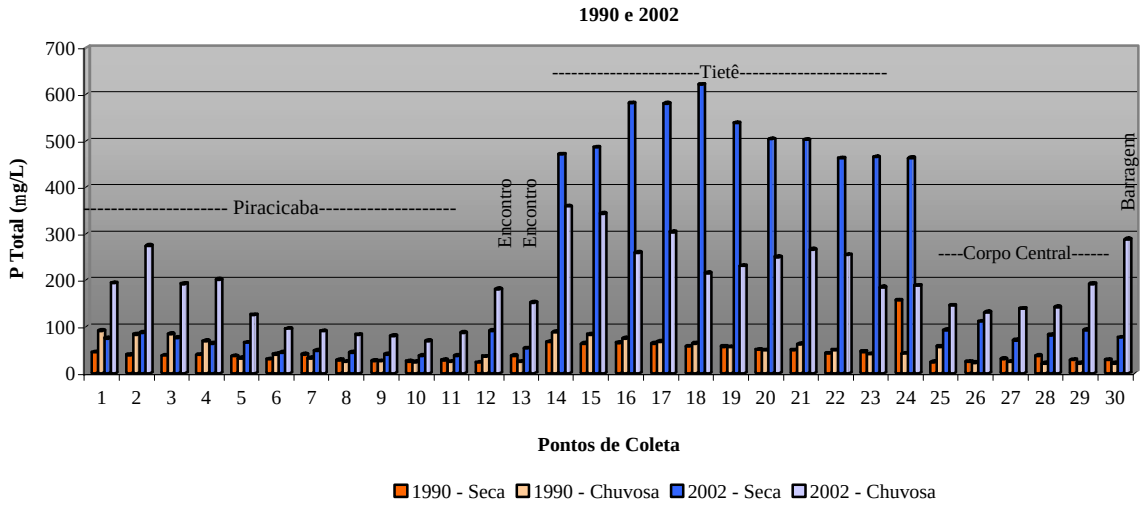
E, finalmente, quanto ao *nitrogênio total*, as concentrações mais significativas foram no compartimento T, na estação chuvosa de 2002 (acima de 18 mg/L ou 18.000 μg/L) e na região do encontro E, estando esta sofrendo a influência do nitrogênio advindo do "braço" do rio Tietê. No compartimento P, as maiores concentrações foram na estação chuvosa de 1990. O fato das maiores concentrações de nitrogênio serem obtidas na estação chuvosa leva a suspeitar de forte contribuição de nutrientes provindos de fontes difusas, relacionadas à agricultura, visto que ambas as bacias Tietê e Piracicaba possuem extensas áreas agrícolas, com destaque para o cultivo da cana-de-açúcar.

Quando se refere ao nitrogênio orgânico total (NKT) está se referindo ao nitrogênio orgânico particulado somado ao nitrogênio amoniacal. Geralmente, em estudos limnológicos analisa-se o teor de nitrogênio total pelo método *Kjeldahl*, que transforma todo o nitrogênio em amoniacal. Para o nitrogênio orgânico total, segundo OISHI (1996), ocorreu uma introdução de 46.081 ton/ano, uma exportação de 31.549 ton/ano (68%) e uma retenção de 14.531 ton/ano (32%) no reservatório de Barra Bonita.

Quanto às *formas fosfatadas* as figuras 73 a 75 demonstram os resultados referentes ao PID, PTD e P total, respectivamente. No que diz respeito ao *PID*, os resultados obtidos mostraram concentrações muito mais elevadas no ano de 2002 em relação a 1990, para o compartimento T, em ambas as estações, sendo que na estação seca as concentrações atingiram aproximadamente 350 μg/L. Contudo, os valores obtidos na estação seca superaram os obtidos na estação chuvosa em quase todos os pontos, para ambos os anos, demonstrando que este nutriente tende a se concentrar na época de estiagem, provindo certamente do lançamento de esgotos, contendo substâncias fosfatadas como os detergentes. Observa-se ainda que há uma tendência de redução do PID no compartimento T, conforme se aproxima do "corpo" central do reservatório, em ambas as estações. Parece que este nutriente vai se depositando nas regiões próximas às curvas do rio como é o caso dos pontos 18 e 19.







Figuras 73, 74 e 75: PID, PTD e P total nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens, respectivamente.

Com relação ao *PTD*, as maiores concentrações obtidas também foram no compartimento T, no ano de 2002, sendo que a distribuição das concentrações neste compartimento foi similar à do PID para as duas estações. É interessante notar, neste compartimento, que conforme se deslocou do ponto 14 para o 24 ("braço" do rio Tietê em direção ao "corpo" central) ocorreu um aumento nas concentrações do ponto 14 ao 19, na estação seca, e a partir deste ponto iniciou-se um processo decrescente nos valores das concentrações até atingir o ponto 24. O inverso ocorreu na estação chuvosa. Este fenômeno foi observado tanto para o PTD como para o fósforo total e pode ser explicado pelo fato de que os pontos 18 e 19 estão localizados nas proximidades da maior curva do compartimento T, estando acumulando estas formas fosfatadas no período seco, ao passo que no período chuvoso, os pontos 18 e 19 recebem a contribuição das vazões de afluentes próximos, provocando a diluição destes nutrientes, transportando-os até os compartimentos C e B, onde se observou maior acúmulo (figura 9 do tópico 5.1.2.2). OISHI (1996) observou que para o fosfato inorgânico dissolvido, ocorreu uma introdução de 716 ton/ano, uma exportação de 120 ton/ano (17%) e retenção de 597 ton/ano (83%) no reservatório de Barra Bonita e que para o fosfato total dissolvido, houve uma introdução de 939 ton/ano, uma exportação de 237 ton/ano (25%) e retenção de 702 ton/ano (75%).

No caso do *fósforo total*, observou-se também que as concentrações referentes a 2002 foram maiores que as de 1990. Para o compartimento P, percebeu-se concentrações maiores na época de chuvas, mostrando que as formas fosfatadas atingem este compartimento também pelo escoamento superficial, devido às fontes difusas, relacionadas aos processos erosivos, bem como à aplicação de agroquímicos nas lavouras. Observou-se ainda um gradiente decrescente conforme se desloca do "braço" do rio Piracicaba para o "corpo" central, principalmente na estação chuvosa. Este fato mostra que a contribuição da vazão de seus afluentes deve estar diluindo a água poluída que passa pelos grandes centros urbanos e áreas agrícolas da bacia, fenômeno já observado anteriormente.

Segundo BRANCO (1986) e ESTEVES (1988), o fósforo ocorria em baixas concentrações no reservatório de Barra Bonita. Como já mencionado anteriormente, NOVO e BRAGA (1995) observaram que o comportamento dos fatores limnológicos difere do "corpo" central para os "braços" do mesmo, o que também vem sendo observado no presente trabalho. Quanto ao fósforo, foi verificado que as concentrações médias aumentaram, gradualmente, entre julho de 1989 e março de 1990, para diminuírem entre março e novembro de 1990. Entretanto, as concentrações no período seco de 1990 são mais

altas que as do mesmo período de 1989. Os valores máximos ocorreram entre janeiro e março de 1991.

As mesmas autoras observaram o mesmo comportamento para o "braço" do Tietê, apenas com amplitudes maiores entre os valores mínimos e máximos de concentração de fósforo total. No entanto, para o "braço" do Piracicaba houve uma relativa diminuição dos valores de fósforo de 1989 para 1990, em oposição à tendência geral do reservatório. De acordo com CALIJURI (1999), no período de julho de 1989 a julho de 1993, a concentração de fósforo total em Barra Bonita aumentou 33%, aproximadamente, evidenciando a aceleração do processo de eutrofização neste sistema.

A figura 76 apresenta os resultados obtidos para a *clorofila a total* nos anos de 1990 e 2002. Observa-se que as maiores concentrações foram obtidas em 2002, na estação seca, no compartimento T e na estação chuvosa no compartimento B. Verificou-se, pois, que a clorofila se concentrou no compartimento T na época da seca devido à presença de uma grande quantidade de nutrientes, principalmente, N e P provindos dos esgotos e da agricultura, que induzem uma maior produtividade do fitoplâncton e que tendem a se concentrar neste período, cujas vazões e precipitações ficam reduzidas. Sobretudo, o tempo de residência da água no reservatório é um dos fatores determinantes da concentração de clorofila. Foi notória também a relação deste parâmetro com as formas nitrogenadas e fosfatadas, principalmente, PID, PTD e P total, que também tiveram teores mais elevados na estação seca no compartimento T, favorecendo o processo de eutrofização. Outro fator que favorece a fotossíntese na estação seca é o aumento da transparência no sistema aquático, devido à redução da vazão, turbulência e do escoamento superficial.

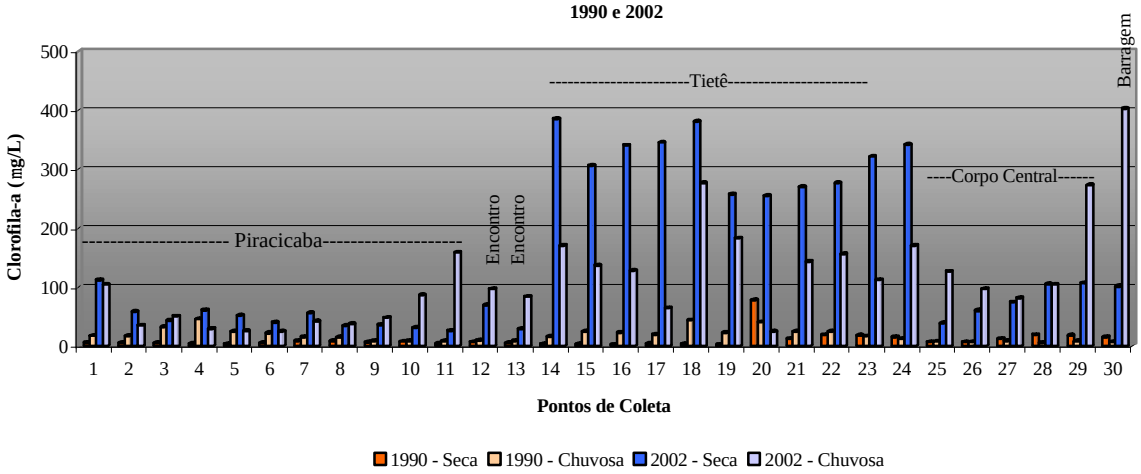
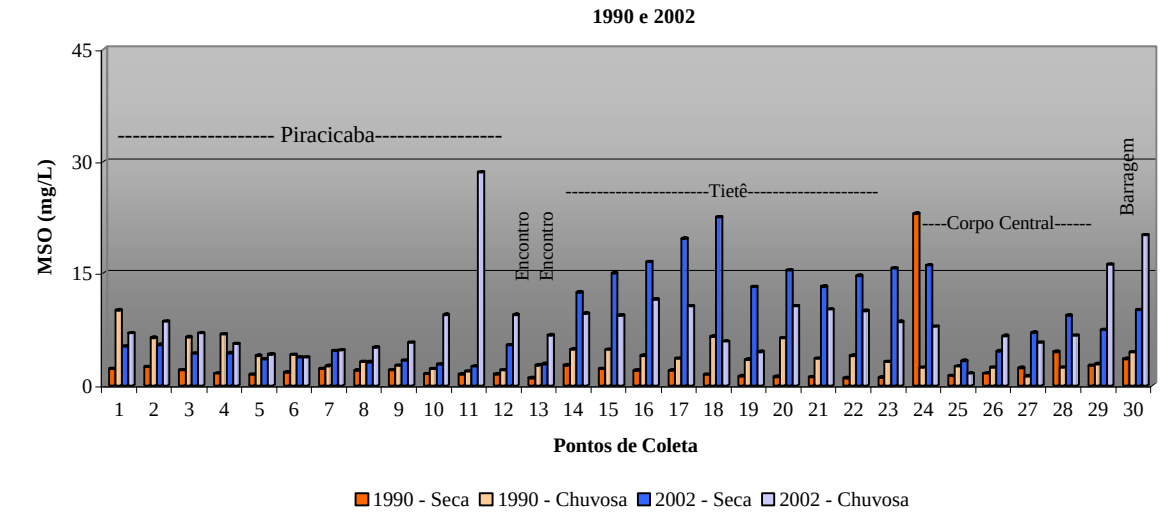


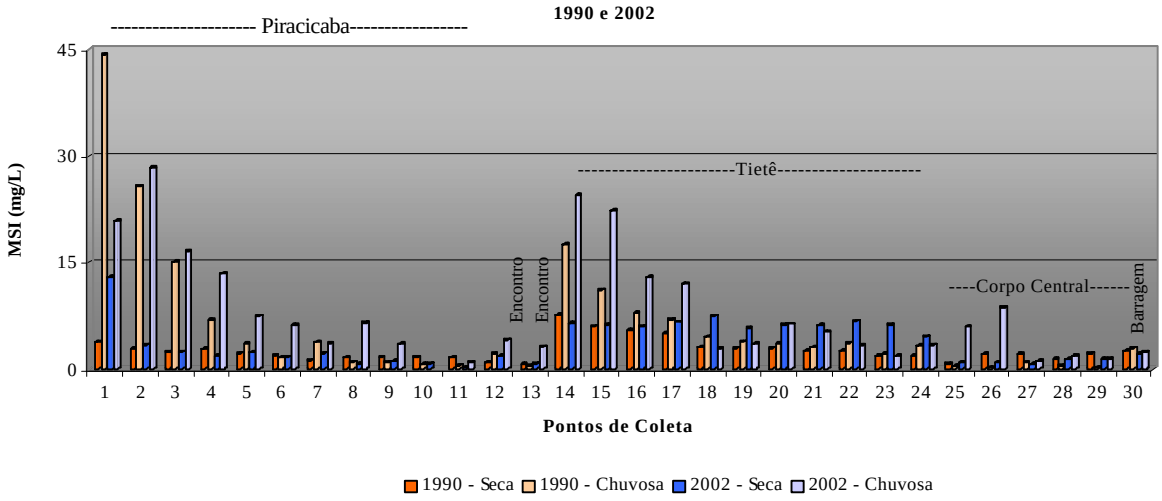
Figura 76: Clorofila a total, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens.

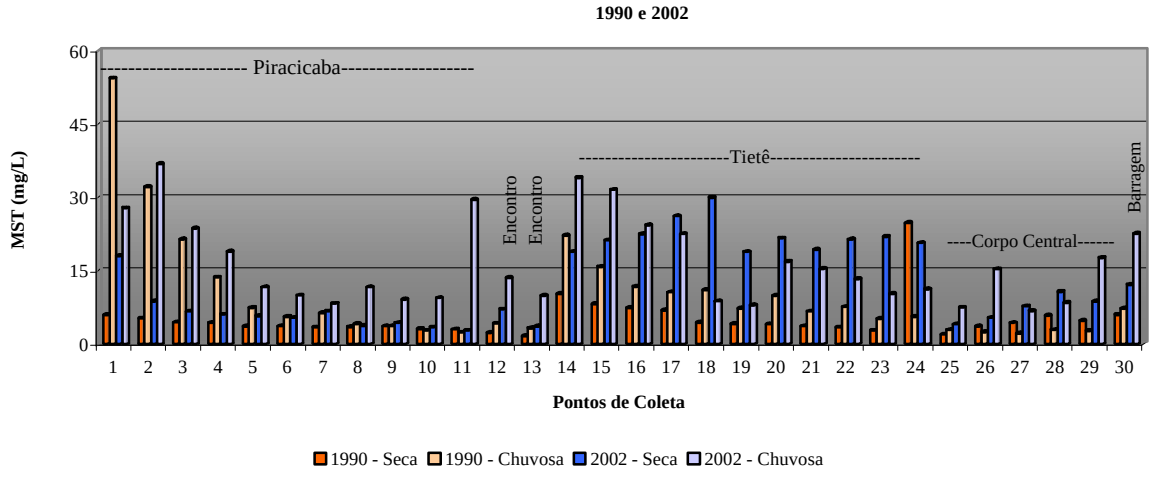
Uma maior concentração de clorofila a total no compartimento B, deve ter ocorrido na época da chuva, porque com o aumento das vazões os nutrientes são transportados para o "corpo" do reservatório, acumulando neste local, o que favorece a proliferação do fitoplâncton e, portanto, da concentração de clorofila, principalmente, quando os vertedouros da barragem encontram-se fechados e a velocidade da água reduzida.

Ainda quanto à clorofila a total, observou-se mais uma vez no compartimento P, um gradiente decrescente do ponto 1 para o 10 (para ambas as estações) mostrando que a concentração de clorofila foi maior na fase de rio (maior proximidade com as fontes de poluição) diminuindo conforme se aproxima do "corpo" central (efeito da depuração e diluição pelos afluentes de águas mais limpas). Deve estar ocorrendo também uma influência de ventos e turbulência da água na região do encontro dos "braços" com o "corpo" central o que reduz a atividade fitoplanctônica nestas proximidades, hipótese evidenciada pela diminuição da concentração de clorofila no ponto 20 do compartimento T (figura 9 do tópico 5.1.2.2). Além disso, uma mistura turbulenta de água leva a predominar organismos menores (pequenas clorofíceas e diatomáceas).

Para MSO, MSI e MST, as figuras 77 a 79 apresentam os resultados obtidos para 1990 e 2002, nas estações seca e chuvosa. No caso de *MSO*, os valores mais elevados foram obtidos no compartimento T, no período seco de 2002, com exceção do ponto 24 deste compartimento que apresentou concentração alta também no período seco de 1990 e dos pontos 11 (P) e 30 (B) que apresentaram concentrações altas no período chuvoso de 2002. Desta forma, parece estar havendo uma concentração de material em suspensão orgânico no compartimento T, provindo principalmente de esgotos, que na estação seca se concentram neste "braço" do reservatório, devido às precipitações e vazões naturais ficarem reduzidas. Quanto ao ponto 24, este fica localizado a jusante da entrada do afluente ribeirão da Capivara, que tem suas nascentes na região urbana de Botucatu, trazendo matéria orgânica provinda também de esgotos domésticos e industriais, além da contribuição da agricultura. O ponto 11 deve ter apresentado grande concentração de MSO na estação chuvosa de 2002 devido à contribuição do principal afluente do "braço" Piracicaba neste trecho, trazendo matéria orgânica dos municípios de Dois Córregos e Torrinha, além de estar localizado em frente a um grande condomínio às margens do reservatório, havendo indícios de que o esgoto produzido no mesmo seja lançado diretamente no reservatório, sem tratamento prévio (figura 9 do tópico 5.1.2.2).







Figuras 77, 78 e 79: Material em suspensão orgânico, inorgânico e total, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragens, respectivamente.

A grande concentração de MSO no período chuvoso de 2002 no ponto 30 (B) talvez esteja relacionada à concentração de nutrientes como o nitrato, o nitrogênio total e o fósforo total, verificando que estes nutrientes são transportados dos “braços” para a região central e da barragem.

No compartimento P, as maiores concentrações de MSO ocorreram na estação chuvosa em ambos os anos, levando a acreditar que este “braço” do reservatório recebe maiores contribuições de fontes difusas de poluição, visto que possui áreas de monocultivo, com destaque para a cana-de-açúcar, nas quais se aplica o vinhoto como fertirrigação, fonte rica em matéria orgânica. Verificou-se novamente um gradiente decrescente nas concentrações, desse parâmetro, da fase de rio para a fase de lago do reservatório. Porém, valores significativos foram obtidos, também nesse compartimento, na estação seca do ano de 2002, considerando o aumento na carga das fontes pontuais devido ao aumento populacional e à intensificação do processo de industrialização.

Com relação a *MSI*, a maior concentração foi obtida no compartimento P, na estação chuvosa do ano de 1990 (ponto 1), apesar das médias de precipitação desta estação para os anos de 1990 e 2002 terem sido muito próximas. Provavelmente em 1990 o solo estava mais exposto nas proximidades do ponto 1, visto que de acordo com MOURA (2000) o plantio da cana-de-açúcar ocorre justamente nos meses de janeiro a março (período chuvoso). Outro fato importante é que segundo dados obtidos em IBGE (2004), houve maior área plantada para culturas temporárias em 1990 em relação a 2002, já mencionado anteriormente. No compartimento T as maiores concentrações também foram no período chuvoso de ambos os anos. Observou-se para este parâmetro, tanto para o compartimento P como para o T na estação chuvosa, o gradiente decrescente de concentrações que vinha sendo observado apenas para o P, da fase de rio para a fase de lago, mostrando que o MSI, provavelmente, vai se depositando ao longo de cada rio, diminuindo suas concentrações ao atingir o “corpo” central. Para CALIJURI (1999), as partículas inorgânicas em suspensão têm efeito considerável nas propriedades físicas e químicas da água.

Ao observar o somatório de MSO e MSI, por meio do *MST*, pôde-se notar que o compartimento P apresenta concentrações mais elevadas em períodos de chuva, indicando ser uma bacia onde as fontes difusas de poluição estão atuando com mais intensidade em relação ao compartimento T. O inverso também ocorre em períodos de seca, demonstrando o maior potencial do compartimento T quanto às fontes pontuais de poluição em relação ao

compartimento P. Alguns picos de concentrações de MST foram notados também no caso de pontos localizados nas proximidades da desembocadura de afluentes, cuja bacia de contribuição era bastante antropizada e com pouca cobertura vegetal.

Na região onde está inserido o reservatório de Barra Bonita, o principal material lançado nos rios é constituído por argila e silte em suspensão. Estes sedimentos finos são carreados em suspensão por grandes distâncias e atingem, conseqüentemente, o interior do reservatório podendo permanecer aí por um longo período. O regime polimítico do reservatório impede a rápida decantação do material.(CALIJURI, 1999).

OISHI (1996) observou em Barra Bonita, que da carga de material em suspensão total, 7% são exportados e 93% são retidos no reservatório; que do total do material em suspensão inorgânico, 5% são exportados e 95% são retidos e que do total do material em suspensão orgânico, 21% são exportados e 79% permanecem retidos no reservatório em questão.

CALIJURI (1988) demonstrou que, no reservatório de Barra Bonita, o aumento do material em suspensão na água, na época de grande precipitação, é o principal responsável pela redução da zona eufótica, com interferências nas respostas fotossintéticas da comunidade fitoplanctônica. E ainda, no reservatório de Barra Bonita, o material em suspensão inorgânico é muito importante no transporte de fósforo da coluna d'água aos sedimentos.

O último parâmetro analisado foi o *silicato*, cujos resultados estão na figura 80.

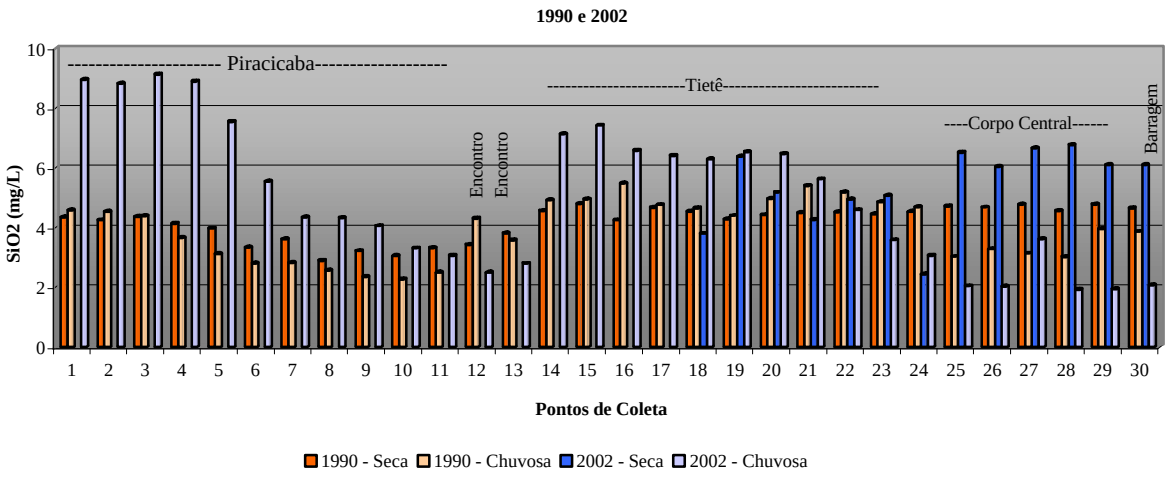


Figura 80: Silicato reativo, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos pontos de amostragem.

Neste estudo, o silicato, para a estação seca de 2002, somente foi analisado a partir do ponto 18. Dos dados obtidos, observou-se maiores concentrações na estação chuvosa de 2002 para o compartimento P, havendo um gradiente decrescente da fase de rio para a fase de lago. O rio Piracicaba recebe maior contribuição de sílica, principalmente em épocas chuvosas, porque seus afluentes possuem suas nascentes em regiões de cuestas basálticas, com predomínio dos arenitos, ao passo que os afluentes do rio Tietê nascem em regiões de rochas cristalinas, mais consolidadas. Apesar disto, o compartimento T, C e B apresentaram também concentrações bastante elevadas para este parâmetro. Porém, o compartimento T apresentou valores similares para as estações seca e chuvosa de ambos os anos e os compartimentos C e B apresentaram valores mais elevados na estação seca, indicando que a sílica é transportada na época de chuvas até o "corpo" central se concentrando neste local na estação seca.

Segundo OISHI (1996), no reservatório de Barra Bonita, há uma introdução de silicato reativo, da ordem de 53.063 ton/ano e uma exportação de 57.478 ton/ano. Para esta autora, a carga elevada obtida para o silicato resulta de altas vazões. De acordo com CALIJURI (1999), normalmente, a sílica aparece com uma concentração moderada em águas doces e é de grande importância para as diatomáceas.

GUNTZEL (2000) verificou que houve um pequeno aumento da concentração de silicato de 1978 para 1998 nos reservatórios em cascata do rio Tietê, obtendo o valor máximo 5 mg/L no reservatório de Barra Bonita. Contudo, ao se comparar este último valor com o máximo valor obtido neste mesmo reservatório em 2002 (acima de 9 mg/L), percebe-se que nos últimos anos a entrada de sílica no reservatório vem se intensificando, devido aos processos erosivos resultantes do manejo inadequado do solo o que provoca também uma aceleração do processo de sedimentação deste sistema aquático.

A partir dos resultados obtidos percebe-se, sobretudo, uma necessidade crescente de se tomar medidas que possam impedir, ou ao menos reduzir, a entrada de nutrientes no reservatório de Barra Bonita, provindos de fontes pontuais ou difusas. Neste sentido, algumas iniciativas são enumeradas a seguir, devendo ser tomadas nas diversas instâncias governamentais (federal, estadual e municipal), porém, com a participação de toda a sociedade, envolvidos todos em um processo de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos por bacia hidrográfica. Neste processo a conscientização a respeito dos problemas e a participação efetiva, são elementos essenciais na obtenção do êxito:

- Tratamento prévio de esgotos domésticos e industriais por meio de implantação de estações de tratamento de esgotos;
- Restauração de matas ciliares, ao longo dos principais afluentes e do próprio reservatório;
- Ordenação da ocupação do território, principalmente em regiões de nascentes, encostas e às margens dos corpos d'água;
- Políticas públicas que incentivem os proprietários rurais a manterem os pequenos trechos de vegetação natural existentes (implementação de RPPNs);
- Manejo adequado do solo, utilizando técnicas mais conservacionistas, evitando os processos erosivos;
- Redução da aplicação de defensivos agrícolas;
- Conscientização da população no sentido de evitar o lançamento de resíduos sólidos nos rios;
- Compatibilização e priorização dos usos múltiplos do reservatório, visando regular as vazões do reservatório segundo estes usos, evitando a proliferação de algas, a mortandade de peixes entre outros animais e a concentração de poluentes, entre outras medidas importantes.

6.4.3 Análise temporal dos parâmetros de qualidade de água em diferentes profundidades

Inicialmente, para reduzir o número de pontos a serem amostrados em profundidade no ano de 2002 (de 30 para 10), aplicou-se técnicas de sensoriamento remoto, visando identificar regiões homogêneas ao longo do reservatório em função do material em suspensão, clorofila e transparência da água. O resultado da segmentação e classificação, com identificação dos pontos amostrados em profundidade em 2002, encontram-se na figura 81.

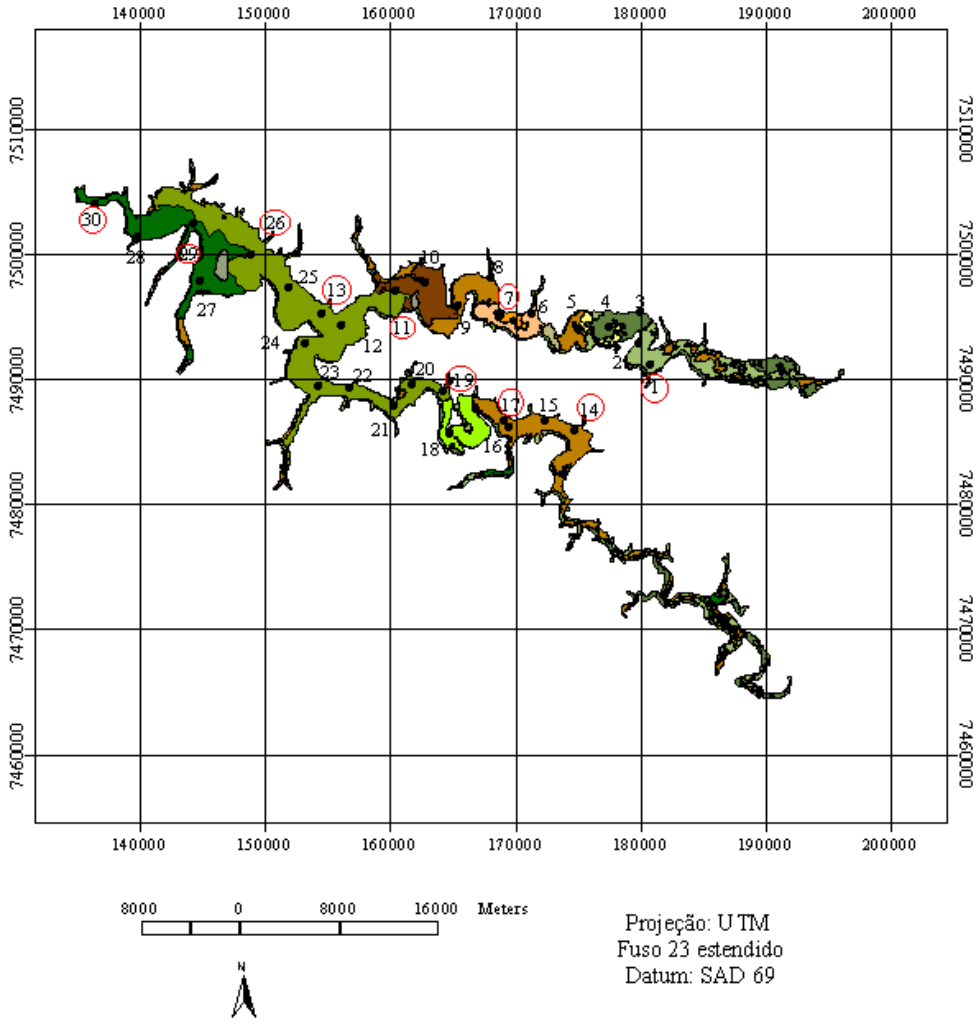
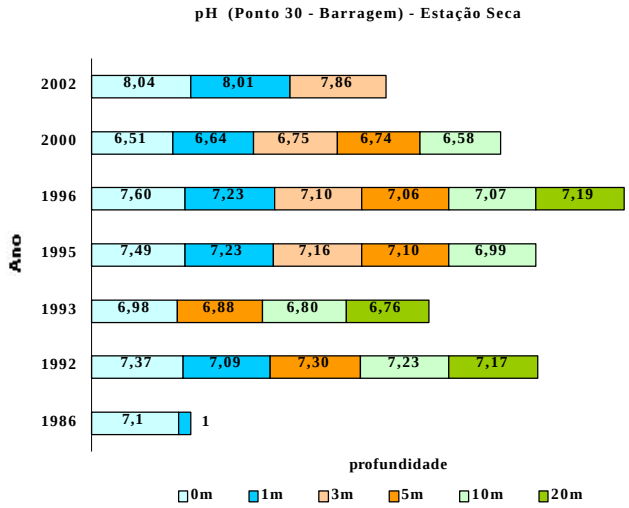
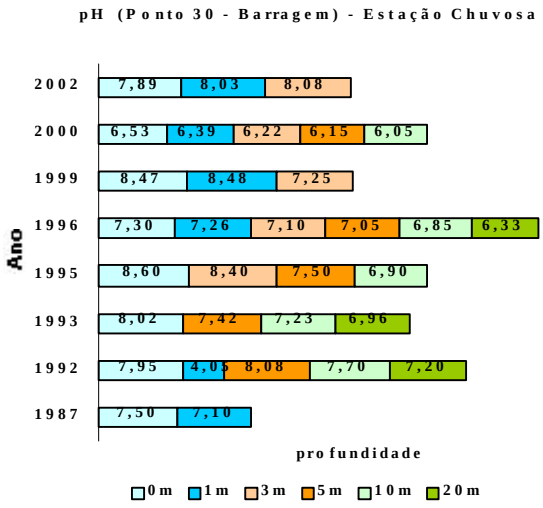
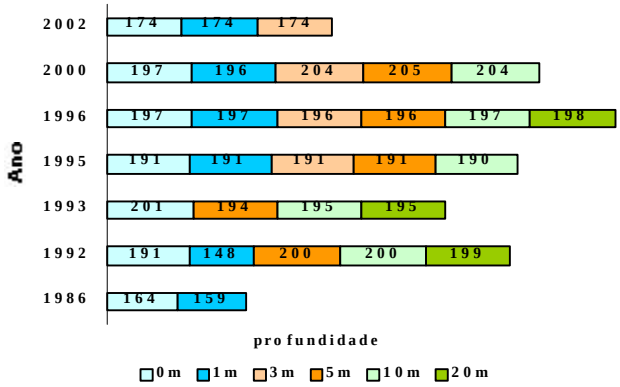


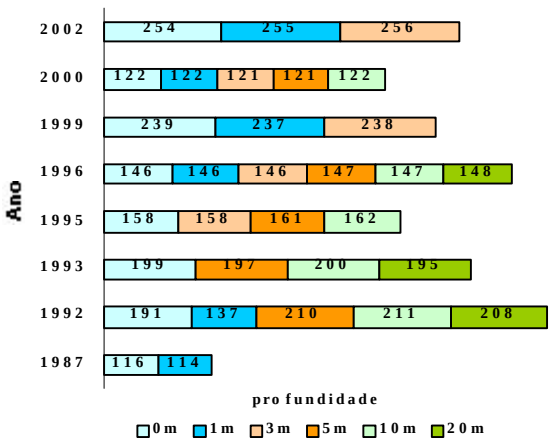
Figura 81: Diferentes regiões homogêneas ao longo do reservatório de Barra Bonita obtidas por imagem do sensor ETM+ do Landsat 7 em 2001, destancando os pontos que foram amostrados em profundidade.

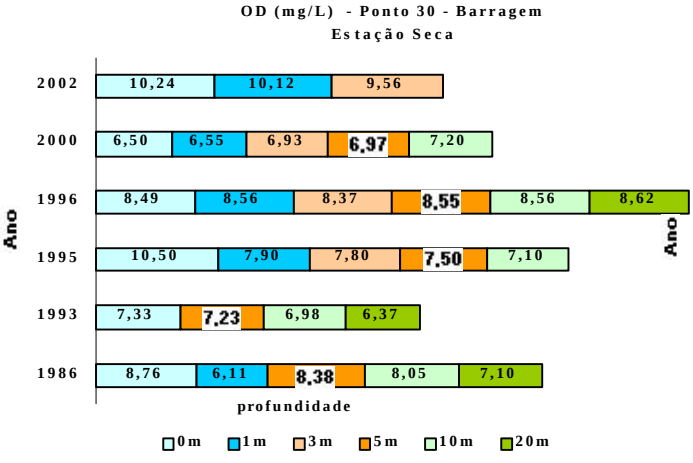
Posteriormente às amostragens e análise dos parâmetros em laboratório, uma análise temporal dos dados obtidos em diferentes profundidades foi realizada para o ponto 30 (B), visto que a maioria dos trabalhos considerados monitorou este ponto. Esta análise teve como objetivo verificar se a distribuição dos parâmetros de qualidade da água, na coluna d'água, vem sendo alterada ao longo do tempo. Nesta fase foi possível comparar apenas os parâmetros temperatura, condutividade e OD, para as estações seca e chuvosa, que foram obtidos em profundidades coincidentes (0, 1, 3, 5, 10 e 20 m) em alguns trabalhos ao longo do tempo (figuras 82 a 84).

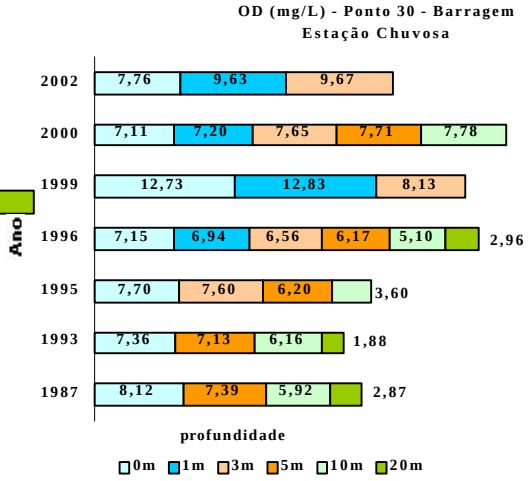












Figuras 82, 83 e 84: pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido no ponto 30 (barragem) em diferentes profundidades, estações seca e chuvosa, respectivamente, ao longo do tempo.

Quanto ao *pH*, tanto na época seca como na chuvosa, observou-se uma tendência à redução dos valores em profundidade, na maioria dos anos. Por outro lado, ao longo do tempo, o pH tendeu a aumentar, principalmente na superfície. Calculando uma média dos valores de pH para os anos analisados (tabela 25), verificou-se que na estação chuvosa os valores foram mais elevados em todas as profundidades, com exceção apenas da profundidade 20 m. Estes resultados se devem, provavelmente, pelo aumento da entrada de nutrientes no ecossistema em épocas chuvosas, por meio do escoamento superficial, processo que vem sendo acelerado ao passar dos anos. Os resultados que não seguiram esse comportamento se devem às alterações que ocorrem no sistema como à estratificação térmica.

Os valores de pH estão relacionados também à entrada de ácidos orgânicos e inorgânicos no meio aquático, à chuva consideravelmente ácida, além da sua relação com as comunidades aquáticas. Quanto maior for a biomassa vegetal em relação à massa d'água, maiores e mais rápidas ocorrerão as alterações de pH do meio. Assim, pode-se esperar que durante um período de 24 horas, possam ocorrer grandes variações de pH no mesmo ecossistema aquático continental (ESTEVES, 1988).

Tabela 25: Médias de pH nas diversas profundidades para os anos analisados.

	Profundidade (m)					
Estação	**0**	**1**	**3**	**5**	**10**	**20**
Seca	7,29	6,20	7,21	7,01	6,93	7,03
Chuvosa	7,78	6,88	7,41	7,24	6,94	6,83

Segundo BARBOSA (1981), em regiões tropicais, os ciclos limnológicos podem apresentar uma grande variação de amplitudes térmicas, podendo abranger desde períodos de um ano, até períodos de um dia, dependendo da localização geográfica e das características específicas do ambiente. Para CALIJURI (1999) as alterações no padrão vertical de temperatura da água, em curtos períodos de tempo, afetam consideravelmente outros fatores como a concentração de nutrientes, OD e condutividade elétrica.

Em relação à *condutividade elétrica*, o comportamento foi de aumento ao longo da coluna d'água, normalmente com pequenas oscilações, nos anos observados, atingindo os valores máximos no período chuvoso de 2002 (256 μS/cm). Estes resultados mostram estar havendo entrada de uma carga maior de nutrientes no reservatório ao longo do tempo, principalmente, ao se comparar os resultados de 2002

com os valores máximos obtidos em estudos anteriores neste local: 116 µS/cm (CALIJURI, 1988), 218 µS/cm (CALIJURI, 1999) e 243,6 µS/cm (GUNTZEL, 2000). Ao contrário dos valores de pH, os de condutividade são maiores no período da seca, para todas as profundidades (tabela 26), quando a concentração dos íons presentes na água fica maior.

Tabela 26: Médias de condutividade elétrica nas diversas profundidades para os anos analisados.

	Profundidade (m)					
Estação	**0**	**1**	**3**	**5**	**10**	**20**
Seca	187,86	177,42	191,25	197,17	197,20	197,22
Chuvosa	178,08	168,42	183,80	167,07	168,40	183,67

No que se refere ao *oxigênio dissolvido* nas diferentes profundidades, de maneira geral, observou-se que os teores tenderam a reduzir da superfície para o fundo. Ao se verificar a série temporal, percebeu-se uma variabilidade bastante grande ao longo dos anos analisados neste estudo. Porém, GUNTZEL (2000) relata que entre 1978/1979 e 1997/1998, no período chuvoso, houve uma redução de oxigênio dissolvido, de 7,2 mg/L para 2,3 mg/L no reservatório de Barra Bonita.

Quanto às estações do ano, no período das chuvas ocorre, no fluxo vertical, o predomínio de transporte de materiais e a ressuspensão do material de fundo. Nesta época, a turbulência na parte mais profunda, provocada pelas vazões turbinadas, a entrada de material alóctone e as elevadas temperaturas propiciam uma demanda maior de oxigênio dissolvido (CALIJURI, 1999). Deve ser por este motivo que se observou que as médias de cada profundidade dos anos estudados, no período chuvoso, possuem valores mais reduzidos que no período seco, nas profundidades 0, 3, 5, 10 e 20 m (tabela 27).

Tabela 27: Médias de oxigênio dissolvido nas diversas profundidades para os anos analisados.

	Profundidade (m)					
Estação	**0**	**1**	**3**	**5**	**10**	**20**
Seca	8,63	7,84	8,16	7,72	7,57	7,36
Chuvosa	8,27	9,15	7,92	6,91	5,71	2,57

Vários são os fatores que interferem na concentração de oxigênio dissolvido de um reservatório ao longo da coluna d'água, no tempo e no espaço, sendo os principais o vento, a precipitação, a temperatura, a vazão, a entrada de água de afluentes, as taxas fotossintéticas e de respiração e a entrada de material alóctone. Segundo SANTOS (2003) com o aumento da estratificação térmica aumentam também as concentrações de oxigênio dissolvido na superfície e o aumento da estabilidade do sistema está relacionado com a diminuição do tempo de retenção da água no reservatório e diminuição do vento. Com o aumento da estabilidade, os perfis de oxigênio também passam a ficar mais estratificados aumentando a anoxia nas regiões mais profundas do reservatório. Em situações em que as condições de vento e tempo de retenção da água são opostas, ocorre uma mistura das massas de água e a coluna se apresenta anóxica. CALIJURI (1999) observou uma alternância entre períodos de estabilidade e de mistura pelo vento no reservatório de Barra Bonita, denominando este fenômeno de "descontinuidades limnológicas".

Finalmente, é interesse ressaltar que em um monitoramento contínuo do reservatório de Barra Bonita visando manter melhores as condições da água, é muito importante a adoção de estratégias que venham a otimizar o processo, permitindo identificar a entrada de poluentes provindos de fontes difusas ou pontuais, como o nível trófico do ecosssistema.

Para (MITCHELL, 1997) pelo fato de o ambiente ser um sistema complexo, com uma grande quantidade de variáveis interrelacionadas, torna-se inviável analisá-las freqüentemente, pois a amostragem tem um custo elevado e consome de tempo e muito trabalho. Portanto, há a necessidade de se identificar indicadores que sejam elementos-chave no ecossistema, em um determinado tempo e situação. Estes poderão ser utilizados pelos gerenciadores do ecossistema que se pretende monitorar, podendo obter desta forma, um monitoramento efetivo e mais prático, que no caso do reservatório de Barra Bonita, possibilitaria maior agilidade na tomada de decisões que venham a atender aos usos múltiplos a que ele se presta.

6.5 Relação do estado trófico do reservatório de Barra Bonita com o potencial poluidor da bacia hidrográfica de estudo, devido às alterações antrópicas de 1990 a 2002

Com o intuito de fazer uma síntese e, concomitantemente, uma integração das informações obtidas sobre o potencial poluidor da bacia de drenagem do reservatório de Barra Bonita, bem como de sua relação com o estado de trofia do corpo hídrico em questão, calculou-se o Índice de Estado Trófico (IET) para os pontos de amostragens, utilizando dados de alguns parâmetros limnológicos de 1990 e 2002. Os valores deste índice, uma vez espacializados na forma de mapas, puderam ser confrontados com os mapas de potencial poluidor do uso e cobertura da terra (fontes difusas), por sub-bacias, também referentes à 1990 e 2002 (visto que os fatores fisiográficos como pedologia, geomorfologia, geologia, regime de chuvas e vazão não sofrem grandes alterações na escala de tempo de 12 anos). Ainda foram utilizados nesta análise dados censitários de densidade demográfica, indicadores principalmente das transformações no meio urbano (fontes pontuais de poluição), onde a população costuma se concentrar. E, para se fazer uma estimativa da contribuição da população para o processo de eutrofização do reservatório, aplicaram-se equações conforme ARCEIVALA (1981), explicitado no item materiais e métodos. E ainda, para verificar se as concentrações obtidas para os parâmetros limnológicos no reservatório de Barra Bonita estão condizentes com a legislação vigente, estes dados foram comparados com os limites estabelecidos pela proposta atual da Resolução CONAMA número 20, para a classe 2.

6.5.1 Crescimento populacional e aumento da carga de nitrogênio e fósforo como fontes de poluição pontual

O crescimento populacional é uma das principais causas da degradação da qualidade da água, visto que proporcionalmente a ele, há um aumento também da produção de resíduos líquidos, que na sua maioria são lançados *in natura* nos corpos d'água. A partir do levantamento do número de habitantes de 1990 e 2002 nos municípios com mais de 70% de sua área na bacia estudada, foi possível obter a tabela 28, na qual se observou um crescimento significativo da população neste período.

Verificou-se ainda que o crescimento populacional ocorreu na área urbana, havendo um decréscimo do número de habitantes na área rural, mostrando que houve neste período um êxodo rural, como ocorre em grande parte do país. O processo

acelerado de urbanização, com a ocupação desordenada do espaço urbano também causa problemas relacionados à água, devido ao desmatamento e ocupação de encostas, nascentes e margens dos rios; lançamento de resíduos sólidos, óleos e graxas nos corpos d'água e canalização inadequada de rios. Encontram-se associados aos danos ambientais os problemas sócio-econômico-culturais como o desemprego, a marginalização, a violência, o aumento da desigualdade social, dentre outros.

Tabela 28: Crescimento populacional de 1990 para 2002 na área de estudo.

População	Número de Habitantes		Crescimento em percentual
	1990	2002	
Urbana	2.255.150	3.254.045	44,3%
Rural	206.278	200.847	-2,6%
Total	2.461.428	3.454.892	40,3%

Fonte dos dados: SEADE, 2004.

A partir dos dados populacionais e de acordo com ARCEIVALA (1981), foi calculada a carga aproximada de nitrogênio e fósforo produzida e lançada nos corpos d'água da bacia estudada, pela população da bacia, nos anos de 1990 e 2002, respectivamente (tabela 29).

Tabela 29: Carga de nitrogênio e fósforo produzidos na bacia estudada.

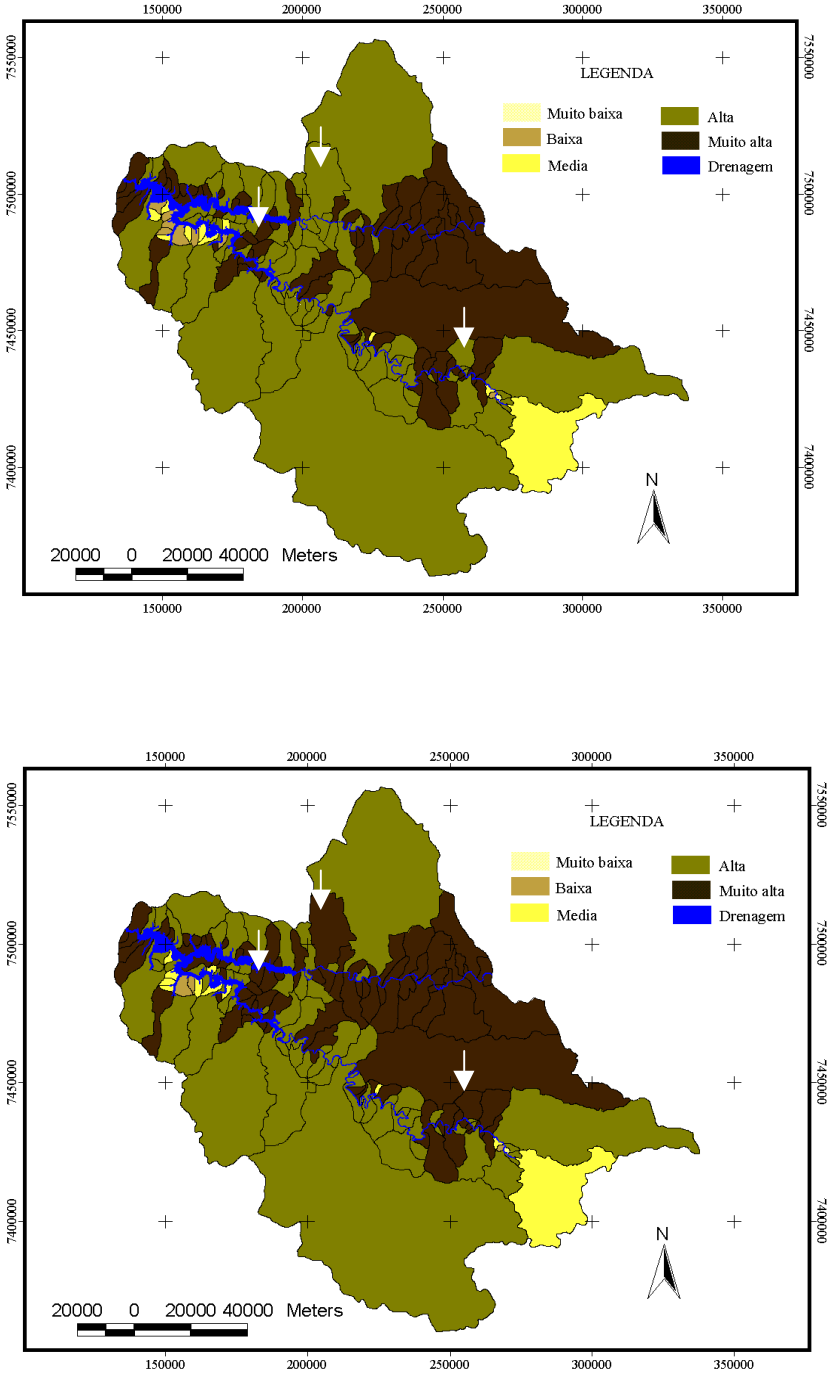
	Carga (toneladas)	
	1990	2002
Nitrogênio	7.187,37	10.088,28
Fósforo	1.796,84	2.522,07

Naturalmente, os dejetos humanos possuem uma quantidade maior de nitrogênio em relação ao fósforo, mas independente deste fato, observa-se um aumento significativo na carga de ambos os nutrientes, principalmente nos de origem urbana, que vêm sendo lançados nos corpos d'água da bacia em questão, atingindo o reservatório de Barra Bonita, com destaque para os resíduos provindos dos esgotos da Região metropolitana de São Paulo.

6.5.2 Incremento no potencial poluidor difuso das sub-bacias estudadas em função da dinâmica do uso e cobertura da terra

A partir dos dados de uso e cobertura da terra de 1990 e 2002, estação chuvosa, obtidos pelas imagens de satélite espacializados por sub-bacias aplicando a "Média

Zonal", foram obtidos os mapas do potencial poluidor destas sub-bacias com relação ao transporte de poluentes até o reservatório de Barra Bonita (figuras 85 e 86). A partir daí fez-se o cálculo de área para as classes obtidas em 1990 e 2002 (tabela 30).



Figuras 85 e 86: Potencial poluidor das sub-bacias estudadas no que se refere ao uso e cobertura da terra em 1990 e 2002, respectivamente.

Tabela 30: Área das classes de potencial poluidor das sub-bacias com relação ao uso e cobertura da terra.

Classes	Área - 1990 (km^2)	Área - 2002 (km^2)
Muito baixa	3,65	3,65
Baixa	120,58	50,27
Média	826,39	831,79
Alta	12.744,45	12.084,76
Muito alta	5.118,86	5.843,46
Drenagem	350,50	350,50
Total:	**19.164,43**	**19.164,43**

Comparando as figuras 85 e 86, atenciosamente, verifica-se que ocorreram modificações de 1990 para 2002 (indicadas pelas setas) nas sub-bacias estudadas. A tabela 30 confirma esta constatação, visto que os valores de área das classes para 1990 e 2002 indicam que aumentou o potencial poluidor das sub-bacias.

A hipótese de que as mudanças no uso e cobertura da terra podem estar causando um aumento no potencial poluidor difuso das sub-bacias já foi discutida, de forma consistente, no item 6.2.2 (tabela 14), a partir dos dados de área mais precisos do mapa de uso e cobertura da terra de 1990 e 2002, originados diretamente da classificação das imagens de satélite.

6.5.3 Índice de Estado Trófico (IET)

O Índice de Estado Trófico utilizado foi o de CARLSON (1974), modificado por TOLEDO *et al.* (1983), para os anos de 1990 e 2002, nas estações secas e chuvosas. A tabela 31 apresenta os resultados obtidos nesta fase do trabalho.

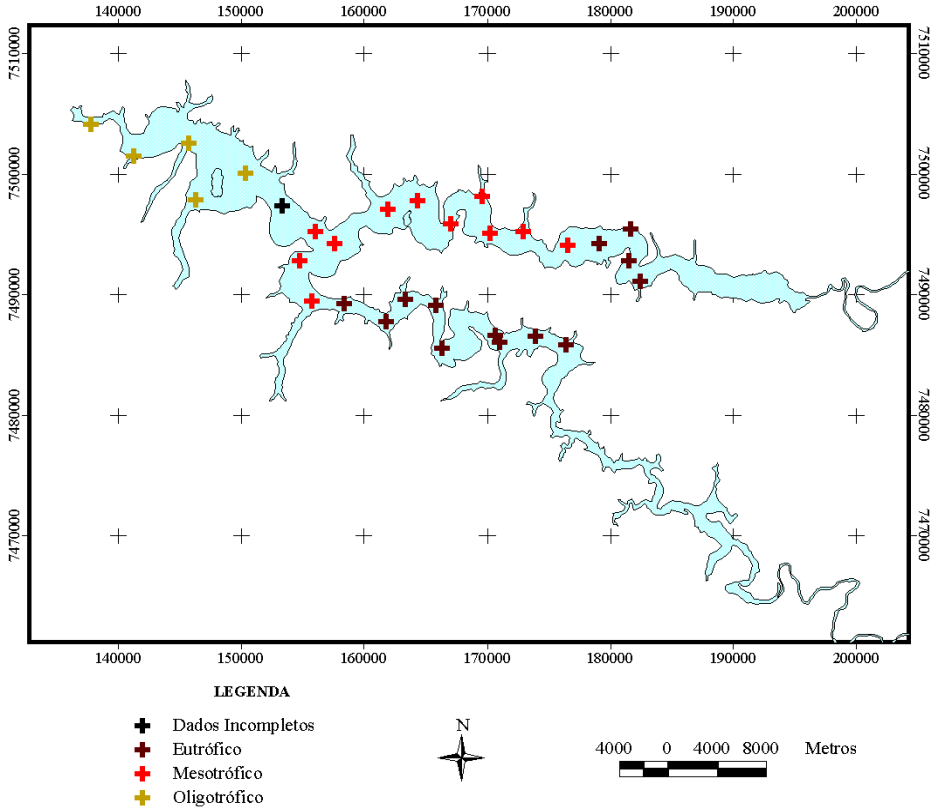
Primeiramente, observou-se que o nível eutrófico foi mais freqüente no ano de 2002, sendo que no período chuvoso de 2002 todos os pontos analisados apresentaram-se no grau eutrófico. Este fato indica que o processo de eutrofização no reservatório foi intensificado de 1990 para 2002, pela entrada de nutrientes por fontes pontuais ou difusas. Ao se considerar os níveis de estado trófico por estações do ano, percebeu-se que na estação chuvosa a situação de degradação tendeu a se agravar, tanto em 1990 quanto em 2002. Na época de maiores precipitações, o transporte de nutrientes da bacia de contribuição ao reservatório, por meio do escoamento superficial, é muito maior e, conseqüentemente, o processo de eutrofização é estimulado.

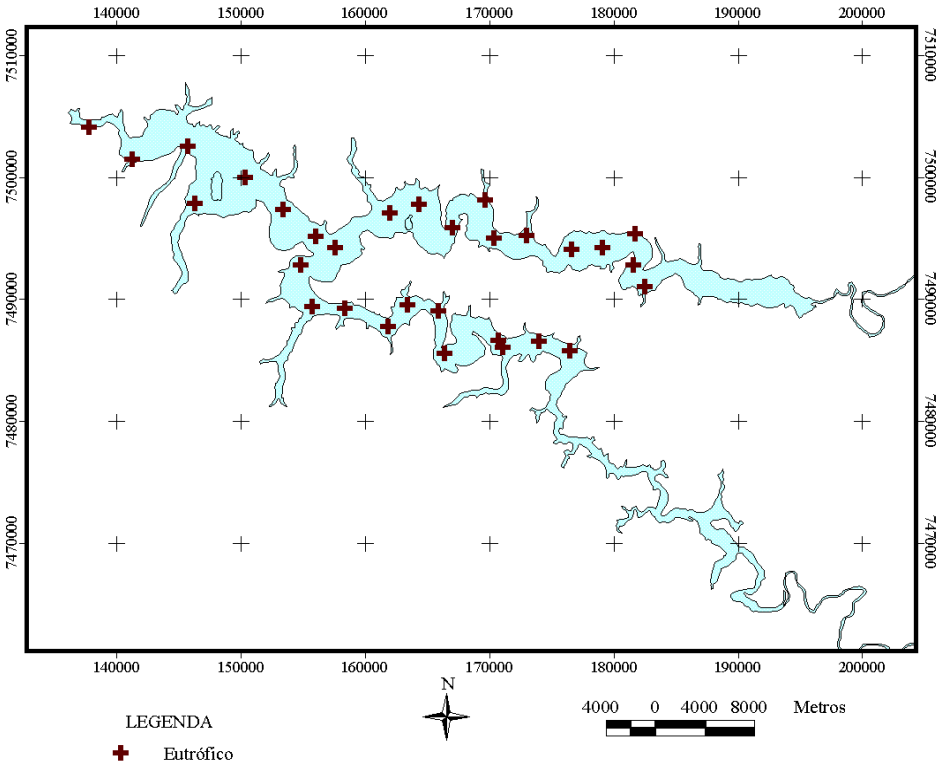
Tabela 31: Resultado da aplicação do Índice de Estado Trófico.

		IET médio			
Compartimento	**Pontos**	**1990 Seca**	**1990 Chuvosa**	**2002 Seca**	**2002 Chuvosa**
P	1,00	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
P	2,00	Mesotrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
P	3,00	Mesotrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
P	4,00	Mesotrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
P	5,00	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Eutrófico
P	6,00	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
P	7,00	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
P	8,00	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
P	9,00	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
P	10,00	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
P	11,00	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
E	12,00	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Eutrófico
E	13,00	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
T	14,00	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
T	15,00	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
T	16,00	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
T	17,00	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
T	18,00	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
T	19,00	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
T	20,00	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
T	21,00	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
T	22,00	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico
T	23,00	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Eutrófico
T	24,00	Eutrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Eutrófico
C	25,00	Mesotrófico	Dados incompletos	Eutrófico	Eutrófico
C	26,00	Mesotrófico	Oligotrófico	Eutrófico	Eutrófico
C	27,00	Dados incompletos	Oligotrófico	Eutrófico	Eutrófico
C	28,00	Dados incompletos	Oligotrófico	Eutrófico	Eutrófico
C	29,00	Dados incompletos	Oligotrófico	Eutrófico	Eutrófico
B	30,00	Mesotrófico	Oligotrófico	Eutrófico	Eutrófico

Legenda Compartimento: P= “braço” do rio Piracicaba (pontos de 1 a 11), T= “braço” do rio Tietê (pontos de 14 a 24), C= “corpo” central (pontos de 25 a 29), E= encontro dos “braços” (pontos 12 e 13) e B= barragem (ponto 30).

A partir da tabela 31, utilizando apenas os dados de estado trófico da estação chuvosa de 1990 e 2002 foi feita uma espacialização na forma de mapas (figuras 87 e 88), permitindo assim discutir a relação do nível trófico do reservatório de Barra Bonita com as alterações antrópicas na sua bacia de drenagem.





Figuras 87 e 88: Mapas do estado trófico dos pontos de amostragens no reservatório de Barra Bonita, em 1990 e 2002 respectivamente, estação chuvosa.

Verifica-se, pois, que em 1990, no período chuvoso, os compartimentos do reservatório de Barra Bonita apresentaram situações diferenciadas quanto ao estado trófico. Os pontos de amostragens do "braço" do rio Tietê apresentaram-se como eutróficos enquanto que os pontos do "braço" do rio Piracicaba apresentaram-se na sua maioria como mesotróficos e os pontos do "corpo" central e barragem apresentaram-se como oligotróficos. Já para o ano de 2002, também no período chuvoso, todos os pontos de amostragens do reservatório de Barra Bonita apresentaram-se no estado eutrófico.

Em 1990, apenas o "braço" do rio Tietê se apresentou eutrófico devido à contribuição dos esgotos domésticos (principalmente N e P) dos grandes centros urbanos, com destaque para os resíduos da região metropolitana de São Paulo. O "braço" do rio Piracicaba apresentou-se como mesotrófico devido à contribuição também das fontes pontuais de poluição, porém em menor escala que no rio Tietê, mas também devido à entrada de poluentes por fontes difusas (agricultura). O "corpo" central e barragem do reservatório, apresentaram-se como oligotróficos. Isto se explica pelo maior volume de água e distância das fontes de poluição pontuais e difusas, mais uma vez comprovando a interferência dos processos de diluição e depuração na melhoria da qualidade da água.

Por outro lado, os dados de estado trófico obtidos em 2002 mostram de forma clara a intensificação no processo de eutrofização deste corpo hídrico no período estudado e os resultados obtidos nos itens 6.5.1(crescimento populacional e aumento da carga de nitrogênio e fósforo como fontes de poluição pontual) e 6.5.2 (incremento no potencial poluidor difuso das sub-bacias estudadas em função da dinâmica do uso e cobertura da terra) corroboram efetivamente para este pressuposto.

Vários estudos têm sido realizados nas últimas décadas, no reservatório de Barra Bonita, contribuindo para a determinação do seu nível trófico. Em 1979, com a finalidade de estabelecer uma tipologia dos reservatórios do Estado de São Paulo, foi feito um estudo limnológico de 52 represas, quando foi constatado que o Reservatório de Barra Bonita era um dos mais eutrofizados da bacia do Médio Tietê, apresentando altos teores de nutrientes, alta condutividade e ocorrência de florescimentos de fitoplâncton (MATSUMURA-TUNDISI *et al.*, 1981).

Estudos realizados por CALIJURI (1988) classificaram o reservatório como um sistema polimítico, controlado pela precipitação, vento, vazão e tempo de residência. De acordo com estes estudos, a coluna d'água do reservatório tende a ser permanentemente desestratificada devido à ação do vento, apresentando elevadas taxas de oxigênio

dissolvido em toda sua profundidade. Quanto aos nutrientes, de modo geral, tanto o fósforo como o nitrogênio são fatores determinantes do processo de degradação da água, embora a adição de fósforo é a principal causa do processo de eutrofização.

Mais especificamente na década de 90, outras pesquisas (MATSUMURA-TUNDISI, 1990; CALHEIROS, 1993; NOVO e BRAGA, 1995; WISNIEWSKI, 1998; CALIJURI, 1999, entre muitas outras) obtiveram resultados demonstrando que a eutrofização continua ocorrendo no reservatório de Barra Bonita e que medidas no sentido de minimizá-la não têm sido tomadas para a sua bacia hidrográfica.

A intensificação do processo de eutrofização do reservatório de Barra Bonita compromete os usos múltiplos a que este se destina. Portanto, torna-se necessário, que haja uma articulação da sociedade, seja por meio dos comitês de bacias ou outro meio, no sentido de se implementar Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), principalmente nos grandes centros urbanos, a fim de minimizar a carga de nutrientes que são lançados na água, bem como exigir dos órgãos competentes que se faça a fiscalização eficiente dos efluentes lançados pelas indústrias, como está previsto em BRASIL (1997), além de melhor ordenação da ocupação do território e adoção de práticas conservacionistas de manejo da terra, visando reduzir as fontes difusas de poluição.

Para PEREIRA-FILHO (2000), a atividade humana tem um papel essencial no que se refere à qualidade da água. Como a água doce é um recurso que não pode ser aumentado na natureza e a sua demanda sofre um aumento expressivo com o aumento da população e dos meios de produção, é de vital importância que o homem tenha consciência da necessidade de um gerenciamento racional dos recursos hídricos disponíveis.

6.5.4 Comparação das concentrações de alguns parâmetros de qualidade da água analisados com os limites estabelecidos pelo CONAMA 20

Para verificar se as concentrações obtidas em um determinado curso d'água podem comprometer a qualidade da água deve-se comparar os dados obtidos com os limites estabelecidos pela Resolução número 20 do CONAMA de 1986. Esta resolução está passando por uma revisão e atualização sobre classificação e enquadramento de corpos de água e neste item, as concentrações dos parâmetros de qualidade da água obtidas no presente trabalho serão comparadas com os limites estabelecidos pela nova proposta de resolução (CONAMA 20, 2003). Os parâmetros considerados neste estudo,

cujos limites estão estabelecidos (CONAMA 20, 2003) são: pH, OD, P total, NO_2, NO_3 e Clorofila *a*.

Desta forma, a tabela 32 apresenta o número de eventos por estação (seca e chuvosa) e ano (1979 a 2002) que não atenderiam aos limites estabelecidos pela nova proposta do CONAMA 20 para a Classe 2 (em vermelho) em relação ao número total de eventos analisados, para este período, no presente estudo. Assim sendo, verificou-se que o parâmetro cujos valores excederam os limites estabelecidos (CONAMA 20, 2003), com maior freqüência, foi o P total (85,13%). Observou-se para este parâmetro que até meados da década de 90, os valores que excederam o limite estabelecido (CONAMA 20, 2003), eram mais freqüentes na estação chuvosa, fato explicado pela entrada deste elemento pelo escoamento superficial. A partir de então, ambas as estações do ano passaram a apresentar todos os seus eventos com valores além do limite estabelecido (CONAMA 20, 2003), o que indica que a eutrofização do reservatório em questão vem aumentando, considerando que o P é o seu maior indutor.

Para os parâmetros pH e OD, a porcentagem de eventos em que os valores não se enquadraram nos limites estabelecidos (CONAMA 20, 2003) foi baixa, 10,63% para o pH e 16,93% para o OD. No caso do NO_2^- e NO_3^-, não foram observados eventos, cujos valores excederam os limites estabelecidos (CONAMA 20, 2003).

Quanto à clorofila *a*, verificou-se um número maior de eventos, cuja concentração extrapolou o limite estabelecido (CONAMA 20, 2003), para este parâmetro, na estação chuvosa de cada ano, concluindo que o aumento da clorofila *a* deve estar relacionado à entrada de nutrientes por fontes difusas, assim como à intensidade de luz, que no período chuvoso correspondente ao verão, é maior. Dos eventos considerados 41,66% tiveram seus valores acima do limite estabelecido (CONAMA 20, 2003), sendo que nos anos mais recentes a ocorrência destes foi maior.

Notou-se ainda que para todos os parâmetros em questão, com exceção do NO_2 e NO_3^-, houve uma tendência a aumentar o número de eventos que não atenderam aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 20 para a Classe 2, ao longo dos anos estudados. Este fato confirma mais uma vez a suposição de que a qualidade da água vem sendo comprometida cada vez mais pela entrada de poluentes provindos da bacia de contribuição do reservatório de Barra Bonita, em função do uso inadequado das terras; da redução da cobertura vegetal; do aumento da população e, portanto, da carga de esgotos domésticos lançada nos corpos d'água; do aumento da urbanização e industrialização e da expansão agrícola.

Tabela 32: Comparação dos valores dos parâmetros analisados neste estudo com os limites estabelecidos pela Proposta de atualização do CONAMA 20 para a Classe 2.

Ano	**Ph 6 a 9**	**pH %**	**OD Não inferior a 5 mg/L**	**OD %**	**PTotal 30 mg/L (ambientes lênticos)**	**PTotal %**	**NO_3 10000 mg/L**	**NO_3 %**	**NO_2 1000 mL**	**NO_2 %**	Clorofila *a* **30 mg/L**	Clorofila *a* %
1979Seca	0/1	0	0/1	0	-	-	0/1	0	0/1	0	-	-
1979Chuvosa	0/1	0	0/1	0	-	-	0/1	0	0/1	0	-	-
1986Seca	0/1	0	0/1	0	-	-	0/1	0	0/1	0	0/1	0
1987Chuvosa	0/1	0	0/1	0	-	-	0/1	0	0/1	0	0/1	0
1990Seca	-	-	-	-	19/30	66,33	0/30	0	0/30	0	1/30	3,33
1990Chuvosa	-	-	-	-	19/30	66,33	0/29	0	0/30	0	4/30	13,33
1992Seca	3/27	11,11	9/29	31,03	16/22	72,72	0/21	0	0/21	0	1/7	14,28
1992Chuvosa	1/10	10,00	1/12	8,33	7/7	100	0/7	0	0/7	0	3/7	42,85
1993Seca	0/10	0	0/6	0	3/4	75	0/4	0	0/4	0	1/7	14,28
1993Chuvosa	0/9	0	0/6	0	3/3	100	0/3	0	0/3	0	4/9	44,44
1994Seca	0/3	0	-	-	2/3	66,66	0/3	0	0/4	0	1/3	33,33
1994Chuvosa	0/3	0	-	-	3/3	100	0/3	0	0/3	0	1/3	33,33
1995Seca	0/9	0	1/11	9,09	9/11	81,81	0/10	0	0/10	0	0/11	0
1995Chuvosa	1/10	10,00	2/11	18,18	10/11	90,90	0/10	0	0/10	0	8/11	72,72
1996Seca	0/3	0	0/3	0	-	-	-	-	-	-	-	-
1996Chuvosa	0/3	0	0/3	0	-	-	-	-	-	-	-	-
1998Chuvosa	0/3	0	3/3	100,00	3/3	100	0/3	0	0/3	0	2/3	66,66
1999Seca	0/12	0	1/12	8,33	12/12	100	0/12	0	0/12	0	4/12	33,33
1999Chuvosa	0/11	0	3/11	27,27	11/11	100	0/11	0	0/11	0	3/8	37,5
2000Seca	1/5	20,00	2/5	40,00	5/5	100	0/6	0	0/6	0	1/6	16,66
2000Chuvosa	1/7	14,28	0/7	0	7/7	100	0/6	0	0/7	0	2/7	28,57
2002Seca	1/30	3,33	2/30	6,66	30/30	100	0/30	0	0/30	0	28/30	93,33
2002Chuvosa	12 /30	40,00	7/30	23,33	30/30	100	0/30	0	0/30	0	26/30	86,66
Total	**20/188**	**10,63**	**31/183**	**16,93**	**189/222**	**85,13**	**0/222**	**0**	**0/225**	**0**	**90/216**	**41,66**

Em vermelho: valores que não atenderam os limites estabelecidos pela nova proposta do CONAMA 20 para a Classe 2.

7.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo, as principais conclusões levantadas neste estudo serão apresentadas na forma de tópicos, bem como algumas recomendações para possíveis estudos a serem desenvolvidos na mesma área ou aplicando a mesma metodologia adotada no estudo em questão.

- Para a obtenção do mapa de coeficientes de variação de pluviosidade, relativo à bacia estudada, a técnica de geoestatística denominada krigeagem foi muito importante, possibilitando a espacialização dos dados com maior confiabilidade. Portanto, quanto maior o número de pontos, mais precisa será a modelagem dos mesmos.
- A bacia de drenagem do reservatório de Barra Bonita, por ser extensa, possui características fisiográficas diferenciadas, interferindo de forma também distinta nos processos de infiltração e escoamento da água até o reservatório de Barra Bonita.
- As técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas para a obtenção dos mapas de uso e cobertura do solo se mostraram eficientes para a escala de estudo proposta (1:250.000). Porém, o tempo e trabalho de processamento foram bastante grandes devido à grande extensão da área e a fragmentação e mistura das classes geraram um certo grau de confusão no processo de classificação. Sugere-se que em trabalhos futuros sejam utilizadas imagens de satélite com melhor resolução espacial ou um número maior de amostragens de campo, no intuito de melhor diferenciar e quantificar as classes.
- Quanto às alterações no uso e cobertura da terra da bacia estudada, de 1990 a 2002, o cálculo de áreas indicou que tem ocorrido um processo gradativo de expansão das fronteiras agrícolas e urbanas, comprometendo os remanescentes de vegetação natural e gerando uma carga maior de contaminantes (poluição pontual e difusa) que têm como destino os corpos d’água.
- A divisão da bacia de drenagem do reservatório de Barra Bonita em sub-bacias permitiu, a partir da ponderação e integração dos temas, a identificação de áreas com maior potencial poluidor (principalmente em relação às fontes difusas), merecendo maior atenção e detalhamento em um planejamento de recursos hídricos em escala regional.

- A ponderação dos temas e suas respectivas classes, com auxílio de profissionais especialistas em cada tema, foi um processo interessante visto que se buscou simular o efeito dos temas no transporte de poluentes ao reservatório a partir de informações mais consistentes sobre a área estudada, ao passo que os ponderadores automáticos (sistemas de suporte à decisão), não consideram a experiência e conhecimento pré-existentes.
- Dentre os temas considerados, os que tiveram maior peso quanto à contribuição para a exportação de poluentes foram a distância das sub-bacias em relação ao reservatório de Barra Bonita e o uso e cobertura da terra nas mesmas, sendo o último um fator crucial, considerando que as ações antrópicas têm sido a principal causa dos problemas relacionados aos recursos hídricos. Desta forma, verificou-se a necessidade emergencial de planejamento do uso e ocupação das terras e a adoção de práticas de manejo do solo e da água mais sustentáveis na área estudada.
- O banco de dados limnológicos construído no presente trabalho possibilitará consulta mais ágil dos dados da literatura no período de 1979 a 2002, bem como o aproveitamento do mesmo para o desenvolvimento de outros estudos no reservatório de Barra Bonita, referentes à qualidade da água.
- Dos parâmetros de qualidade da água do reservatório de Barra Bonita analisados temporalmente (1979 a 2002), os que melhor apresentaram uma tendência de degradação da água foram: condutividade elétrica, nitrato, fósforo total e clorofila a total.
- Ao se considerar o reservatório de Barra Bonita como um sistema aquático com compartimentos diferenciados quanto à qualidade da água e entrada de poluentes, concluiu-se que o “braço” do rio Tietê é o que apresenta teores mais elevados de material orgânico, provindo dos esgotos domésticos e industriais dos grandes centros urbanos (fontes pontuais de poluição). Neste caso, deve-se destacar a condutividade elétrica, clorofila a total, transparência da água, nitrito, nitrato, amônio, fosfato inorgânico dissolvido, fosfato total dissolvido e MSO. Quanto ao fósforo total observou-se que os teores são maiores no “braço” do rio Tietê na estação seca e no “braço” do rio Piracicaba na estação chuvosa, mostrando que a bacia deste último contribui de forma mais significativa para a entrada de poluentes

provindos de fontes difusas, relacionadas à agricultura, verificando também maiores teores de MSI e silicato reativo neste compartimento na estação chuvosa.

- O grande volume de dados processados e integrados no presente trabalho, sendo apresentados na forma de banco de dados, mapas, gráficos e tabelas, será disponibilizado em instituições relacionadas ao planejamento e gerenciamento de recursos hídricos da bacia de drenagem do reservatório de Barra Bonita, podendo ser internalizados ao Sistema de Informações de Recursos Hídricos, que é um instrumento de gestão estabelecido pela PNRH, Lei 9.433 de 08/01/1987.

8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. de (1964). Os fundamentos geológicos do relevo Paulista. *Bol. Inst. Geogr. e Geol*. São Paulo, vol. 41, p. 169-263.

APHA (1995). American Public Health Association American Water Works Association, Water Environment Federation. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.*19a. Washington: Ed. Byrd. Repress Springfield. 1.134 p.

ARCEIVALA, S. J. (1981). *Waste water treatment and disposal*. New York: Marcel Dekker. 892 p.

BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C. (1995). *Interactive Spacial Data Analysis.* England: Addison Wesley Longman Limited, Edinburgh Gate, Harlow. Essex CM 202 JE. 413 p.

BARBOSA, F. A. R. (1981). *Variações diurnas (24 horas) de parâmetros limnológicos básicos e da produtividade primária do fitoplâncton na Lagoa Carioca, Parque Florestal do Rio Doce, MG, Brasil*. 206 p. Tese (Doutorado) - Ecologia e Recursos Naturais, DEBE, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 1981.

BARTH, F. T (2002). O modelo de gestão de recursos hídricos no Estado de São Paulo, SP. In: THAME, A. C. M. (org.). *Comitês de Bacias hidrográficas: uma revolução conceitual*. São Paulo: Iqual Editora. 150 p.

BILALETDIN, Ä.; KOSKINEN, K.; FRISK, T. (1991). Statistical assessment of different contributions to nutrient loading from a drainage basin. *Aqua Fennica*, v. 21, p. 117-126.

BILALETDIN, Ä; FRISK, T.; KAIPAINEN, H. (2001). Assessment of the different contributions to loading and their effects on eutrophication of lake Längelmävesi, Finland. In: 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE DIFFUSE/NONPOINT POLLUTION AND WATERSHED MANAGEMENT. 2001, Wisconsin. [CD-ROM]. *Proceedings*.

BINS, L. S.; ERTHAL, G. J. e FONSECA, L. M. G. (1993). Um método de classificação não-supervisionada por regiões. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS. 1993, Recife. *Anais.*

BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; DANTAS, A.S.L.; PONÇANO, W.L.; CAMPANHA, G.A.DA C.; NAGATA, N.; ALMEIDA, M.A.DE; STEIN, D.P.; MELO, M.S.DE; CREMONINI, O.A. (1981). Mapa geológico do Estado de São Paulo. São Paulo: SICCT/Pró-Minério/DCET- Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Escala 1:500.000, v. 1 e 2, 126 p.

BISWAS, A.K. (1991). Effective monitoring of lake waters. In: HASHIMOTO, M.; BARRET, B.F.D. (eds). *Guidelines for lake management*, ILEC, UNEP. Section 3.2, p.83-96.

BORMANN, F. H.; *et al.* (1974). The export of nutrients and recovery on stable conditions following deforestation at hubbard brook. *Ecological monographs*, v. 44, p. 255-277.

BORRE, L.; BARKER, D. R.; DUKER, L. E. (2001). Institutional arrangements for managing the great lakes of the world: results of a workshop on implementing the watershed approach. *Lakes e Reservoirs: Research and Management*, v. 6, p.199-209.

BRAGA, C. Z. (1999). *Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da concentração de clorifila-a, transparência e profundidade da água na Lagoa de Araruama, RJ*. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.1999.

BRANCO, S. M. (1986). *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. São Paulo: CETESB/ASCETESB. 616 p.

BRASIL (1997). Lei n° 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BREZONIK, P. L.; EASTER, K. W.; HATCH, L.; MULLA, D.; PERRY, J. (1999). Management of diffuse pollution in agricultural watersheds: lessons from the Minnesota River Basin. *Wat. Sci. Tech*., vol. 39, n° 12, p. 323-330.

BURROUGH, P. A. (1986). *Principles of geographical information systems for land resources assessment.* Oxford: Clarendon Press.193 p.

BURROUGH, P. A.; McDONNEL, R. A. (1998). *Principles of geographical information systems: spacial informationsystems and geoestatistics.* Oxford: Clarendon Press. 333p.

CALHEIROS, D. F. (1993). *Ecotoxicologia de compostos organoclorados persistentes em um ecossistema eutrófico: represa de Barra Bonita (Médio Tietê – SP).* 198p.

Dissertação (Mestrado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1993.

CALIJURI, M. C. (1988). *Respostas fisioecológicas da comunidade fitoplanctônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização.* 293p. Tese (Doutorado). Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1988.

CALIJURI, M. C. (1999). *A comunidade fitoplanctônica em um reservatório tropical (Barra Bonita, SP).* 211p. Tese (Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.1999.

CÂMARA, G. *et al.* (1996). *Anatomia de sistemas de informação geográfica.* Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP. 193p.

CÂMARA, G. *et al.* (2000). Análise espacial de dados geográficos. FEIRA E CONGRESSO INTERNACIONAIS DE GEOINFORMAÇÃO. São Paulo. *Anais.*

CAMARGO, E. C. G. (1997). *Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigeagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (SPRING).* Dissertação (Mestrado). Divisão de Sensoriamento Remoto – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1997.

CAMARGO, E. C. G; FUKS, S. D. (2001). *Geoestatística: fundamentos e aplicações.* In: CÂMARA, G. *Geoprocessamento: teoria e aplicações.* Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>Acesso em: jul. de 2004.

CARLSON, R. E. (1974). *A trophic state index for lakes*. Contribution no 141. Limnological Research Center. University of Minnesota, Mineapolis. 17 p.

CHAVEZ JR., P. S. (1988). An Improved Dark-Object Subtraction Thechnique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data*. Remote Sensing of Environment,* vol. 24, p. 459-479.

CHAVEZ JR., P. S. (1996). Image-Based Atmospheric Corrections Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering e Remote Sensing,* vol.62, nº 9, p.1.025-1.036.

COIMBRA, R.M. (1991). Monitoramento da qualidade da água. In: PORTO, R.L.L. *et al. Hidrologia Ambiental*. São Paulo: USP/ABRH (coleção ABRH de Recursos Hídricos). v.3., p.392-411.

CONAMA 20 (2003). Proposta de atualização da Resolução CONAMA n° 20 de 1986 procedida da 4° Reunião da Câmara Técnica de Controle e Qualidade Ambiental. Ministério do Meio Ambiente. Processo n° 02000.002378/2002-43.

COSTA, J. B. (2001). *Avaliação ecotoxicológica da água e sedimento de tributários do reservatório de Barra Bonita, Médio Tietê Superior-SP*. Dissertação (Mestrado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2001.

CHRISTOFOLETTI, A. (1980).*Geomorfologia*. 2°ed. São Paulo: Edgard Blucher.

CRÓSTA, A. P. (1992). *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Campinas: Ed. Rev. Campinas, UNICAMP.

D'ALGE, J.C.L. (2001). Precisão de registro de imagens digitais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. Comunicação pessoal.

DANGERMOND, J. (1992). What is a Geographic information System (GIS)? In: JOHNSON, A .I.; PETTERSSON, C. B.; FULTON, J. L. *Geographic Information Systems (GIS) and Mapping – Practices and Standards.* Philadelphia: ASTM STP 1126, Eds. American Society for Testing and Materials. p.11-17.

De FILIPPO, R. (1987). *Ciclo sazonal do fitoplâncton, fatores climáticos e hidrológicos na represa de Barra Bonita, São Paulo.* 90 p. Dissertação (Mestrado)- Ecologia e Recursos Naturais, DEBE, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 1987.

DEUTSCH, C. V. JOURNEL, A. G. (1998). *GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide*. New York: Oxford University Press. 369 p.

DONZELI, P. L.; PINTO, S. A. F.; LOMBARDI NETO, F.; VALÉRIO FILHO, M.; VALERIANO, M. M. *Modelo MUSLE e sistemas de informações geográficas aplicados aos estudos de pequenas bacias hidrográficas*. Trabalho apresentado na X Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água (Florianópolis – SC). Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, resumos, 140p.

DOYLE, T. M.; GRAY, N. F. (1995). *Protocol for monitoring and predicting the impact of acid mine drainage: Designing and setting up a geographical information system (GIS).* Thecnical Report: 25, Water Technology Research, Trinity College, University of Dublin, Dublin, 38p.

EHLERS, M. (1991). Remote sensing and geographic information systems: image integraded information systems. In: JOHNSON, A. I.; PETTERSON, C. B.,

FULTON, J. L. *Geographic Information Systems (GIS) and Mapping – Practices and Standards*. Philadelphia: ASTM STP 1126, Eds. American Society for Testing and materials. p. 53-67.

EMBRAPA. (1999). Centro Nacional de Pesquisas em Solos (Rio de Janeiro). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção da Informação. 412 p.

ENGLE, D. L.; SARNELLE, O. (1990). Algal use of sedimentary phosphorus from an Amazon floodplain lake: implications for total phosphorus analysis in turbid waters. *Limnol. Oceanogr*, v.35, n.2, p. 483-490.

EPIPHANIO, J.C.N; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T . (1996). Índices de vegetação no sensoriamento remoto na cultura do feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, n. 6, p. 445-454.

ESPÍNDOLA, E. L. G. (1994). *Dinâmica da associação congenérica das epécies de Notodiaptomus (Copépoda, Calanoida) no reservatório de Barra Bonita, São Paulo.* São Carlos, SP, 363p. Tese (Doutorado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1994.

ESTEVES, F. A. (1988). *Fundamentos de limnologia.* Rio de Janeiro: Interciência/FINEP. 575p.

FELGUEIRAS, C. A.; MONTEIRO, A. M. V.; FUKS, S. D.; CAMARGO, E. C. G. (1999). Inferências e Estimativas de Incertezas Utilizando Técnicas de Krigeagem Não Linear. In: V CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA – GIS BRASIL 99, Salvador. [CD-ROM]. *Anais.*

FELICIDADE, N.; VARGAS, M. C.; MIRANDA, C. O. (2001). O processo de interiorização do desenvolvimento e suas implicações ao acesso e uso da água pelo cidadão: desafios econômicos, sociais e político-institucionais do caso paulista. In: FELICIDADE, N.; MARTINS, R. C. ; LEME A.A.(org.). *Uso e Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil*. São Carlos: Editora RIMA. Cap.13, p. 224-236.

FONSECA, L. M. G.; LOPES, E. S.S.; YAMAGUCHI, F. Y.; VINHAS, L. (2000). *Processamento Digital de Imagens.* Apostila. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 104p.

FORMAGGIO, A. R.; MOURA, V.; EPHIPHANIO, J. C.; SILVA, H. R.; FIORIO, P. R.; CAMPOS, R. C. (2003). Dados TM-Landsat na estimativa de culturas de verão, no Estado de São Paulo. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Belo Horizonte. [CD-ROM]. *Anais.* p.93-100

FRACÁCIO, R. (2001). *Utilização de bioensaios ecotoxicológicos com Danio rerio (Cypriniformes, Cyprinidae) e análises limnológicas para a avaliação ambiental dos reservatórios do Médio e Baixo rio Tietê (SP).* 183p. Dissertação (Mestrado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2001.

GANZELI, J.P. (1995). Aspectos ambientais do planejamento dos recursos hídricos: a bacia do Rio Piracicaba. In: TAUK, S.M. (org.). *Análise Ambiental*. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista.

GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S. OHNSTAD, R (1978). *Methods for physical and chemical analisys freshwater.* 2 ed. IBP. Oxford: Handbook, 8, Blackwell. Scientific Publications. 213p.

GOMES, E. G. (1999). *Integração entre Sistemas de Informação Geográfica e métodos multicritério no apoio à decisão espacial*. Rio de Janeiro, RJ. Dissertação (Mestrado) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.1999.

GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G.M. (org.). (1999). *Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Técnicas e Aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

GUNTZEL, A. M. (2000). *Variações espaço-temporais da comunidade zooplanctônica nos reservatórios do médio e baixo rio Tietê/Paraná – SP*. São Carlos,SP. 445p. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.2000.

GÜRTLER, S. (2003). *Estimativa de área agrícola a partir de sensoriamento remoto e banco de pixels amostrais.* São José dos Campos, SP. 179 p. Dissertação (Mestrado) - Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.2003.

HENRY, R. (ed.). (1999). *Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais.* Rio Claro: Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências, UNESP. p. 7-17.

HUSSAIN, Z. (1991). *Digital image processing: practical applications of parallel*

processing techniques. Ellis Horwood. 406p.

IBGE (2004). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Sistema IBGE de Recuperação Automática*, Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam>Acesso em: jul. de 2004.

ICWE. (1992). INTERNACIONAL CONFERENCE ON WATER AND THE ENVIRONMENT: DEVELOPMENT ISSUES FOR THE 21ST CENTURY. United Nations, Dublin, Irlanda.

INPE (2004). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Manuais do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)*. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html> Acesso em: jul. de 2004.

JONG, J.; ROOY, P. T. J. C.; HOSPER, S. H. (1995). Living with water: at the cross-roads of change. *Water Science Technology*. Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment, The Netherlands, nº 8, p.393-400.

KIRA, T. e SAZANAMI, H. (1995). Utilização de recursos hídricos e problemas de gerenciamento de lagos. In: HASHIMOTO, M. (ed.). *Diretrizes para o gerenciamento de lagos.* Japão. v. 2, 6 p.

KIRCHNER, W. B. (1975). An examination of the relationships between basin morphology and the export of phosphorus. *Limnol. Oceanogr*., v. 20, p. 267-270.

KIRK, J. T. O (1990a). Relationship between nephelometric turbidity and scattering coefficients in certain Australian waters. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, v.31, p.1-12.

KIRK, J. T. O (1990b). Spectral absorption properties of natural waters: contribution of the soluble and particulate fractions to light absorption in some inland waters of south-eastern Austrália. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, v.31, p. 287-296.

KOROLEFF, F. (1976). Determination of nutrients. In: GRASSHOFF. K. (ed.). *Methods of seawater analysis.* Verlag Chemie Weinhein. p. 177-181.

KUFEL, L. (1976). The role of bottom sediments in the regulation of phosphate concentration in lakes. Polskie Arch. *Hidrobio*. v.23, p.5-15.

KUHNLE, R.A.; BINGER, R.L.; FOSTER, G.R. and GRISSINGER, E.H. (1996). Effect of land use changes on sediment transport. *Water Res. Res*., v.32, p.3.189-3.196.

LEITE, M. A. (1998). *Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no reservatório de Salto Grande (Americana - SP) e sua influência sobre as características limnológicas do sistema.* São Carlos, SP. 167p. Dissertação (Mestrado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Sâo Carlos.1998.

LOAGUE· K.; CORWIN, D.L. e ELLSWORTH, T. R. (1998). The challenge of predicting nonpoint source pollution. *Environmental Science e Tecnology*, p. 130-133.

LOPES- FERREIRA, C. (2000). *Estudo de uma área alagada do rio Atibaia visando a elaboração de proposta de manejo para melhoria da qualidade da água no reservatório de Salto Grande (Americana, SP)*. 145 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2000.

MAcCAULEY, D.S.; HUFSCHMIDT, M.M. (1995). Gerenciamento de Recursos Hídricos: Planejamento e Implantação. HASHIMOTO, M. (ed.). *Diretrizes para o gerenciamento de lagos*. Japão. v.2, 39 p.

MACHADO, R. E.; VETORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. (2003). Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. *Rev. Bras. Ciênc. Solo,* Viçosa, v.27, n.4.

MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. E. (1978). Water analysis: some revised methods for limnologists. Freshwater Biological Association. *Sci. Publ.* n. 36. Titus Wilson and Son LTDA. Kendall, 117p.

MASCARENHAS, N. D. A.; VELASCO, F. R. D. (1984). *Processamento digital de imagens.* São Paulo. IV Escola de Computação, Instituto de Matemática e Estatística, USP.

MATSUMURA-TUNDISI, T.; HINO, K.; CLARO, S. M. (1981). Limnological studies at 23 reservoirs in southern part of Brazil. *Verh. Internat. Verein. Limnol*., v. 21, p. 1.046-1.053.

MATSUMURA-TUNDISI, T.; LEITÃO, S. N.; AGUENA, L. S.; MIYAHARA, J. (1990). Eutrofização da Represa de Barra Bonita: estrutura e organização da comunidade de rotífera. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 50, p. 923-935.

MELLO, J. C. C. S. S.; GOMES, E. G.; LETA, F. R.; PESSOTANI, R. B. U.(2003) *Engevista*, v.5, n.8, p.22-35.

MITCHELL, B. (1997*)*. *Resource and environmental management*. Monitoring and evaluation. University of Waterloo, Ontário, Canada. Cap.13, p. 261-283.

MONTEIRO, C. A. de F. (1973). *A dinâmica climática e as chuvas do Estado de São Paulo: estudo em forma de atlas*. São Paulo: IGEOG/USP.

MOREIRA, M.A. *et al.* (1998). Modelo de mistura espectral para identificar e mapear áreas de soja e milho em quatro municípios do estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Belo Horizonte. [CD ROM]. *Anais.*

MORENO,I. H. (1987). *Estudos limnológicos na represa de Três Marias - MG, com ênfase no ciclo do fósforo*. São Carlos,SP. 130p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 1987.

MOURA, V. (2000*). Imagens multitemporais TM-Landsat5 da época de pré-plantio na estimativa de áreas destinadas a culturas de verão.* São José dos Campos, SP. 116 p. Dissertação (Mestrado) - Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000.

MÜLLER, A.C**.** (1996). *Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento*. São Paulo: MAKRON Books. 1996.

NOVO, E. M. L. M. (1992). *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.* São Paulo: Editora Edgard Bücher Ltda.308 p.

NOVO, E. M. L. M.; BRAGA, C. Z. F. (1991*). Relatório do projeto sensoriamento remoto de sistemas aquáticos*. Convênio CRHEA/USP-INPE/MCT. São José dos Campos. 75 p.

NOVO, E. M. L. M.; BRAGA, C. Z. F. (1995*). Segundo relatório do projeto sensoriamento remoto de sistemas aquáticos*. Convênio CRHEA/USP-INPE/MCT. São José dos Campos. 103 p.

NOVO, E. M. L. M.; STECH, J. L.; CARVALHO, J. C.; ASSIREU, A. (2004). Real-time high frequency monitoring system: first results assessment. Submetido à *Acta Limnologica Brasiliensia.*

NUSH, E. A (1980). Comparaison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination*. Arch. Hydrobiol*. Beach Stuttgart, v.14, p.14-36.

OLIVEIRA, J. B. (1999). *Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico*. Boletim Científico número 45. IAC, Campinas, 108 p.

OLIVEIRA, J. B. de; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. (1992). *Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento*. Jaboticabal, FUNEP: São Paulo, 201 p.

OLIVER, M. A.; WEBSTER, R. KRIGING (1990). A method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, v. 4, n. 3, p. 313-332.

ONS (2004). Operador Nacional do Sistema Elétrico. Hidrologia - *Vazões Naturais.* Disponível em: http://www.ons.org.br. Acesso em: jul. de 2004.

OSHI, M. K. (1996). *Caracterização do meio físico, das características físicas e químicas e de fluxo de nutrientes em tributários da bacia hidrográfica do reservatório de Barra Bonita (Médio Tietê – SP)*. 199 p. Tese (Doutorado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.1996.

PEREIRA, J.L.G; BATISTA, G. T. e ROBERTS, DAR A. (1998). Proporção de componentes derivadas de imagens Landsat TM para caracterização da cobertura da terra na amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Belo Horizonte. [CD ROM]. *Anais.*

PEREIRA-FILHO, W. (2000). *Influência dos diferentes tipos de uso da terra em bacias hidrográficas sobre sistemas aquáticos da margem esquerda do reservatório de Tucuruí – Pará.*138p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.

PESSOA, M.C.P.Y.; LUCHIARI, A.J.; FERNANDES, E.N.; LIMA, M.A. (1997). *Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas*. EMBRAPA. CNPMA. *Documentos*, n. 8. Jaguariúna, EMBRAPA/CNPMA, 83p.

PETRARCO, P. (1995). *Determinação da biomassa e estoque de nitrogênio e fósforo de Polygonum spectabile mart. E Paspalum repens berg da represa de Barra Bonita (SP).* Dissertação (Mestrado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1995.

PIÃO, A. C. S. (1995). *Transporte de nitrogênio, fósforo e sedimentos pelo Ribeirão dos Carrapatos município de Itaí, SP, sua relação com usos do solo e outros impactos antropogênicos e a sua deposição no braço do Taquari (Represa de Jurumim)*. 194

p. Tese (Doutorado) - Ciências da Engenharia Ambiental , Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1995.

PINTO, S. A. F. (1996). *Contribuição metodológica para análise de indicadores da erosão do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelo predictivo*. Tese de Livre-Docência - IGCE, UNESP, Rio Claro. 1996.

PLANALSUCAR (1981). *Adubação da cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil.* Boletim Técnico do Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar. Piracicaba.

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F.F.M. de; PRANDINI, F. L. (1981). *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Escala 1:1.000.000, v. 1 e 2, 94 p.

PRADO, R. B. (1999). *Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água: estudo no médio rio Pardo* – SP (período de 1985 a 1997). 209 p. Dissertação (Mestrado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999.

RANIERI, S. B. L. (1996). *Avaliação de métodos e escalas de trabalho para determinação de risco de erosão em bacia hidrográfica utilizando sistema de informações geográficas (SIG)*. 128p. Dissertação (Mestrado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1996.

REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (org. e coord.) (2002). *Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 2 ed. São Paulo: Escrituras Editora. 704 p.

REFOSCO, J. C. (1994). *Estudo comparativo da paisagem das bacias hidrográficas dos rios Araguá e da Prata. Modificações da paisagem e impactos na quantidade de material em suspensão no ambiente aquático*.101 p. Dissertação (Mestrado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1994.

REYNOLDS, C. S. (1999). Phytoplankton assemblages in reservoirs. In: TUNDISI, J. G. e STRASKRABA, M. (eds). *Theoretical reservoir ecology and its applications.* São Carlos: Backhuys Publishers, p. 439-456.

RICHARDS, J. A. (1989). *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. Berlin, Springer-Verlag, 281p.

RODGHER, S. (2001). *Estudos ecotoxicológicos e limnológicos nos reservatórios em cascata do Médio e Baixo rio Tietê: uma análise espacial e temporal*. Dissertação (Mestrado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2001.

RODRIGUES, S. L. (1997). *Efeitos das variáveis ecológicas na disponibilidade e qualidade da radiação solar subaquática em ecossistemas artificiais (reservatórios de Barra Bonita e do Lobo)*. 200p. Tese (Doutorado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1997.

SACHS, I. (1997). *Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais.* Campinas: Instituto de Economia, UNICAMP, prefácio.

SANDES, M. A. L. (1998). *Estudos ecológicos em florescimento de Microcystis (Cyanobacteria-Cyanophyceae) e interações com a flora bacteriana na represa de Barra Bonita-Médio Tietê/SP*. Tese (Doutorado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1998.

SANTOS, A. C. A. (2003). *Heterogeneidade espacial e variabilidade temporal de dois reservatórios com diferentes graus de trofia, no Estado de São Paulo.* São Carlos, SP. 139 p. Tese (Doutorado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2003.

SANTOS, A. P.; FORESTI, C.; NOVO, E. M. L.M.; NIERO, M.; LOMBARDO, M. A. (1981). *Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações no uso da terra*. São José dos Campos: INPE-2261-MD/016 – DSR/ANAMB. 61p.

SANTOS, S. C. D. (1996). *Alguns aspectos do ciclo do fósforo e eutrofização na represa de Barra Bonita, SP*. 100p. Dissertação (Mestrado) - Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1996.

SIGRH (2001). *Sistema de Informações para Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.* Plano estadual de Recursos Hídricos. Banco de Dados. Disponível em: <http://www.sigrh.gov.br> Acesso em: jul. de 2004.

SILVA, H. R. (1994). *Técnicas de geoprocessamento na estimativa das culturas de verão.* 161 p. Dissertação (Mestrado) - Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1994.

SMITH. D.G.; McBRIDE, G.B. (1990). New Zealand's national water quality monitoring networks - design and first year's operation. *Water Resources Bulletin*, v.26, n.5, p.767-775.

SOARES, S. R. (2004). Disciplina: Avaliação Ambiental de Sistemas. Aula 5: *Apoio à decisão aplicada à gestão ambiental*. Centro tecnológico, departamento de engenharia sanitária e ambiental, Universidade de Santa Catarina, Santa Catarina. Disponível em: <http://www.ens.ufsc.br/~soares> Acesso em: jul. 2004.

SPERLING, E. V. (1998). Qualidade da água em atividades de mineração. In: DIAS, L. E. e MELLO, J. W. V. (eds.). *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. p. 95-105.

STAR, J. e ESTES, J. (1990). *Geographic Information Systems: an introduction*. Santa Barbara: University of California. Cap.10, p. 192-219.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. (1993). *Comparative reservoir limnology and water quality management.* Dordrecht, Kluwer. 291 p.

STRICKLAND, J. G.; KUTNER, M. B. (1960). A manual of sea water analysis. *Fish Res.* Ottawa, n. 125, 186 p.

TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J. G.; KUTNER, M. B. (1965). Plankton studies in mangrove II: the standing-stock and some ecological factors. *Boml. Inst. Oceanogr*., São Paulo, v.24, p.23-41.

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (1999). A expansão das macrófitas aquáticas e implicações para o manejo de reservatórios: um estudo na Represa de Itaipu. In: HENRY, R. (ed.). *Ecologia de reservatórios: Estrutura, função e aspectos sociais.* Rio Claro, Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências, UNESP. Cap. 20, p. 599-625.

THORTON, W. K. (1990). Perspectives on Reservoir Limnology. In THORTON, W. K. et al. (ed.) *Reservoir limnology: ecological perspectives*. Jonh Wiley and Sons, Inc.

TOLEDO, A. M.; BALLESTER, M. V. (2001). Variabilidade espaço-temporal do uso e cobertura do solo e a qualidade da água em duas microbacias hidrográficas do estado de São Paulo. [CD-ROM]. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Foz do Iguaçu.[CD-Rom]. *Anais.*

TOLEDO, A.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. (1983). A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e

reservatórios tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12, Camboriú. *Anais*. p. 1-34.

TOMS, R.G. (1975). Management of river water quality. In: WHITTON, B. A. *River ecology*. London: Blackell Scientific Publications. p.538-564.

TUFFORD, D. L.; Mc KELLAR JR., H.N.; HUSSEY, J.R. (1998). Stream nonpoint source nutrient prediction with land-use proximity and sasonality. *Journal of Environmental Quality.*

TUNDISI, J. G. (1996). Frontiers of brazilian research: reservoirs as complex systems. *Ciência e Cultura Journal of the Brazilian Association for the advancement of Science*, vol. 48, p.383-387.

VALDERRAMA, J. C. (1981). The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Mar. Chem.* v. 10, p.109-122.

VALÊNCIO, N. F. L. S. *et al.* (1999). O papel das hidroelétricas no processo de interiorização paulista: o caso das usinas hidroelétricas de Barra Bonita e Jurumim. In: HENRY, R. (ed.). *Ecologia de Reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais.* Rio claro, Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências, UNESP. Cap.7, p.187-218.

VERMOTE, F.; TANRÉ, D.; DEUZÉ, J. L.; HERMA, M.; MORCRETE, J. (1997). *Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: an overview.* IEEE transactions on geoscience and remote sensing, v.35, n. 3, p. 675-232.

VOLLENWEIDER, R. A. (1968). *Water management research*. Paris:. DAS/CSI/ 68. 27. OECD.

VOLLENWEIDER, R. A.; KEREKES, J. J. (1981). *Background and summary results of the OECD*. Cooperative program on eutrophication.

WETZEL, R.G.; LIKENS, G. E. (1991). *Limnological Analysis*. New York, Springer Verlag, 391p.

WILLIAMS, J. R. (1975). Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In*: Present and perspective technology for predicting sediment yields and sources.* USDA-ARS Handbook – S 40, p.244-252.

WISCHMEIR, W. H. e SMITH, D. D. (1965). Predicting rainfail erosion losses from cropland east of the rocky mountains: guide for selection of practices for soil water conservation. *Agriculture Handbook*, 282. Washington: U.S.D.A. 47 p.

WISNIEWSKI, M. J. S. (1998). *Distribuição espacial e produção secundária da comunidade zooplanctônica do reservatório de Barra Bonita – SP*. 240p. Tese

(Doutorado) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 1998.

ZINGG, A. W. (1940). Degree and lenght of land slope as it effects soil loss in runoff. *Agriculture Engineering*. St. Joseph, Michigan, v.21, p. 59-64.

ANEXO 1 – Coeficiente de Variação de Pluviosidade (CVP) anual nos postos de monitoramento do DAEE pertencentes à bacia estudada, no período de 1990 a 2000.

Posto	Nome	Coeficiente de Variação de Pluviosidade										
		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
1	Anhembi	0,8944	1,2218	0,7914	0,6473	0,9419	1,0555	0,6857	0,9138	0,8515	1,2389	1,1143
2	Campinas	1,0211	0,8510	0,7308	0,7517	0,9362	0,8120	0,8373	0,8427	0,8216	1,1005	1,1301
3	Sta. Terezinha	0,7668	1,0418	0,7211	0,6473	0,1019						
4	São Pedro	0,6916	1,0217	0,6554	0,6148	0,9297	1,1391	0,8899	0,7857	0,8999	1,1080	1,0568
5	Artemis	0,7422	1,2904	0,7021	0,5517	0,9326	0,9265	0,6143	0,8884	1,0637	1,0537	0,9246
6	Faz. Bom Retiro	0,6980	1,1924	0,1267	0,7180	0,9197	0,8174	0,7530	0,7286	0,7299	1,2223	1,0566
7	Faz. São Luiz	0,7884	0,4763	0,9323	0,7106	0,9411	0,8012	0,9574	0,8424	0,7276	0,8262	0,9095
8	Faz. São Pedro	0,7492	1,0554	0,8144	0,7911	0,9737	1,0463	0,7078	0,9382	0,7998	0,9344	1,0963
9	Usina Bom Retiro	0,7470	1,1008	0,9866	0,9218	0,8065	1,0388	0,9480	1,0145	0,9433	0,9572	1,9060
10	Tupi	0,5651	1,3535	0,7021	0,7909	0,8628	0,8661	0,8172	0,8644			
11	Tanquinho	0,7341	1,1269	0,8887	0,8455	0,9001	0,9481	0,7254	0,9667	0,9609	1,1082	1,1185
12	Faz. do Barreiro Rico	0,8553	0,9216	0,8008	0,7084	0,9048	0,9565	0,6915	0,9768	0,7623	1,1258	0,9926
13	Sta. Maria da Serra	0,8439	1,2855	1,0088	0,6161	0,9150	0,7367	0,8812	1,0599	1,0160	1,1268	1,1505
14	Faz. Serreta	0,8613	1,2797	1,0293	0,8313	0,9826	0,9789	0,7564	0,9999	0,8457	1,0947	1,0986
15	Faz. Paraíso	0,6357	1,2767	0,9446	0,6362	0,8961	0,9707	0,6383	0,6381	0,4909	0,9507	0,9658
16	Analândia	0,7034	1,3864	0,7528	0,6832	0,7212	1,0459	0,7358	0,7245	0,8520	1,1532	1,3699
17	Grauna	0,7740	1,4197	0,8832	0,9583	0,8464	0,9795	0,7707	0,8676	0,9171	1,0892	1,0833
18	Corumbataí	0,7726	1,1397	0,7245	0,7848	0,8059	1,1815	0,7664	0,7980	0,9271	1,3254	1,1863
19	Charqueada	0,6643	1,1308	0,8601	0,6328	0,8295	1,0763	0,7847	1,0689	0,9113	1,2315	0,4879
20	Santa Gertrudes	0,6770	1,1231	0,7455	0,8225	0,9021	1,0153	0,8762	0,7021	0,8567	1,0777	0,9592
21	Ipeuna	0,6496	0,8793	1,1086	1,1520	0,8569	0,9898	0,6935	0,9874	0,6728		
22	Recreio	1,0001	1,5304	0,8819	0,8377	0,7662	1,4557	0,8202	1,0391	0,9416	1,1442	1,3231
23	Ipero	0,8729	0,9327	0,9303	0,7412	0,8875	0,9264	0,8934	0,8678	0,7004	0,9512	1,0702
24	Cesario Lange	0,8550	1,0581	0,6826	0,8142	0,8722	0,8868	1,0165	0,7167	0,7565	1,1831	0,0166
25	Laranjal Paulista	0,7257	0,4169	0,8524	0,7263	0,8964	0,8261	0,8799	0,8264	0,8826	0,8859	1,0980
26	Bairro Represa	0,8450	1,3249	1,0110	0,7778	0,9822	0,8024	0,8369	1,0891	0,9271	0,8487	
27	Sorocaba	0,6359	0,8767	1,1506	0,8639	0,9992	0,8733	0,7842	0,9680	0,7035		
28	George Oetterer	0,7077	0,7954	0,8704	0,8319	0,8448	0,9669	0,9376	1,0190			
29	Quadra	0,7757	0,7884	0,9764	0,7971	0,8560	0,9367	0,8584	1,0478	0,7650	0,9504	
30	Faz. Redenção	0,7295	1,0417	0,9015	1,0142	1,0340	0,7991	0,8760				
31	Laras	0,8118	1,1651	0,8389	0,9433	0,7751	0,8423					
32	Ibitiruna	0,7118	1,3746	0,8290	0,5640	0,8689	0,8412	0,8171	0,9925	0,9255	1,5979	
33	Rio Bonito	0,7978	1,2296	1,0722	0,7686	0,8607	0,8952	0,7705	0,9994	0,8797	1,1492	1,0757
34	Boituva	0,6914	0,9979	0,7758	0,8622	0,9114	0,9252	0,8330	0,7860	0,7098		
35	Mailaski	0,6852	0,9187	0,8837	0,7001	0,9384	0,8643	0,6397				
36	Porto Feliz	0,6949	1,1282	0,7965	0,7936	0,8145	0,8926	0,8127	0,7710	0,8376	0,8169	1,0676
37	Samambaia	0,7149	1,3061	0,7679	0,6778	0,8556	0,8836	0,8226	0,8333	0,8336	1,2054	0,9263
38	Tietê	0,7015	1,2256	0,9088	0,7801	0,9796	0,8812	0,8014	0,7803	0,9565	0,7536	1,0169
39	Usina Santa Rosa	0,6503	1,0379	0,9739	0,9871	0,9346	0,8360	0,8299	0,8546	0,7301	0,9569	1,0469
40	Bairro Bananal	0,7239	1,1114	0,6315	0,6074	0,9477	0,6038	1,1355	0,9694	0,6959	1,2918	
41	Salto	0,8073	1,1114	0,6315	0,6074	0,8882	0,6038	1,1355	0,9694	0,6959	1,2918	
42	Aracariguama	0,7159	0,8396	0,7629	0,4680	1,0366	0,9859	0,8154	1,1049	0,9363	1,1140	1,2355
43	Rio Claro	0,7011	1,3234	0,7576	0,8384	0,8147	0,9827	0,8360	0,8345	0,9161	0,9593	0,9413
44	Rio das Pedras	0,6655	1,3323	0,8619	0,8899	0,8894	0,8655	0,8130	1,0505	0,9506	0,9984	1,0632
45	Capivari	0,7242	1,4076	0,6812	0,7058	0,8817	0,9262	0,8883	0,9392	1,0334	1,1223	1,0415
46	Elias Fausto	0,7502								0,8435	1,0783	1,0088
47	Bairro Pavioti	0,8574	1,0902	0,7773	0,7405	1,1690	0,8470	0,8099	1,0746	0,7502	1,0945	0,9166

Posto	Nome	Coeficiente de Variação de Pluviosidade										
		1990	**1991**	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**
48	Sumaré	0,8605	1,0570	0,7712	0,8322	0,8856	0,8473	0,8506	1,0541	0,8610	1,0574	
49	Indaiatuba	0,8271	0,8469	0,4680	0,8971	0,8445	0,8208	0,9313	0,9342	0,7484	1,1649	0,9896
50	Faz. Santa Rita	0,7296	1,8602	0,8740	0,8257	1,0286	1,2791	0,7122	0,8809	0,6891	1,0323	1,1120
51	Ermida	0,6367	1,0140	0,4754	0,7215	0,9182	1,3309	1,1515	0,8650	1,0472	0,9280	1,0616
52	Faz. Buriti	0,6710	0,9179	0,6360	0,5683	0,8180	0,8436	0,7708	0,9642	0,8134	1,0733	1,1073
53	Faz. Sete Quedas	0,6886	1,3195	0,7741	0,9144	1,4142	0,7778	1,5573				
54	Rio Acima	0,5254	0,8826	0,6701	0,6693	0,8438	0,9620	1,1427				
55	São João do Morro Vermelho	0,7482	0,8757	0,9558	0,7654	0,9695	0,7482	0,7539	0,9239	0,8205	1,0422	0,9345
56	Bairro Anhumas	0,6909	1,0131	0,4779	0,6969	0,8369	0,8677	0,7890	1,0660	0,8716	1,0408	1,0439
57	Bofete	0,8406	0,9139	0,6481	0,7672	0,8108	0,8202	0,9229	1,0791	0,8749	0,8831	1,1355
58	Faz. Santa Terezinha	0,6990	0,9229	1,1654	0,8141	0,9257	0,9387	0,7419	0,7826	0,7566	1,4721	1,0927
59	Porangaba	0,6953	1,0326	1,0161	0,7908	0,9043	1,0118	1,0261	1,2216	0,9066	0,9706	1,1918
60	Pereiras	0,7440	1,2943	0,6121	0,5434	0,8376	0,7317	0,9825	1,0812	0,8651	0,8299	1,3446
61	Campo do Paiol	0,6430	0,6924	0,7241	0,7601	0,8617	0,7575	0,8657	1,0034	0,7130	0,9378	
62	ETAE Prof. Edson Galvão	0,6706	0,9737	0,7976	0,6672	0,9456	0,7973	0,8184	0,9457	0,7925	1,1425	1,0784
63	Tatuí	0,8298	0,6642	0,9668	0,6475	0,8241	0,7900	0,8477	1,0670	0,8898	0,8923	
64	Americana Velha	0,8537	0,7580	0,7478	0,6468	0,7066	0,8016	0,8778	0,8354	0,6402	0,8816	0,9755
65	Alambari	0,6935	0,5450	1,0812	0,6220	0,7762	0,8534	0,8103	0,8740	0,7758	0,5700	0,8417
66	Sarapui	0,6015	0,5464	0,6080	0,6646	0,7998	0,6283	0,7524	0,7835	0,8049		
67	Cocais	0,6480	0,4696	0,6866	0,7144	0,6802	1,2129	0,7227	0,6650	0,5766		
68	Salto de Pirapora	0,3907	0,7665	0,7241	0,6459	0,9850	0,9984	0,9379	0,9310	0,7892	0,8720	1,1562
69	Bairro Ipero	0,9205	1,3447	0,6432	0,6857	0,8337	0,8557	1,0816	0,9606	0,7315	0,9090	1,1812
70	Porto	0,5897	0,6964	1,0784	0,8044	0,6478	0,9205					
71	Bairro Sarapu	0,7912	0,9466	0,7174	0,7245	0,7909	0,7080	0,7978	0,9008	0,7803	0,9899	1,0783
72	Sítio Frutolândia	0,6498	0,7865	0,7406	0,7207	0,7600	0,6628	0,9079	0,8354	0,6807	0,7886	1,0992
73	Faz. Pinhal	0,7584	0,7466	0,8846	0,6654	0,8511	0,8443	0,9943	0,7142	0,7476	0,6891	1,1560
74	Piedade	0,6211	0,7301	0,7152	0,6393	0,6528	0,6659	0,8031	0,7023	0,7090	0,6764	1,2727
75	Eden	0,7820	0,4434	0,7374	0,8290	0,9347	1,1885	0,9640	0,9309	0,7647	1,0566	1,0425
	Média	**0,7358**	**1,0270**	**0,8043**	**0,7486**	**0,8743**	**0,9068**	**0,8551**	**0,9126**	**0,8193**	**1,0331**	**1,0632**

ANEXO 2 - Vazões médias mensais do reservatório de Barra Bonita, vazões médias por estação do ano, desvio padrão, M+SD e M-SD, de 1979 a 2002.

	Estação Seca										Estação Chuvosa									
Anos	abr	mai	jun	jul	ago	set	**Média**	**Desvio Padrão**	**M+SD**	**M-SD**	out	nov	dez	jan	fev	mar	**Média**	**Desvio Padrão**	**M+SD**	**M-SD**
1979	222	308	167	171	240	350	**243**	**73,60**	**316,60**	**169,40**	294	367	469	515	409	325	**397**	**84,79**	**481,29**	**311,71**
1980	507	228	244	198	169	171	**253**	**128,08**	**380,92**	**124,75**	168	207	630	596	753	503	**476**	**237,82**	**713,99**	**238,34**
1981	252	181	207	145	118	78	**164**	**62,85**	**226,35**	**100,65**	327	544	541	943	359	287	**500**	**242,92**	**743,08**	**257,25**
1982	433	277	655	470	281	197	**386**	**167,48**	**552,98**	**218,02**	585	543	1241	784	834	710	**783**	**250,80**	**1.033,63**	**532,04**
1983	983	1020	2334	756	476	1011	**1097**	**641,62**	**1738,29**	**455,04**	805	697	860	1341	1739	1254	**1116**	**398,90**	**1.514,90**	**717,10**
1984	422	360	195	174	285	350	**298**	**98,06**	**395,73**	**199,61**	194	221	465	892	533	353	**443**	**256,74**	**699,74**	**186,26**
1985	459	364	235	174	136	206	**262**	**123,85**	**386,19**	**138,48**	97	180	176	589	581	820	**407**	**294,94**	**702,11**	**112,22**
1986	299	295	160	142	301	145	**224**	**82,04**	**305,71**	**141,62**	142	241	992	285	507	627	**466**	**313,89**	**779,56**	**151,78**
1987	418	798	881	399	270	305	**512**	**261,14**	**772,97**	**250,69**	298	289	414	930	1117	648	**616**	**346,26**	**962,26**	**269,74**
1988	626	600	553	283	198	170	**405**	**210,58**	**615,58**	**194,42**	350	341	410	631	791	1002	**588**	**269,74**	**857,24**	**317,76**
1989	472	323	304	361	455	303	**370**	**75,85**	**445,51**	**293,82**	206	268	337	1311	1297	746	**694**	**508,74**	**1.202,90**	**185,43**
1990	348	307	205	354	251	275	**290**	**57,83**	**347,83**	**232,17**	308	304	295	1207	413	689	**536**	**361,29**	**897,29**	**174,71**
1991	1103	589	419	330	239	199	**480**	**335,64**	**815,47**	**144,19**	561	228	498	615	1213	1409	**754**	**455,74**	**1.209,74**	**298,26**
1992	388	380	179	165	146	277	**256**	**109,13**	**364,97**	**146,70**	378	626	577	347	380	563	**479**	**123,04**	**601,54**	**355,46**
1993	458	339	439	221	224	512	**366**	**124,12**	**489,62**	**241,38**	425	236	287	690	1093	677	**568**	**320,01**	**888,01**	**247,99**
1994	369	255	216	198	132	94	**211**	**96,98**	**307,64**	**113,69**	156	252	584	587	750	562	**482**	**227,52**	**709,35**	**254,31**
1995	790	457	321	333	192	184	**380**	**225,16**	**604,66**	**154,34**	405	327	448	788	2205	856	**838**	**703,17**	**1.541,33**	**135,00**
1996	443	319	247	205	186	420	**303**	**109,52**	**412,85**	**193,81**	442	389	600	1103	752	1272	**760**	**358,95**	**1.118,62**	**400,72**
1997	269	250	436	208	159	209	**255**	**96,46**	**351,63**	**158,71**	235	533	551	1054	1195	376	**657**	**382,29**	**1.039,62**	**275,05**
1998	423	443	260	195	189	209	**287**	**116,37**	**402,87**	**170,13**	457	198	663	430	887	781	**569**	**254,72**	**824,05**	**314,61**
1999	453	360	391	290	223	265	**330**	**86,05**	**416,38**	**244,28**	210	200	334	1403	1250	955	**725**	**544,42**	**1.269,75**	**180,92**
2000	279	204	187	220	218	362	**245**	**65,18**	**310,18**	**179,82**	216	400	547	622	709	482	**496**	**174,16**	**670,16**	**321,84**
2001	337	291	228	213	192	199	**243**	**57,97**	**301,30**	**185,37**	405	287	586	585	877	540	**547**	**199,84**	**746,51**	**346,83**
2002	251	348	352	238	258	240	**281**	**53,69**	**334,82**	**227,44**	311	301	283	892	814	612	**536**	**275,68**	**811,60**	**260,23**

ANEXO 3: Área plantada de cultura permanente e temporária (hectare), 1990 a 2002.

Variável = Área plantada (Hectare)													
cultura permanente = Total													
Código IBGE - Municípios	Ano												
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Águas de São Pedro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3500758 - Alambari	-	-	-	-	4	2	3	1.154	1.156	1.156	996	941	1.203
3501152 - Alumínio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	6	6
3502309 - Anhembi	107	105	237	187	247	259	12	265	263	263	192	280	249
3502754 - Araçariguama	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	8	8
Araçoiaba da Serra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3506904 - Bofete	800	748	653	579	801	1.456	416	1.326	1.326	1.326	1.178	1.065	1.220
3507001 - Boituva	276	278	278	242	234	235	243	222	208	135	27	150	150
3508405 - Cabreúva	418	430	441	504	418	341	380	340	340	340	167	432	235
3509601 - Campo Limpo Paulista	91	2	3	4	3	3	3	3	2	2	11	-	-
3510302 - Capela do Alto	3.661	3.661	3.671	2.962	2.742	2.732	2.818	2.734	2.572	2.732	1.430	1.778	2.908
3510401 - Capivari	57	62	41	30	33	53	23	28	11	14	11	4	6
3511508 - Cerquilho	76	76	107	100	71	71	10	22	52	43	42	54	6
3511607 - Cesário Lange	498	498	498	432	401	401	416	407	401	324	336	361	361
3511706 - Charqueada	107	103	103	66	82	99	73	64	56	47	27	40	38
3512308 - Conchas	12	24	24	16	17	18	-	119	18	101	101	87	88
3512704 - Corumbataí	1.822	2.021	2.022	1.625	1.617	1.636	1.911	1.919	1.650	1.899	2.266	2.070	1.486
3514908 - Elias Fausto	51	142	142	149	122	83	83	83	83	83	90	98	131
3519071 - Hortolândia	-	-	-	2	2	2	2	2	2	2	-	3	3
3520509 - Indaiatuba	3.812	15.810	15.885	2.881	3.217	1.924	1.924	1.974	1.924	1.924	1.430	2.374	1.642
3521002 - Iperó	851	851	851	666	666	666	689	666	581	467	482	488	488
3521101 - Ipeúna	97	97	90	531	91	145	150	169	174	185	161	212	196
3521408 - Iracemápolis	164	181	179	156	172	151	174	178	178	178	172	228	219
3523909 - Itu	1.634	1.593	1.933	1.476	1.288	1.249	1.467	1.169	1.169	1.169	484	1.033	842
3524006 - Itupeva	664	2.402	2.398	2.458	1.983	1.982	1.388	1.465	1.575	1.575	1.080	1.074	1.169
3525904 - Jundiaí	1.946	1.844	1.841	1.805	1.823	1.799	1.759	2.038	2.061	1.861	1.776	2.396	2.604
3526407 - Laranjal Paulista	1.200	1.100	1.000	950	692	231	231	423	423	423	309	120	500
3527306 - Louveira	1.386	1.377	1.342	1.548	1.375	1.330	1.308	997	994	1.005	952	1.013	940
3528403 - Mairinque	99	107	107	105	101	77	69	67	70	65	86	268	32
3530904 - Mombuca	30	29	32	26	26	26	26	25	37	28	28	53	64
3531803 - Monte Mor	311	320	325	360	300	294	305	300	165	311	15	142	142
3533403 - Nova Odessa	283	283	281	230	224	211	209	203	49	199	159	237	162
3537503 - Pereiras	300	-	30	30	23	-	-	-	16	16	12	7	7
3537909 - Pilar do Sul	999	1.219	1.194	1.223	1.057	1.096	1.144	1.184	1.395	1.293	1.329	1.438	1.622
3538709 - Piracicaba	1.654	2.049	2.049	1.667	1.757	1.751	1.785	2.232	2.192	2.161	1.804	1.805	2.425
3540507 - Porangaba	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	10	1	1
3540606 - Porto Feliz	2.503	2.542	2.558	1.792	2.196	2.272	2.278	2.267	2.317	2.262	2.312	2.174	3.142
3542107 - Rafard	10	10	10	8	8	8	2	10	1	8	33	12	11
3543907 - Rio Claro	2.917	3.035	3.088	2.433	2.498	2.554	2.244	2.264	2.352	2.257	2.543	2.858	2.565
3544004 - Rio das Pedras	44	45	42	35	34	34	33	27	27	26	32	45	54
3545159 - Saltinho	-	-	-	22	28	28	27	40	43	42	23	41	40
3545209 - Salto	475	485	483	503	380	112	110	110	110	110	160	131	159
3545308 - Salto de Pirapora	51	51	50	69	82	81	26	-	77	77	220	345	420
3545803 - Santa Bárbara d'Oeste	1.600	1.600	1.600	485	894	864	50	267	267	217	205	219	179
3546702 - Santa Gertrudes	363	388	351	283	259	259	302	111	101	184	304	263	285
3547007 - Santa Maria da Serra	508	477	287	175	240	239	361	158	150	149	117	122	122
3550407 - São Pedro	1.796	1.747	1.512	1.276	1.509	1.473	1.627	1.769	2.349	2.339	2.025	1.688	2.214
3551108 - Sarapuí	50	58	56	66	769	769	791	757	584	570	370	398	394
3552205 - Sorocaba	1.165	1.315	1.315	477	862	439	130	80	98	98	173	245	244
3552403 - Sumaré	243	433	812	924	833	272	95	94	63	93	48	4	4
3554003 - Tatuí	1.733	1.733	1.733	1.428	1.386	1.386	1.423	1.196	1.145	1.299	394	542	772
3554508 - Tietê	140	6	170	191	93	91	30	109	53	76	98	121	137
Torre de Pedra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-T
3556503 - Várzea Paulista	22	-	1	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
3557006 - Votorantim	170	219	220	56	56	54	16	14	50	50	37	52	52
Bacia hidrográfica estudada	**37.196**	**51.556**	**52.045**	**33.233**	**33.716**	**31.258**	**28.567**	**31.051**	**30.930**	**31.184**	**26.279**	**29.526**	**31.947**

ANEXO 3: Área plantada de cultura permanente e temporária (hectare), 1990 a 2002.

Variável = Área plantada (Hectare)													
cultura temporária = Total													
Código IBGE - Município	Ano												
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Águas de São Pedro													
3500758 - Alambari	-	-	-	2.910	3.165	3.551	1.390	1.445	1.401	2.075	160	1.425	1.195
3501152 - Alumínio	-	-	-	-	-	-	-	50	224	182	167	205	327
3502309 - Anhembi	5.200	4.790	5.050	5.280	4.272	4.280	3.910	6.089	6.560	6.660	8.200	7.859	8.959
3502754 - Araçariguama	-	-	-	311	220	650	-	10	335	350	192	349	473
Araçoiaba da Serra	3.825	3.935	4.535	3.095	2.750	4.508	-	300	2.612	2.749	1.338	1.078	1.182
3506904 - Bofete	912	875	1.080	970	3.017	565	615	495	525	634	562	527	451
3507001 - Boituva	11.620	11.505	9.055	9.160	8.610	8.220	7.600	8.229	8.175	8.350	6.845	7.580	6.600
3508405 - Cabreúva	1.190	1.535	1.445	2.120	2.020	2.250	2.135	1.915	1.815	1.910	547	1.246	1.318
3509601 - Campo Limpo Paulista	76	5	20	-	-	2	35	37	97	97	8	1	1
3510302 - Capela do Alto	4.080	3.168	3.221	2.690	3.100	2.829	1.530	3.120	3.220	3.260	2.302	4.210	3.637
3510401 - Capivari	17.370	17.180	17.515	17.312	18.462	16.483	13.250	13.795	17.179	17.089	17.278	17.174	17.200
3511508 - Cerquilho	620	5.800	6.180	6.320	5.150	6.642	6.250	6.190	6.695	5.283	6.646	6.560	5.260
3511607 - Cesário Lange	8.797	9.125	7.576	7.434	6.336	6.230	5.350	5.603	5.840	6.371	8.981	7.036	6.954
3511706 - Charqueada	8.418	8.475	8.537	8.360	11.373	10.873	9.371	9.067	10.026	9.632	9.629	9.618	9.618
3512308 - Conchas	2.000	2.090	1.841	790	630	810	600	1.054	870	1.780	1.237	853	754
3512704 - Corumbataí	3.080	3.337	2.493	1.787	2.158	1.959	4.149	1.905	1.774	2.436	1.304	1.577	1.848
3514908 - Elias Fausto	11.980	10.190	10.560	9.595	675	10.655	10.575	8.985	9.280	9.107	11.705	15.270	12.070
3519071 - Hortolândia	-	-	-	1.605	1.727	1.605	1.865	1.825	1.390	1.805	-	1.755	1.755
3520509 - Indaiatuba	2.400	2.700	2.550	2.680	2.250	2.800	2.500	2.300	2.300	2.230	690	870	2.970
3521002 - Iperó	2.590	1.910	2.042	2.535	2.670	2.380	2.130	2.433	2.470	2.405	2.050	2.240	2.280
3521101 - Ipeúna	2.331	6.624	5.008	4.205	4.707	4.627	4.524	4.793	5.186	5.224	3.955	3.888	3.959
3521408 - Iracemápolis	8.100	8.180	8.130	8.100	8.602	8.400	7.540	7.530	8.000	7.500	8.030	8.134	8.317
3523909 - Itu	3.170	3.420	3.320	2.320	2.720	2.732	1.945	2.630	2.530	2.610	1.720	2.820	2.100
3524006 - Itupeva	770	353	315	220	427	457	567	567	607	507	1.690	1.617	1.627
3525904 - Jundiaí	940	830	525	140	220	230	390	470	410	410	724	558	762
3526407 - Laranjal Paulista	5.840	6.886	7.030	5.900	5.750	5.700	5.300	5.820	5.220	7.239	5.490	3.020	5.480
3527306 - Louveira	72	64	60	58	79	57	30	32	87	64	87	88	89
3528403 - Mairinque	640	487	511	435	105	445	-	106	370	450	466	411	450
3530904 - Mombuca	5.317	5.361	5.322	5.322	5.322	5.319	5.319	5.196	5.199	5.165	5.054	5.059	5.059
3531803 - Monte Mor	10.424	5.665	7.990	7.975	7.955	6.985	7.365	7.965	7.085	7.465	5	7.215	15.515
3533403 - Nova Odessa	3.030	2.870	3.032	3.022	2.982	2.862	3.072	3.032	2.700	3.000	3.015	2.981	2.980
3537503 - Pereiras	760	710	840	548	580	490	400	625	1.200	1.235	1.331	1.100	1.157
3537909 - Pilar do Sul	10.675	13.796	11.350	9.695	9.725	15.760	7.483	10.192	9.040	8.790	8.765	8.090	7.325
3538709 - Piracicaba	44.106	54.505	55.103	48.473	48.964	50.516	56.833	48.740	44.516	40.424	42.360	42.803	42.168
3540507 - Porangaba	2.080	1.880	1.510	1.380	1.320	1.530	630	1.530	1.555	1.535	896	805	1.205
3540606 - Porto Feliz	20.850	21.500	22.050	13.000	19.206	18.450	18.550	18.900	18.100	19.500	15.680	17.670	16.870
3542107 - Rafard	8.381	8.623	7.202	7.564	9.092	7.185	7.600	7.783	7.612	7.778	7.840	7.650	7.427
3543907 - Rio Claro	16.997	15.367	13.112	9.038	8.544	9.739	12.304	8.685	11.994	11.068	13.381	16.012	11.945
3544004 - Rio das Pedras	14.262	14.097	14.281	14.330	14.332	15.483	15.366	15.321	13.676	14.784	14.847	15.134	14.957
3545159 - Saltinho	-	-	-	4.285	3.785	3.891	3.891	3.876	4.190	4.100	4.104	3.980	3.975
3545209 - Salto	2.660	2.750	2.530	2.410	2.470	2.565	2.155	2.105	2.463	2.400	913	1.054	1.276
3545308 - Salto de Pirapora	3.985	4.251	4.105	2.837	4.455	3.585	2.380	1.475	3.245	3.389	3.163	4.398	4.099
3545803 - Santa Bárbara d'Oeste	13.280	13.270	13.245	13.290	13.295	13.040	12.200	12.970	12.805	12.940	13.020	13.642	14.050
3546702 - Santa Gertrudes	6.966	5.444	4.601	4.479	4.231	4.790	6.019	4.812	5.453	5.224	5.900	6.344	5.097
3547007 - Santa Maria da Serra	5.510	4.723	4.655	5.655	7.885	6.365	5.950	5.620	5.520	5.909	3.400	3.985	3.985
3550407 - São Pedro	14.500	13.940	13.870	13.770	13.760	13.747	13.545	13.138	13.258	13.334	10.606	10.712	10.363
3551108 - Sarapuí	2.784	2.762	3.012	2.522	2.918	1.456	609	627	1.095	1.110	910	866	881
3552205 - Sorocaba	1.202	1.050	785	530	370	635	-	45	510	501	340	810	1.048
3552403 - Sumaré	6.340	5.926	6.753	4.708	4.891	4.291	4.401	4.301	3.973	4.166	4.549	4.405	4.430
3554003 - Tatuí	27.983	23.705	18.601	17.178	16.135	18.738	10.169	11.372	11.096	11.106	8.440	11.394	6.922
3554508 - Tietê	13.129	13.223	13.235	16.775	23.715	25.215	16.020	16.017	10.840	15.547	16.155	16.787	14.787
3554656 - Torre de Pedra	-	-	-	540	500	600	110	590	610	700	151	260	260
3556503 - Várzea Paulista	66	29	20	7	25	7	32	29	55	55	6	20	22
3557006 - Votorantim	625	760	380	245	140	275	160	40	175	225	293	305	784
Bacia hidrográfica estudada	**338.108**	**345.736**	**331.648**	**312.815**	**325.042**	**338.951**	**306.114**	**301.481**	**300.551**	**307.110**	**285.789**	**310.372**	**305.041**

Fonte: Adaptada de IBGE (2004)

Banco de dados históricos limnológicos do Reservatório de Barra Bonita - SP

LEGENDA:

Identificador: Constituído por uma letra indicando o tipo de publicação e as iniciais do nome do primeiro autor entre parênteses (especificados na planilha Publicações BIB)

Tipo de publicação: T=Tese; D=Dissertação; J=Journal, revista, periódico; LD=Livre Docência; R=Relatório

Mais de uma publicação de um autor em um mesmo tipo de fonte adotou-se ordem cronológica (1, 2, 3...)

Mais de uma publicação de um autor em mesmo tipo de fonte e mesmo ano adotou-se letras (a, b,c...)

Estação do ano: Estação seca (abril-setembro) — Estação chuvosa (outubro-março), com exceção do trabalho T(MKO) que considerou a estação chuvosa março, setembro a dezembro de 1992 e janeiro e fevereiro de 1993, utilizando a média por estação

Data coleta: Década de 80 = verde (1980-1989) — Década de 90 = azul (1990-1999) — Década de 00 = amarelo (2000-2009)

Símbolos:
- ND= Não detectado
- NM= Não medido
- Clorofila= Clorofila a total
- SiO_2=Silicato reativo
- Cond.=Condutividade elétrica
- Alcal.=Alcalinidade
- Temp.=Temperatura da água
- PTotal= Fósforo total
- NTotal= Nitrogênio total
- N/P=Relação nitrogênio/fósforo
- PID= Fosfato inorgânico dissolvido
- PTD=Fosfato total dissolvido
- Transp.= Transparência da água
- Prof.=Profundidade amostrada
- OD=Oxigênio dissolvido
- MSO=Material em suspensão orgânico
- MSI=material em suspensão inorgânico
- MST=Materiais em suspensão totais

Profundidade:
- 0 =Superfície
- Secchi=Profundidade do Disco de Secchi
- 3xsecchi=3x a profundidade do Disco de Secchi
- M=Meio
- F=Fundo(água de interface com o sedimento)
- S=Sedimento
- S1=Sedimento (água livre - extração de P e nutrientes)
- S2= Sedimento (água coloidal -extração de P com ácidos fracos - mg/L)
- S3= Sedimento (água coloidal - extração de P com ácidos fortes-mg/L)
- S4= Sedimento (água intersticial - extração de P-mg/L)
- No trabalho DJPP):
- F=Fora do banco de macrófitas
- D=Dentro do banco de macrófitas

Identificador	Ano publicação	Data coleta	Estação	Código pontos	Prof. (m)	Turbidez (N.T.U)	Transp. (m)	Cond. (mS/cm)	Dureza(mg/L)	pH	Alcal. (meq/L)	Temp. (°C)	OD (mg/L)	Nitrito-NO_2 (µg/L)	Nitrato-NO_3 (mg/L)	Amônio-NH_4 (mg/L)	Ntotal (mg/L)	PID (mg/L)	PTD (mg/L)	Ptotal (mg/L)	N/P	Clorofila (mg/L)	MSO(%)	MSO (mg/L)	MSI(%)	MSI (mg/L)	MST (mg/L)	Silicato - SiO2 (mg/L)	Zinco (mg/L)	Ferro (mg/L)	Manganês (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Cromo (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Cobalto (mg/L)	Chumbo (mg/L)
T(AMG)	2000	1979	chuvosa	P4	0		0,70	112,70		8,20		27,70	7,20	2,60	288,40	51,50	0,35	13,90	32,20									3,30									
T(AMG)	2000	1979-1980	chuvosa	P4	0		2,00	118,40		7,50		24,70	7,20	7,60	236,50	27,00	0,27	6,30	16,50																		
T(AMG)	2000	1979	seca	P4	0		0,90	90,70		7,60		23,70	7,90	3,10	356,90	22,70	0,38	1,70	11,40									4,30									
D(RGD)	1990	Out-87	chuvosa	Estação I	0							26,70																									
D(RGD)	1990	Out-87	chuvosa	Estação I	F							19,70																									
J(JGT1a)	1986	Mar-84	chuvosa	Estação I	0								0,75 (15,00a)																								
J(JGT1a)	1986	Jul-84	seca	Estação I	0								13,40 (0,00a)																								
J(JGT1a)	1986	Ago-84	seca	Estação I	0							19,25																									
D(RDF)	1987	Fev-84	chuvosa	Estação I	0		0,40					27,30																									
D(RDF)	1987	Ago-84	seca	Estação I	0		1,90																														
J(JGT2)	1988	Jan-88	chuvosa	Estação I	0																																
J(JGT2)	1988	Jul-88	seca	Estação I	0																																
J(JGT2)	1988	Nov-88	chuvosa	Estação I	0																																
J(RHZ)	1986	Ago-84	seca		0									22,03	1369,25	20,56		29,29	56,67			5,45						4,35									
J(RHZ)	1986	Ago-84	seca		0									20,28	364,25	79,31		9,29	20,00			3,63						3,70									
J(RHZ)	1986	Ago-84	seca		0									4,03	366,75	9,31		7,86	13,33			31,55						4,57									
J(RHZ)	1986	Fev-85	chuvosa		0									12,87	976,85	7,45		21,85	53,82			18,84															
J(RHZ)	1986	Fev-85	chuvosa		0									16,85	371,27	7,07		10,46	37,80			12,28															
J(RHZ)	1986	Fev-85	chuvosa		0									3,07	567,19	30,13		21,14	41,61			6,01															
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação I	0		1,00	116,00		7,50	0,59	30,20	7,00	2,88	1708,74	34,94		14,72	23,01			13,41		5,04		5,69	10,73	16,49									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação I	0,5			115,00		7,20	0,58			2,25	1698,21	35,73		13,42	21,66			13,41		4,66		5,47	10,13	16,32									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação I	1			114,00		7,10	0,57			3,75	1708,74	33,37		24,17	44,22			12,97		4,92		5,13	10,05	6,21									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação I	2,5			114,00		7,20	0,57			3,87	1708,74	33,37		22,54	47,59			10,11		4,60		5,12	9,81	6,70									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação I	F							26,00	6,00																								
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação I	0		2,50	164,00		7,10	1,18	20,20	8,00	2,89	743,48	9,34		11,69	16,68			3,52		2,24		2,00	4,44	5,74									
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação I	1			159,00		7,20	1,14			1,78	734,31	6,13		9,32	21,45			3,30		2,01		1,65	3,66	4,42									
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação I	2,5			160,00		7,30	1,11			1,97	734,31	7,20		9,32	12,43			3,30		1,72		1,40	3,12	4,78									
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação I	4,5			159,00		7,30	1,11			2,16	737,37	6,13		10,43	13,96			3,63		1,65		1,35	3,00	4,94									
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação I	F							20,20	5,80																								
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação II	0		1,70	100,00		6,50	0,44	27,60	6,00	5,26	1487,68	27,86		23,51	42,54			8,13		5,81		6,29	12,10	6,53									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação II	0,75			91,00		6,40	0,38			6,32	1430,58	26,46		25,36	41,92			30,66		7,13		7,12	14,25	6,51									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação II	1,75			92,00		6,50	0,38			6,88	1350,84	28,65		27,42	40,85			15,93		6,59		6,85	13,44	6,48									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação II	2,5			118,00		5,90	0,53			3,87	1329,80	21,56		19,28	35,80			19,01		6,23		7,32	13,55	6,67									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação II	4			98,00		6,20	0,59			4,56	1403,47	31,01		19,28	42,87			13,74		6,35		6,93	13,28	6,42									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação II	F							24,20	3,50																								
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação II	0		4,00	154,00		6,90	0,75	26,00	7,00	1,31	627,31	40,87		6,30	9,71			3,30		1,10		0,90	2,00	4,06									
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação II	1,5			152,00		7,10	0,75			1,99	608,97	7,74		7,26	12,26			3,63		0,61		0,50	1,11	5,01									
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação II	4			154,00		6,90	0,75			2,29	618,14	8,81		8,05	13,11			3,41		1,72		1,40	3,12	5,28									
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação II	9			154,00		6,90	0,75			1,67	615,08	5,06		8,21	11,41			3,77		1,34		1,10	2,44	4,27									
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação II	F							20,00	5,50																								
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação III	0		1,00	85,00		7,20	0,46	32,00	5,00	22,25	1098,21	66,44		13,74	19,98			9,56		12,93		13,46	26,39	6,32									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação III	0,5			83,00		6,70	0,46			23,51	1129,79	70,38		13,09	22,00			8,79		11,91		11,00	22,91	6,22									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação III	1			84,00		6,00	0,42			19,16	1119,26	74,31		13,74	24,69			7,25		14,08		11,99	26,07	6,38									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação III	2			83,00		6,50	0,44			12,62	1129,79	73,53		10,49	19,30			4,95		8,65		9,37	18,02	16,66									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação III	F							24,00	3,00																								
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação III	0		4,80	154,00		7,10	0,71	20,00	7,80	2,38	593,68	7,20		4,24	12,09			9,23		1,48		1,21	2,69	5,15									
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação III	1,5			153,00		7,10	0,70			2,30	602,85	6,13		5,19	9,71			9,78		0,83		0,68	1,51	4,71									
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação III	4,75			152,00		6,80	0,70			2,08	590,62	27,51		2,81	6,13			7,47		2,35		1,56	3,91	3,66									
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação III	F							19,50	5,80																								
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação IV	0		0,80	133,00		6,70	0,59	25,50	4,50	13,89	1992,95	40,46		33,94	66,10			8,57		12,08		14,77	26,85	6,32									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação IV	0,25			130,00		6,70	0,60			13,95	2003,47	37,31		35,57	70,82			7,47		13,73		14,29	28,02	6,23									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação IV	0,75			132,00		6,10	0,47			15,69	1992,95	49,12		42,41	73,85			5,93		12,81		14,45	27,26	6,31									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação IV	2			131,00		6,20	0,50			19,11	1961,37	42,03		25,79	33,78			7,25		12,57		13,72	26,29	5,51									
T(MCC)	1988	Fev-87	chuvosa	Estação IV	F			132,00				24,50	0,00																								
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação IV	0		3,20	200,00		7,00	0,93	19,80	7,00	2,68	685,99	20,56		11,54	14,98			2,20		1,69		1,12	2,81	5,47									
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação IV	1,25			200,00		7,20	0,93			2,98	747,13	13,62		12,81	16,00			2,09		1,31		0,88	2,19	5,50									
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação IV	3,25			200,00		7,10	0,92			3,00	765,47	15,75		12,02	15,32			2,31		1,38		0,92	2,30	5,62									
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação IV	5			200,00		7,00	0,93			2,93	734,90	14,15		12,17	15,66			2,31		2,20		1,46	3,66	5,62									
T(MCC)	1988	Jul-86	seca	Estação IV	F							19,20	6,00																								
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	1	0		0,25					29,00	6,30											35,00		45,00	72,00										
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	1	M									2,60	320,00	22,00		17,00	24,00																		
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	1	F							26,50	5,10	1,50	380,00	12,00		11,00	19,00																		
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	2	0							28,10	5,40											15,00		10,00	35,00										
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	2	M									3,20	750,00	27,00		27,00	20,00																		
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	2	F							27,00	5,10	3,20	770,00	30,00		26,00	37,00																		
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	3	0							27,90	6,40											25,00		15,00	40,00										
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	3	M									2,00	480,00	33,00		11,00	24,00																		
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	3	F							27,00	6,00	1,80	600,00	38,00		12,00	24,00																		
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	4	0		0,60					27,00	6,70											20,00		29,00	50,00										
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	4	M									1,60	550,00	24,00		8,00	20,00																		
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	4	F							26,70	6,10	1,80	590,00	29,00		13,00	24,00																		
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	5	0		0,55						6,90											85,00		45,00	130,00										
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	5	M									1,50	600,00	21,00		10,00	22,00																		
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	5	F								6,40	1,50	600,00	21,00		12,00	24,00																		
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	6	0		0,60						7,00											70,00		75,00	128,00										
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	6	M									2,00	590,00	20,00		7,00	19,00																		
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	6	F								6,50	1,60	650,00	18,00		13,00	24,00																		
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	7	0		0,70					28,00	7,10											35,00		15,00	40,00										
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	7	M									1,50	620,00	27,00		14,00	23,00																		
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	7	F							27,30	6,10	1,60	700,00	17,00		14,00	23,00																		
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	8	0		0,50					27,50	6,50											37,00		45,00	80,00										
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	8	M									2,10	650,00	18,00		13,00	22,00																		
D(DFC)	1993	Mar-88	chuvosa	8	F							27,80	6,60	2,50	700,00	25,00		13,00	23,00																		
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	1	0		0,90					17,70		21,21	1039,01	77,80	0,89	17,74	29,25	44,45		5,05		2,16		3,74	5,90	4,35									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	2	0		1,00					18,00		23,87	1052,68	79,53	0,87	16,44	30,16	38,59		4,72		2,44		2,76	5,20	4,25									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	3	0		1,05					17,90		20,21	1189,39	52,70	0,81	18,06	29,25	37,29		4,61		1,98		2,42	4,40	4,36									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	4	0		1,20					18,50		15,72	1141,54	25,01	0,88	22,95	33,79	39,25		3,51		1,54		2,78	4,32	4,14									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	5	0		1,40					17,90		10,80	1168,88	22,41	0,87	20,99	33,79	36,32		3,19		1,38		2,18	3,56	3,97									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	6	0		1,20							2,56	827,12	14,62	0,78	16,44	25,62	29,49		4,61		1,70		1,92	3,62	3,34									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	7	0		1,60					17,50		2,71	697,25	5,43	0,75	13,18	22,90	39,90		8,24		2,16		1,22	3,38	3,61									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	8	0		1,70					18,00		2,54	444,35	5,97	0,58	10,57	18,36	27,54		7,47		1,94		1,54	3,48	2,90									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	9	0		1,85					18,50		2,99	587,89	11,16	0,71	10,24	19,26	25,92		5,99		1,98		1,64	3,62	3,22									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	10	0		1,80					18,50		1,52	505,87	6,78	0,69	7,31	15,33	24,94		7,20		1,47		1,65	3,12	3,06									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	11	0		2,30					18,00		1,75	458,02	0,08	0,66	7,31	14,12	27,54		3,30		1,40		1,56	2,96	3,32									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	12	0		2,00					22,00		2,31	663,08	3,37	0,19	8,61	15,33	22,34		6,15		1,40		0,89	2,29	3,43									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	13	0		2,40					20,50		2,20	970,66	5,97	2,53	7,64	17,14	36,64		4,18		0,91		0,65	1,56	3,82									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	14	0		0,45					18,50		68,96	2002,77	839,35	4,00	28,17	46,80	66,22		3,19		2,63		7,62	10,25	4,56									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	15	0		0,50					18,60		70,66	2187,32	599,63	4,12	31,42	51,64	62,65		2,86		2,15		5,98	8,13	4,80									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	16	0		0,50					18,70		51,43	2344,53	383,28	4,37	30,12	49,22	64,92		1,98		1,91		5,41	7,32	4,25									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	17	0		0,60					18,80		51,43	2576,93	265,87	4,38	32,73	51,04	62,97		3,52		1,92		4,95	6,87	4,67									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	18	0		1,00					19,80		11,31	2665,78	13,76	4,57	36,38	48,31	57,12		3,08		1,39		2,98	4,37	4,55									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	19	0		0,85					19,50		10,40	2686,29	12,03	6,50	31,75	47,41	56,47		1,76		1,14		2,94	4,08	4,28									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	20	0		0,95					20,20		11,65	2713,63	8,56	6,72	30,12	44,99	50,30		77,80		1,09		2,92	4,01	4,42									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	21	0		1,15					20,40		11,59	2720,47	5,97	5,55	24,91	38,93	49,32		11,97		1,05		2,59	3,64	4,50									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	22	0		1,40					20,20		11,03	2918,69	10,30	4,23	21,65	32,88	42,49		18,90		0,90		2,51	3,41	4,52									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	23	0		1,40					21,00		11,25	2918,69	12,89	4,56	22,95	35,60	45,75		17,47		1,00		1,78	2,78	4,45									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	24	0		1,30					21,80		6,73	1695,19	7,70	4,81	12,85	33,18	155,94		14,83		22,96		1,84	24,80	4,54									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	25	0		2,45					19,50		2,43	936,48	4,24	4,29	9,92	15,63	22,67		6,37		1,20		0,68	1,88	4,72									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	26	0		1,90					18,50		2,48	915,98	1,64	6,01	8,29	13,82	23,97		6,48		1,52		2,07	3,59	4,68									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	27	0									2,03	1080,02	0,08	3,38	10,24	15,03	29,82		11,97		2,26		2,03	4,29	4,78									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	28	0									3,73	827,12	1,64	2,94	7,31	13,82	36,64		18,90		4,46		1,33	5,79	4,57									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	29	0									2,20	1045,85	2,51	2,67	8,29	14,42	28,19		17,47		2,62		2,14	4,76	4,78									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Ago-90	seca	30	0		1,70					18,50		3,56	874,97	0,08	2,27	7,31	12,61	28,19		14,83		3,49		2,52	6,01	4,66									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Nov-90	chuvosa	1	0		0,05					27,30		70,53	813,45	855,26	2,65	30,12	63,14	90,60		17,03		10,03		44,40	54,43	4,58									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Nov-90	chuvosa	2	0		0,05					27,30		74,66	868,13	1009,79	2,93	25,23	59,21	82,48		16,67		6,33		25,80	32,13	4,53									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Nov-90	chuvosa	3	0		0,10					27,40		74,66	1018,51	751,71	2,74	16,43	32,58	83,45		31,76		6,40		15,04	21,44	4,39									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Nov-90	chuvosa	4	0		0,50					27,70		72,38	1052,68	261,04	2,89	9,27	25,32	68,50		45,16		6,78		6,90	13,68	3,66									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Nov-90	chuvosa	5	0		0,70					27,10		63,70	1032,18	114,48	2,11	5,68	17,45	31,12		23,96		3,92		3,48	7,40	3,12									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Nov-90	chuvosa	6	0		0,90					27,30		41,96	1052,68	66,68	2,07	3,40	13,82	39,90		21,76		4,04		1,52	5,56	2,81									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Nov-90	chuvosa	7	0		1,20					27,40		28,25	950,15	31,64	2,08	3,08	12,00	31,44		14,94		2,54		3,72	6,26	2,82									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Nov-90	chuvosa	8	0		1,35					27,30		22,13	970,66	30,04	2,44	2,42	12,00	24,29		14,18		3,10		1,00	4,10	2,57									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Nov-90	chuvosa	9	0		1,40					27,50		20,22	1039,01	25,26	2,80	2,42	18,66	25,27		8,57		2,60		1,02	3,62	2,35									
R(EML\MN)	1991 e 1995	Nov-90	chuvosa	10	0		2,00					27,30		17,13	1086,86	47,57	2,31	2,75	9,88	22,99		8,46		2,

| | | |

| | | |

| | | |

T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	4	2			193,00		7,10		20,60	7,60																											
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	4	3			193,00		7,11		20,60	7,10																											
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	4	5			193,00		7,04		20,40	7,10																											
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	4	10			193,00		7,01		20,10	7,10																											
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	4	15			194,00		6,92		20,00	6,60																											
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	5	0		1,50	193,00		7,22		20,90	8,20	59,30	1695,70	42,20	2,38	0,00	8,64	46,49		12,00		2,40		2,80	5,20	2,10											
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	5	M									58,00	1691,00	44,40	1,92	0,00	9,57	45,40		9,20		2,60		3,40	6,00	2,00										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	5	F									61,00	1601,30	51,80	2,95	0,45	8,33	47,22		9,80		2,00		8,00	10,00	3,20										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	5	1			193,00		7,14		20,90	7,80																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	5	2			193,00		7,12		20,80	7,80																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	5	3			193,00		7,10		20,60	7,20																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	5	5			193,00		7,05		20,40	6,80																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	5	10			194,00		6,99		20,00	6,30																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	5	15			194,00		6,95		20,00	6,00																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	6	0		1,50	193,00		7,21		21,10	7,80	51,60	1686,30	37,10	2,22	0,00	8,32	60,32		12,60		2,20		2,80	5,00	2,00										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	6	M									50,80	1695,70	35,60	2,20	0,00	8,64	22,47		14,00		2,40		3,20	5,60	2,10										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	6	F									57,10	1733,50	43,00	3,09	0,00	8,01	38,12		8,40		2,20		3,60	5,80	2,10										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	6	1			193,00		7,18		21,00	8,00																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	6	2			193,00		7,19		21,00	8,00																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	6	3			192,00		7,13		20,60	7,30																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	6	5			193,00		7,02		20,30	7,00																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	6	10			194,00		6,86		20,10	6,30																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	6	15			194,00		6,70		20,00	6,20																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	7	0		2,30	198,00		7,00		21,30	6,90	148,70	1535,10	7,10	1,48	0,00	7,08	35,94		6,40		5,00		1,00	6,00	3,40										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	7	M									92,00	1606,00	62,90	2,31	0,00	8,64	55,23		5,30		5,20		1,80	7,00	3,10										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	7	F									94,20	1528,10	6,50	1,80	0,00	6,45	34,48		6,70		4,40		1,40	5,80	3,20										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	7	1			195,00		6,98		20,50	6,70																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	7	2			194,00		7,01		20,30	6,90																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	7	3			194,00		6,96		20,00	6,10																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	7	5			195,00		6,86		19,90	5,60																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	7	10			195,00		6,89		19,90	5,10																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	8	0		2,00	196,00		7,03		21,80	7,70	129,60	1582,40	191,90	2,75	0,16	9,57	36,67		7,30		5,40		0,60	6,00	3,30										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	8	M									141,30	1591,80	186,00	2,04	0,00	9,26	37,76		9,20		5,60		1,20	6,80	3,20										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	8	F									160,90	1535,10	155,80	2,96	0,00	7,70	32,66		7,80		5,60		0,80	6,40	3,40										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	8	1			198,00		6,98		20,60	6,70																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	8	2			198,00		6,91		20,30	6,10																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	8	3			199,00		6,88		20,10	5,70																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	8	5			199,00		6,85		19,90	5,10																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	8	10			199,00		6,75		19,90	5,00																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	9	0		1,70	195,00		7,15		21,50	8,00	126,90	1511,50	165,40	2,17	0,00	7,70	35,57		9,80		5,20		1,00	6,20	3,30										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	9	M									114,10	1596,50	155,80	3,00	1,04	11,13	38,49		11,70		6,80		1,40	8,20	3,50										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	9	F									116,40	1606,00	145,50	3,58	0,00	8,95	42,85		9,80		1,00		6,20	7,20	3,20										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	9	1			195,00		7,09		21,20	7,50																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	9	2			194,00		7,04		20,50	7,60																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	9	3			195,00		6,98		20,20	6,30																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	9	5			195,00		6,93		20,10	5,80																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	10	0		1,90	197,00		6,89		21,20	6,20	144,00	1615,40	114,50	2,52	0,16	8,64	32,30		4,80		1,00		3,00	4,00	3,30										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	10	M									132,40	1790,10	103,40	2,52	0,74	8,32	59,23		6,10		0,80		4,60	5,40	2,60										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	10	F									138,00	1738,10	107,10	2,37	0,00	7,70	58,14		5,90		0,80		4,80	0,80	2,50										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	10	1			197,00		6,86		20,30	6,10																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	10	2			197,00		6,85		20,10	5,80																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	10	3			197,00		6,83		19,90	5,30																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	10	5			197,00		6,81		19,80	5,10																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	10	10			197,00		6,71		19,80	5,00																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	10	15			198,00		6,67		19,70	4,80																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	11	0		1,60	196,00		7,02		20,70	6,70					0,00	8,95	35,21		7,50		1,00		4,60	5,60	2,60										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	11	M									141,30	1639,00	258,30	2,17	0,00	8,32	89,80		9,20		1,00		4,20	5,20	3,50										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	11	F									154,60	1544,60	251,70	3,20	0,00	8,32	67,96		6,70		0,80		4,80	5,60	2,30										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	11	1			195,00		6,93		20,30	6,30	150,10	1752,40	236,90																						
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	11	2			197,00		6,87		20,10	5,80																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	11	3			198,00		6,88		20,00	5,60																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	11	5			199,00		6,82		19,80	4,80																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	11	10			199,00		6,71		19,70	4,70																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	12	0		1,70	192,00		7,16		21,10	7,90	84,20	1672,10	236,90	1,94	7,48	16,73	65,05		10,90		2,20		4,40	6,60	2,20										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	12	M									83,10	1700,40	59,90	2,72	0,16	8,64	76,70		10,00		2,20		3,80	6,00	2,20										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	12	F									83,10	1686,30	43,00		0,00	7,70			10,00		2,20		4,00	6,20	2,30										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	12	1			191,00		7,16		20,80	7,60																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	12	2			191,00		7,13		20,70	7,60																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	12	3			191,00		7,13		20,70	7,50																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	12	5			193,00		7,03		20,30	7,10																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	13	0		2,00	198,00		7,10		19,60	5,40	120,80	1624,90	82,00	2,64	0,00	8,95	74,51		8,10		3,60		1,20	4,80	2,20										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	13	M									143,50	1946,00	85,70	2,16	0,74	13,63	54,86		7,50		3,60		1,60	5,20	2,40										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	13	F									147,40	1591,80	81,30	1,93	0,00	7,08	58,14		8,40		3,20		1,80	5,00	2,90										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	13	1			198,00		6,82		19,70	5,00																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	13	2			198,00		6,78		19,70	5,10																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	13	3			198,00		6,75		19,60	4,80																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	13	5			198,00		6,77		19,60	4,70																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	13	10			199,00		6,72		19,60	4,60																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	14	0		2,10	198,00		6,90		19,80	5,30	149,60	1554,00	120,40	2,70	0,00	7,08	62,14		5,60		3,20		1,60	4,80	3,20										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	14	M									153,20	1551,70	144,00	2,71	0,16	8,32	55,95		6,40		3,80		1,40	5,20	3,60										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	14	F									146,80	1606,00	86,50	2,01	1,04	11,13	52,32		5,60		2,80		1,60	4,40	3,20										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	14	1			198,00		6,84		19,80	5,20																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	14	2			198,00		6,84		19,80	5,10																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	14	3			198,00		6,81		19,70	5,00																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	14	5			199,00		6,80		19,60	4,80																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	14	10			200,00		6,64		19,60	4,20																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	15	0		1,90	198,00		7,11		20,30	7,00	147,40	1497,40	357,10	4,14	0,00	7,70	67,96		11,70		3,80		2,00	5,80	3,30										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	15	M									143,50	1695,70	332,10	2,90	0,16	9,26	59,23		11,20		4,40		2,00	6,40	2,10										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	15	F									148,50	1546,90	393,30	3,44	0,74	8,94	79,97		10,00		4,20		1,20	5,40	4,10										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	15	1			198,00		6,93		20,20	6,60																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	15	2			198,00		6,92		20,10	6,50																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	15	3			198,00		6,93		20,10	6,50																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	15	5			198,00		6,93		20,10	6,70																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	16	0		1,70	198,00		7,34		19,50	4,90	125,20	1606,00	88,00	1,64	0,16	8,64	19,93		6,10		3,40		0,80	4,20	3,30										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	16	M									128,00	1615,40	43,00	3,98	0,00	7,39	22,47		5,00		5,20		1,20	6,40	3,10										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	16	F									125,80	1591,80	48,90	4,05	0,00	7,70	41,03		6,40		5,40		1,40	6,80	3,10										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	16	1			198,00		6,91		19,50	4,40																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	16	2			198,00		6,82		19,50	4,30																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	16	3			198,00		6,75		19,50	4,20																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	16	5			198,00		6,74		19,50	4,00																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	16	10			198,00		6,71		19,50	3,90																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	16	15			198,00		6,67		19,50	4,10																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	17	0		1,80	198,00		7,59		19,40	4,70	133,50	1601,30	73,90	4,54	0,00	6,45	26,11		6,40		4,00		1,20	5,20	3,20										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	17	M									129,10	1667,40	59,90	4,56	0,00	9,26	33,76		6,40		3,60		0,40	4,00	3,10										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	17	F									116,90	1724,00	44,20	3,58	0,00	8,64	23,75		5,90		3,40		1,20	4,60	3,40										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	17	1			198,00		7,04		19,40	4,10																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	17	2			198,00		6,85		19,40	4,10																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	17	3			198,00		6,74		19,40	4,10																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	17	5			198,00		6,68		19,40	4,00																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	17	10			198,00		6,60		19,40	3,90																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	17	15			199,00		6,49		19,40	4,00																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	17	20			199,00		6,28		19,40	3,90																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	18	0		1,40	201,00		7,69		20,30	7,30	140,70	1436,00	588,00	6,33	0,00	8,01	27,20		10,60		5,00		2,20	7,20	3,10										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	18	M									140,70	1436,00	597,60	6,54	0,00	10,82	30,12		10,60		5,60		3,20	8,80	3,10										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	18	F									142,40	1374,60	593,20	9,21	0,00	8,32	33,03		9,80		6,60		1,60	8,20	3,10										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	18	1			201,00		7,17		20,30	6,70																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	18	2			200,00		7,05		20,30	6,60																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	18	3			200,00		6,98		20,30	6,40																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	19	0		2,00	183,00		7,03		22,10	6,60	89,60	1242,40	538,60	4,70	0,00	9,26	30,84		3,60		2,20		0,60	2,80	3,90										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	19	M									108,70	1459,60	425,70	4,54	0,00	8,32	33,76		6,40		2,80		1,60	4,40	3,90										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	19	F									100,60	1672,10	276,00	4,82	0,00	10,82	30,48		5,30		3,00		2,20	5,20	3,30										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	19	1			193,00		6,87		20,20	4,50																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	19	2			195,00		6,80		19,80	3,80																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	19	3			195,00		6,74		19,80	3,50																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	19	5			195,00		6,70		19,60	3,10																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	20	0		1,10	247,00		7,15		22,30	11,50	139,30	1155,00	165,40	13,76	5,43	7,70	27,93		16,20		6,60		3,40	10,00	1,80										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	20	M									110,30	1124,30	1282,70	14,83	0,00	11,75	24,66		15,10		6,00		2,60	8,60	2,70										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	20	F									95,10	1433,60	1189,10	11,32	0,45	10,82	35,57		2,20		3,40		2,60	6,00	4,50										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	20	1			200,00		7,53		20,60	8,70																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	20	2			187,00		7,37		20,40	8,30																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	20	3			176,00		7,19		20,20	7,00																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	20	5			201,00		6,89		19,90	4,40																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	20	10			195,00		6,57		19,60	3,10																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	20	15			210,00		6,37		19,40	0,30																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	21	0		1,60	220,00		7,43		22,30	8,40	118,00	1055,80	1496,70	11,94	1,62	13,31	42,85		8,70		3,00		1,40	4,40	3,20										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	21	M									124,10	1282,50	1277,60	12,81	5,40	12,37	34,48		12,00		4,00		2,60	6,60	3,80										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	21	F									126,30	1199,90	1215,20	13,60	0,00	9,88	39,94		4,20		2,80		2,40	5,20	3,70										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	21	1			220,00		7,29		20,60	7,60																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	21	2			215,00		7,18		20,30	7,30																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	21	3			211,00		7,12		20,20	6,70																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	21	5			204,00		6,99		20,10	5,80																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	21	10			212,00		6,53		19,60	1,60																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	22	0		2,10	163,00		6,93		21,40	6,50	52,60	1133,70	223,70	3,68	0,00	8,95	24,66		3,40		2,60		0,40	3,00	4,60										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	22	M									56,00	1086,50	214,10	3,99	1,62	12,37	27,93		4,50		2,80		1,00	3,80	4,70										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	22	F									91,70	1410,00	1129,20	9,73	2,79	11,13	35,57		3,10		3,20		2,60	5,80	4,60										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	22	1			169,00		6,89		20,30	6,00																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	22	2			164,00		6,91		19,80	5,90																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	22	3			163,00		6,88		19,80	5,30																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	22	5			172,00		6,82		19,70	2,50																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	22	10			210,00		6,57		19,60																									
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	23	0		2,40	153,00		7,17		21,70	8,10	6,00	609,60	39,30	4,89	7,77	22,96	42,13		10,30		5,20		1,00	6,20	5,60										
T(MJSW)	1998		Ago-95	seca	23	M									2,20	987,40	95,30	1,20	5,72	15,18	29,39

D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	1	0			340,00	60,00	6,79		22,50	0,61	322,30	370,06	193,16	6,76	78,49	117,57	389,23	0,02	153,45	45,86	18,23		21,52	39,75	6,60		0,06	1,71	0,24	0,02	0,00	0,02	0,01							
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	1	0			182,00	39,00	6,51		26,90	0,85	234,16	590,57	128,72	1,77	54,21	91,12	226,46	0,01	12,56	22,50	7,05		24,28	31,33	7,97		0,05	3,13	0,35	0,02	0,00	0,01	0,01							
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	1	S																		12,76		87,24					1,03	63,87	6,37	0,39	0,01	0,18	ND							
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	1	S																		11,59		88,41					1,30	44,00	4,49	0,35	0,01	0,08	ND							
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	1	S																		12,69		87,31					2,00	82,53	5,87	0,44	0,01	0,14	ND							
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	1	S																		12,59		87,41					1,80	69,59	3,17	0,50	0,00	0,17	ND							
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	1	S																		12,59		87,41					1,80	69,59	3,17	0,50	0,00	0,17	ND							
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	1	S																		8,56		91,44					0,63	50,61	3,80	0,20	0,01	0,06	0,10							
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	2	0			237,00	68,50	7,20		26,60	1,80	849,63	1546,20	1214,80	6,23	64,98	84,37	214,62	0,03	20,93	16,90	11,10		54,60	65,70	6,07		0,23	5,57	0,24	0,02	0,04	0,11	ND							
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	2	0			296,00	59,74	6,73		21,60	0,86	443,30	1212,30	1800,80	11,90	111,40	158,10	237,40	0,05	13,95	24,50	16,90		52,00	68,90	4,90		0,06	1,62	0,04	0,01	0,00	0,05	ND							
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	2	0			352,00	61,80	6,80		18,80	8,21	199,60	338,67	177,42	19,05	359,36	390,75	659,76	0,03	15,35	29,60	8,37		19,88	28,25	5,52		0,04	1,37	0,10	0,01	0,00	0,01	ND							
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	2	0			431,00	45,00	6,81		21,20	5,92	42,88	54,75	211,21	23,82	859,72	917,86	1257,70	0,02	25,11	37,30	14,11		23,66	37,78	11,33		0,05	1,62	0,15	0,01	0,00	0,01	ND							
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	2	0			537,00	62,00	7,03		22,10	0,81	91,88	178,44	168,46	9,33	798,76	703,71	1305,30	0,01	32,09	53,79	7,86		6,75	14,61	6,85		0,06	1,37	0,27	0,01	0,00	0,01	0,02							
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	2	0			239,00	40,00	6,78		26,60	0,70	292,39	675,29	153,33	2,38	78,53	119,47	307,58	0,01	5,58	13,16	14,23		93,87	108,10	4,35		0,11	6,26	0,21	0,03	0,00	0,04	0,03							
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	2	S																																				
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	2	S																		3,12		96,88					0,52	21,34	2,95	0,12	0,01	ND	ND							
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	2	S																		5,58		94,42					0,45	13,14	1,80	0,14	0,01	ND	ND							
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	2	S																		4,97		95,03					1,13	34,34	2,18	0,21	0,01	ND	ND						ND	
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	2	S																		3,96		96,04					0,66	31,30	1,41	0,15	0,01	0,03	ND						ND	
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	2	S																		4,23		95,77					0,57	17,53	1,09	0,14	0,01	0,02	0,10						0,10	
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	3	0			82,00	38,50	7,60		25,20	7,90	12,35	181,72	93,74	1,43	20,70	30,26	139,33	0,01	26,51	12,40	5,16		36,57	41,73	5,66		0,17	5,57	0,09	0,01	0,04	0,14							ND	
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	3	0			102,00	30,90	6,60		20,20	7,12	83,10	625,40	127,60	0,90	30,10	49,60	74,60	0,01	6,98	18,00	3,80		17,30	21,10	6,50		0,05	1,93	0,06	0,01	0,00	0,04							ND	
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	3	0			103,00	30,90	6,60		17,10	9,62	64,75	207,54	17,53	0,60	29,52	48,23	118,53	0,01	9,77	25,30	4,43		13,03	17,47	5,13		0,02	1,95	0,04	0,00	0,00	0,01							ND	
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	3	0			147,00	22,50	7,20		21,20	6,71	162,89	333,02	54,67	1,07	66,34	88,57	176,93	0,01	18,14	42,40	5,58		7,57	13,15	6,19		0,03	1,81	0,05	0,00	0,00	0,02							ND	
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	3	0			196,00	28,00	7,07		22,20	6,71	248,72	1240,00	32,58	0,79	70,33	82,95	181,57	0,00	50,22	34,01	5,02		9,74	14,76	5,40		0,02	0,96	0,15	0,00	0,00	0,01							0,00	
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	3	0			138,00	33,00	6,90		28,00	7,03	115,75	578,00	10,84	0,14	55,21	78,49	138,23	0,00	9,77	13,49	4,14		26,54	30,68	8,06		0,04	2,59	0,13	0,01	0,00	0,01							0,01	
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	3	S																		4,99		95,01					0,03	7,71	1,95	ND	ND	ND							ND	
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	3	S																		0,50		99,50					0,03	5,47	0,91	0,02	ND	ND							ND	
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	3	S																		1,10		98,90					0,03	7,26	1,11	0,01	ND	ND							ND	
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	3	S																		2,11		97,89					0,05	18,19	1,58	0,03	0,00	ND							ND	
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	3	S																		0,60		99,04					0,05	10,01	1,05	0,02	0,00	0,00							ND	
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	3	S																		1,42		98,58					0,07	9,51	1,15	0,02	0,00	ND							0,02	
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	4	0			96,00	36,40	7,00		25,20	7,80	90,14	479,43	234,70	1,59	31,52	39,86	177,90	0,01	13,95	10,70	16,30		136,57	152,87	5,74		0,20	10,00	0,25	0,04	0,02	0,10							ND	
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	4	0			161,00	37,08	6,88		23,10	7,08	122,30	619,20	1237,20	7,30	212,40	238,80	360,70	0,02	2,79	54,40	11,80		10,00	21,70	5,10		0,05	1,81	0,04	0,01	0,01	0,03							ND	
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	4	0			189,00	47,40	7,10		19,30	7,15	121,56	313,72	81,87	2,42	95,96	123,13	109,32	0,02	7,25	57,60	7,65		5,63	13,28	6,52		0,04	1,80	0,06	0,01	0,00	0,03							ND	
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	4	0			268,00	28,50	7,50		21,30	7,43	107,11	169,21	153,43	3,79	233,84	269,84	385,70	0,01	50,22	66,60	11,83		4,88	16,72	5,32		0,05	1,06	0,05	0,00	0,00	0,00							ND	
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	4	0			331,00	36,00	6,98		23,60	7,43	142,05	360,89	158,76	2,89	210,38	236,14	330,90	0,01	62,78	37,21	7,51		12,67	20,18	4,32		0,04	1,25	0,11	0,01	0,00	0,01							0,01	
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	4	0			194,00	33,00	6,83		27,60	6,69	161,95	500,17	60,02	0,93	123,89	159,53	231,60	0,00	6,98	21,76	5,36		19,26	24,63	8,53		0,04	2,21	0,11	0,02	0,00	0,00							0,01	
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	4	S																																				
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	4	S																		1,40		98,60					0,92	7,61	0,82	0,04	ND	ND							ND	
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	4	S																		2,21		97,79					0,19	10,14	0,64	0,05	0,00	ND							ND	
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	4	S																		2,13		97,87					0,32	18,23	0,87	0,08	0,01	ND							ND	
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	4	S																		1,61		98,39					0,18	12,52	1,44	0,03	ND	ND							ND	
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	4	S																		1,33		98,67					0,19	7,35	0,70	0,05	0,00	ND							0,02	
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	5	0			140,00	53,50	7,40		24,10	6,40	28,73	255,09	129,24	1,42	21,92	27,63	105,46	0,01	9,77	17,00	9,23		45,27	54,50	7,10		0,19	5,90	0,16	0,01	0,04	0,20							ND	
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	5	0			96,00	39,14	6,73		22,30	7,00	54,80	527,60	151,20	1,00	15,30	23,80	77,80	0,01	12,56	21,70	4,50		16,10	20,70	5,20		0,05	9,00	0,06	0,01	0,00	0,03							ND	
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	5	0			99,00	41,20	6,90		18,90	8,60	61,90	171,78	20,02	1,27	34,02	62,22	143,32	0,01	2,79	47,90	6,56		7,12	13,68	7,45		0,04	1,87	0,05	0,00	0,00	0,00							ND	
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	5	0			115,00	24,00	6,55		19,80	9,37	164,02	280,67	62,83	2,02	155,25	189,51	260,86	0,01	4,19	67,70	5,86		2,78	8,65	7,02		0,04	1,29	0,09	0,00	0,00	0,02							ND	
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	5	0			140,00	28,00	6,29		22,60	3,92	154,04	848,02	38,71	1,07	110,58	130,07	156,53	0,01	15,35	23,40	7,24		23,69	30,93	7,52		0,02	2,08	0,18	0,00	0,00	0,00							0,01	
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	5	0			129,00	32,00	6,46		26,40	5,40	28,12	206,83	20,95	0,23	37,68	56,33	152,85	0,00	5,58	14,99	11,13		63,10	74,23	8,36		0,02	4,86	0,16	0,01	0,00	0,00							0,03	
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	5	S																		2,61		97,39					0,05	0,49	1,01	0,05	ND	0,01							ND	
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	5	S																		2,73		97,27					0,07	9,47	1,51	0,05	0,00	0,11							ND	
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	5	S																		1,41		98,59					0,06	9,23	0,84	0,04	0,00	ND							ND	
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	5	S																		2,35		97,65					0,05	19,01	1,10	0,03	0,00	0,22							ND	
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	5	S																		1,73		98,27					0,06	11,94	0,41	0,02	0,00	ND							ND	
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	5	S																		2,87		97,13					0,10	14,75	1,58	0,04	0,00	ND							0,02	
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	6	0			112,00	38,50	7,50		24,90	6,60	66,10	382,24	135,31	1,75	37,59	59,76	145,70	0,01	13,95	13,20	10,90		71,40	82,30	7,06		0,23	7,82	0,19	0,01	0,04	0,09							ND	
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	6	0			130,00	28,84	6,63		22,50	6,43	103,60	774,00	308,70	0,10	13,80	14,80	115,20	0,00	25,81	21,60	6,00		21,70	27,70	2,60		0,05	1,67	0,03	0,01	0,00	0,02							ND	
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	6	0			174,00	33,00	6,80		19,30	6,43	123,40	280,17	56,21	1,76	66,42	87,98	177,60	0,01	20,46	35,40	7,05		12,04	19,09	5,68		0,04	1,92	0,06	0,01	0,00	0,02							ND	
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	6	0			250,00	39,00	6,59		20,20	7,27	209,07	304,57	124,48	2,85	170,70	209,37	331,18	0,01	42,78	64,80	5,65		3,07	8,72	4,83		0,04	0,85	0,04	0,00	0,00	0,00							ND	
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	6	0			321,00	42,00	5,99		23,10	1,16	136,28	320,28	173,88	0,01	269,43	297,70	369,03		29,30	44,44	4,56		5,70	10,26	4,99		0,04	0,86	0,11	0,01	0,00	0,01							0,01	
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	6	0			176,00	30,00	6,37		27,00	3,58	141,23	471,71	34,29	0,28	75,07	129,60	158,96	0,00	6,98	19,41	5,82		24,15	29,97	6,93		0,03	2,63	0,10	0,02	0,00	0,00	0,02							
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	6	S																		2,42		97,58					0,13	4,88	1,16	0,06	ND	0,07							ND	
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	6	S																		4,33		95,67					0,27	20,93	3,06	0,12	0,00	ND							ND	
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	6	S																		4,55		95,45					0,32	22,44	3,09	0,09	0,01	ND							ND	
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	6	S																		3,37		96,63					0,35	18,89	1,61	0,09	ND	ND							ND	
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	6	S																		3,97		96,03					0,27	21,11	3,24	0,09	0,00	0,01							ND	
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	6	S																		1,89		98,11					0,23	11,27	1,51	0,06	0,00	ND							0,02	
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	7	0			83,00	32,10	7,20		27,30	6,10	4,17	321,17	221,44	1,48	20,87	35,43	94,79	0,02	25,11	31,20	4,40		9,70	14,10	5,69		0,18	4,31	0,10	0,01	0,03	0,10							ND	
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	7	0			63,00	32,96	6,74		23,20	5,13	4,90	483,00	34,10	0,80	11,90	19,00	46,40	0,02	11,86	29,10	4,20		10,20	14,40	5,30		0,06	0,44	0,06	0,01	0,00	0,04							ND	
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	7	0			146,00	35,00	6,70		20,00	6,60	17,35	190,74	2,91	0,57	18,95	26,88	60,30	0,01	9,30	34,70	2,02		3,80	5,82	6,71		0,03	0,62	0,03	0,00	0,01	0,01							ND	
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	7	0			184,00	31,50	7,73		19,70	7,32	17,25	98,08	10,19	9,21	15,52	26,55	149,57	0,06	13,25	54,00	4,07		3,46	7,53	5,54		0,03	0,69	0,03	0,00	0,00	0,03							ND	
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	7	0			287,00	38,00	6,49		23,10	5,19	251,53	863,14	33,18	2,10	28,18	56,42	253,97	0,01	107,88	54,87	10,19		8,39	18,57	3,71		0,04	1,56	0,32	0,00	0,00	0,01							0,01	
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	7	0			140,00	24,00	6,21		28,40	5,19	14,32	196,92	9,29	0,14	24,37	56,42	97,70	0,00	11,86	26,32	2,43		6,80	9,23	6,63		0,03	1,69	0,15	0,01	0,00	0,03							0,01	
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	7	S																		11,62		88,38					0,39	48,60	9,35	0,14	0,00	0,05							ND	
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	7	S																		11,80		88,20					0,37	84,71	10,42	0,17	0,00	0,06							ND	
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	7	S																		9,04		90,96					0,34	67,60	6,56	0,12	0,01	0,01							ND	
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	7	S																		10,12		89,88					0,30	64,16	9,43	0,09	ND	ND							ND	
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	7	S																		12,05		87,95					0,40	96,28	7,51	0,14	0,00	0,03							ND	
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	7	S																		13,12		86,88					0,35	54,72	13,58	0,11	0,00	0,02							0,08	
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	8	0			75,00	40,70	7,50		24,30	6,50	4,03	315,80	40,90	1,18	20,73	31,09	130,38	0,01	12,56	11,80	11,13		82,73	93,87	5,57		0,23	7,55	0,16	0,01	0,00	0,13							ND	
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	8	0			67,00	32,96	6,61		19,70	7,49	5,00	150,20	32,20	0,60	10,50	17,10	36,50	0,02	4,19	20,50	5,30		20,50	25,80	6,50		0,05	8,00	0,05	0,01	0,00	0,03							ND	
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	8	0			52,00	30,90	7,00		16,10	9,84	5,15	28,21	2,88	0,11	15,57	27,50	41,14	0,00	20,93	23,00	3,55		11,88	15,43	6,40		0,03	2,09	0,03	0,00	0,00	0,01							ND	
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	8	0			55,00	24,00	6,89		16,90	8,90	3,59	21,01	4,39	0,07	13,14	22,40	42,12	0,00	7,67	35,80	4,27		7,66	11,93	5,97		0,02	1,43	0,03	0,00	0,00	0,00							ND	
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	8	0			57,00	24,00	7,16		20,90	8,90	4,58	166,54	2,61	0,91	19,03	25,28	53,90	0,02	12,56	17,64	2,98		13,91	16,89	6,13		0,02	2,19	0,07	0,00	0,00	0,00	0,01							
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	8	0			85,00	30,00	6,68		27,50	6,88	6,04	61,68	9,33	0,09	26,53	43,61	133,27	0,00	5,58	15,60	8,33		45,03	53,37	7,64		0,02	3,55	0,17	0,01	0,00	0,03							0,02	
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	8	S																		0,20		99,80					0,11	0,50	0,10	0,00	ND	ND							ND	
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	8	S																		0,50		99,50					0,02	1,61	0,20	0,01	0,00	ND							ND	
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	8	S																		0,40		99,60					0,00	2,30	0,44	ND	0,05	ND							ND	
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	8	S																		0,30		99,70					0,01	3,19	0,01	0,00	ND	ND							ND	
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	8	S																		0,40		99,60					0,01	6,28	0,05	0,00	ND	ND							ND	
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	8	S																		0,10		99,90					0,01	0,55	0,09	ND	ND	ND							ND	
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	9	0			127,00	48,00	6,80		29,50	4,30	35,94	650,69	319,42	2,16	45,88	59,42	182,84	0,01	11,86	25,10	4,88		14,53	19,41	5,88		0,19	2,60	0,16	0,01	0,01	0,07							ND	
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	9	0			192,00	43,26	6,41		24,50	2,43	147,10	1768,50	180,80	1,40	1,05	18,00	55,10	0,03	27,20	51,40	3,70		3,60	7,20	3,90		0,04	1,23	0,03	0,01	0,00	0,02							ND	
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	9	0			255,00	61,80	6,70		19,20	7,05	114,47	269,45	171,84	9,30	148,17	151,13	159,54	0,06	34,41	60,30	3,51		2,31	5,82	3,89		0,03	0,80	0,07	0,00	0,00	0,00							ND	
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	9	0			297,00	51,00	6,95		19,60	7,36	72,79	288,53	201,24	1,63	100,13	110,76	344,77	0,00	32,08	69,00	3,87		1,74	5,61	5,73		0,02	0,23	0,07	0,00	0,00	0,00							ND	
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	9	0			412,00	82,00	7,31		23,60	7,47	332,65	1036,30	170,68	0,23	171,49	201,60	218,64	0,00	68,36	74,77	6,49		2,19	8,68	7,86		0,02	0,42	0,28	0,00	0,00	0,01							0,00	
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	9	0			218,00	37,00	7,17		30,30	7,41	191,49	581,83	68,34	0,74	50,10	71,20	114,25	0,01	19,53	54,27	3,49		2,94	6,43	7,26		0,03	0,79	0,24	0,02	0,00	0,03							0,01	
D(IBC)	2001		Fev-99	chuvosa	9	S																		8,82		91,18					0,52	4,26	14,54	0,15	0,01	ND							ND	
D(IBC)	2001		Abr-99	seca	9	S																		12,50		87,50					0,70	88,98	19,04	0,22	0,01	ND							ND	
D(IBC)	2001		Jun-99	seca	9	S																		12,80		87,82					0,57	114,24	23,21	0,16	0,01	0,05							ND	
D(IBC)	2001		Ago-99	seca	9	S																		14,92		85,08					0,75	113,90	18,77	0,15	ND	0,02							ND	
D(IBC)	2001		Nov-99	chuvosa	9	S																		14,24		85,76					0,70	106,26	23,96	0,19	0,00	0,05							ND	
D(IBC)	2001		Mar-00	chuvosa	9	S																		14,00		86,00				

| | | |

| | | |

Dados limnológicos do Reservatório de Barra Bonita - SP, utilizados no presente trabalho

Legenda:

	Secchi=profundidade do disco de Secchi (tomando as profundidades dos outros trabalhos que sejam mais próximas das profundidades de secchi e 3xsecchi do trabalho atual, para efeito de comparação)					
	S=Estação seca	C=Estação chuvosa				
	PID= Fosfato inorgânico dissolvido	PT= Fósforo total	OD=Oxigênio dissolvido	NO_3=Nitrato		
	PTD=Fosfato total dissolvido	NT= Nitrogênio total	MSO=Material em suspensão orgânico	NH_4=Amônio		
	MSI=Material em suspensão inorgânico	MST=Materiais em suspensão totais	NO_2=Nitrito	SiO_2=Silicato reativo		
	Cond.=Condutividade elétrica	Temp.=Temperatura da água	Transp.=Transparência da água	Clorofila=Clorofila a total		

Identificador	Autor (Ano Publicação)	Data de Coletas	Estação	Código dos trabalhos utilizados (Código pontos correspondentes deste trabalho)	Profundidades utilizadas (m)	Parâmetros utilizados
T(MCC)	Calijuri (1988)	jul-86 e fev-87	S e C	I (30)	0 e 1	pH, cond., OD, temp., NO_2, NO_3, PID, PTD, NH_4, MST, MSI, MSO, Clorofila
R(EMLMN)	Novo e Braga (1991 e 1995)	ago e nov-90	S e C	1(1) a 30(30)	0	temp., transp., NO2, NO_3, SiO_2, PID, PTD, PT,NH_4, NT, MST, MSI, MSO, Clorofila
D(SCDS)	Santos (1996)	Jul-92	S	11 (13), 15 (27), 17 (29), 19 (28), 21 (30) e 28 (26)	0	pH, cond., OD, temp., NO_2, NO_3, PID, PTD, PT,NH_4, NT, MST, MSI, MSO
D(PP)	Petrarco (1995)	fev, mar, abr, mai, jun, jul-92	S e C	IIFe IID (1), IIIF e IIID (22)	0	pH, cond., OD, temp., NO_2, NO_3, PID, PTD, PT,NH_4, NT, MST, MSI, MSO
T(ELGE)	Espíndola (1994)	jan a dez-92 e jan a dez-93	S e C	1(30)	0, 5, 10 e 20	pH, cond., OD, transp., MST, MSI, MSO, Clorofila
T(MKO)	Oishi (1996)	1992	S e C	9(30)	0	pH, cond., OD, temp, NO_2, NO_3, SiO_2, PID, PTD, PT,NH_4, NT, MST, MSI, MSO, Clorofila
T(MALS)	Sandes (1998)	abr e mai-93	S	1 (30)	0, 1, 5, 10 e 20	pH, cond., OD, temp, NO_2, NO_3, SiO_2, PID, PTD, PT, NH_4, NT, MST, MSI, MSO, Clorofila
LD(MCC)	Calijuri (1999)	jul-93 a jun-94	S e C	1(30)	0	pH, cond., temp., transp., NO_2, NO_3, SiO_2, PID, PTD, PT,NH_4, NT, MST, MSI, MSO, Clorofila
T(MJSW)	Wisniewski (1998)	jan e ago-95	S e C	3 (30), 6 (28), 9 (29), 11 (26), 12 (27), 17 (25), 20 (13), 22 (11), 23 (10), 24 (23), 25 (22)	0, 3, 5 e 10	pH, cond., OD, temp., transp., NO_2, NO_3, SIO2, PID, PTD, PT,NH_4, NT, MST, Clorofila
D(SLD)	Rodrigues (1997)	fev e ago-96	S e C	1(30)	0, 1, 3, 5, 10 e 20	pH, cond., OD
T(AMG)	Guntzel (2000) - 1979	fev, mai, ago e nov-79	S e C	P4(30)	0	pH, temp., transp., NO_2, NO_3, SiO_2, PID, PTD, NH_4, NT
T(AMG)	Guntzel (2000) - 1998	Fev-98	C	P1 (22), P3 (11), P4 (30)	0	pH, cond., OD, temp., transp., NO_2, NO_3, SiO_2, PID, PTD, PT,NH_4, NT, MST, Clorofila
D(JBC)	Costa (2001)	fev, abr, jun, ago, nov-99 e mar-00	S e C	7 (11), 9 (22), 13 (28), 14 (30)	0	pH, cond., OD, temp., NO_2, NO_3, SiO_2, PID, PTD, PT, NH_4, NT, MST, MSI, MSO, Clorofila
D(RF) e (SR)	Fracácio (2001) e Rodgher (2001)	out-99 e fev, mai, jul-00	S e C	BBMontante (30), Tietê (14), Piracicaba (7)	0, 1, 3 e 10	pH, transp., cond., OD, temp., NO_2, NO_3, PID, PTD, PT, NH_4, NT, MST, MSI, MSO, Clorofila
T(RBP)	Prado (2004)	ago e dez-02	S e C	1 a 30	0, secchi (para o ponto 30 aproximadamente 1) e 3xsecchi (para o ponto 30 aproximadamente 3)	pH, cond., OD, temp., transp., NO_2, NO_3, SiO_2, PID, PTD, PT,NH_4, NT, MST, MSI, MSO, Clorofila

Métodos de análise dos parâmetros utilizados no presente trabalho segundo cada publicação

Legenda:

Secchi=profundidade do disco de Secchi (tomando as profundidades dos outros trabalhos que sejam mais próximas das profundidades de secchi e 3xsecchi do trabalho atual, para efeito de comparação)

NA=parâmetro não analisado pelo autor autor ND=dados não disponíveis na forma de tabelas

Identificador	Autor (Ano Publicação)	Transparência da água (m)	Condutividade (µS/cm)	pH	Temperatura da água (°C)	OD (mg/L)	Nitrito-NO_2 (µg/L)	Nitrato-NO_3 (mg/L)	Amônio-NH_4 (mg/L)	Ntotal (mg/L)	PID (mg/L)	PTD (mg/L)	Ptotal (mg/L)	Clorofila-*a* total (mg/L)	MSO (mg/L)	MI (mg/L)	MST (mg/L)	Silicato reativo - SiO_2 (mg/L)
T(MCC)	Calijuri (1988)	Disco de Secchi	Condutivímetro Digimed	Potenciômetro digital Methrom	Termistor Tobo Dentam	Golterman *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Koroleff (1976)	NA	Stricklland e Parsons (1960)	Strickland e Parsons (1960)	NA	Golterman *et al*. (1978)	Teixeira et al. (1965) e Tundisi (1969)		Teixeira et al. (1965) e Tundisi (1969)	Golterman *et al*. (1978)
R(EMLMN)	Novo e Braga (1991 e 1995)	Disco de Secchi	NA	NA	Termistor Tobo Dentam	Golterman *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Koroleff (1976)	Golterman *et al*. (1978)	Stricklland e Parsons (1960)	Strickland e Parsons (1960)	Valderrama (1981)/APHA (1985)	Golterman *et al*. (1978)	Teixeira et al. (1965) e Tundisi (1969)	Teixeira et al. (1965) e Tundisi (1969)	Teixeira et al. (1965) e Tundisi (1969)	Golterman *et al*. (1978)
D(SCDS)	Santos (1996)	Disco de Secchi	Condutivímetro Digimed	Potenciômetro digital Methrom	Termistor Tobo Dentam	Golterman *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Koroleff (1976)	Golterman *et al*. (1978)	Stricklland e Parsons (1960)	Strickland e Parsons (1960)	Valderrama (1981)/APHA (1985)	NA	Kuhl (1976) e Moreno (1987)	Kuhl (1976) e Moreno (1987)	NA	NA
D(PP)	Petrarco (1995)	NA	Condutivímetro Digimed	Potenciômetro digital Methrom	Termistor Tobo Dentam	Golterman *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Koroleff (1976)	Golterman *et al*. (1978)	Stricklland e Parsons (1960)	Strickland e Parsons (1960)	Standart Methods (1971)	NA	Teixeira *et al*. (1965)	Teixeira *et al*. (1965)	Teixeira *et al*. (1965)	NA
T(ELGE)	Espindola (1994)	Disco de Secchi	Condutivímetro Digimed	Potenciômetro Digimed	ND	Golterman *et al*. (1978)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Nush (1980)	Teixeira *et al*. (1965)	Teixeira *et al*. (1965)	Teixeira *et al*. (1965)	NA
T(MKO)	Otshi (1996)	Disco de Secchi	Condutivímetro Hidrocean	Potenciômetro	Termômetro de mercúrio	Golterman *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Koroleff (1976)	Valderramna (1981) corrigidos de acordo com Engle e Sarnelle (1990)	Stricklland e Parsons (1960)	Strickland e Parsons (1960)	Valderramna (1981) corrigidos de acordo com Engle e Sarnelle (1990)	Golterman *et al*. (1978)	Teixeira *et al*. (1965)	Teixeira *et al*. (1965)	Teixeira *et al*. (1965)	Golterman e Clymo (1969)
T(MALS)	Sandes (1998)	ND	Condutivímetro Digimed	Método eletrométrico	Termistor Tobo Dentam	Golterman *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Koroleff (1976)	Allen *et al*. (1974)	Stricklland e Parsons (1960)	Strickland e Parsons (1960)	Valderramna (1981)/APHA (1985)	Nush (1980)	Teixeira *et al*. (1965) e Tundisi (1969)	Teixeira *et al*. (1965) e Tundisi (1969)	Teixeira *et al*. (1965) e Tundisi (1969)	Golterman *et al*. (1978)
L(QMCC)	Calijuri (1999)	Disco de Secchi	Horiba U-10	Horiba U-10	Horiba U-10	Horiba U-10	Mackereth *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Koroleff (1976)	Golterman *et al*. (1978)	Stricklland e Parsons (1960)	Strickland e Parsons (1960)	Valderramna (1981)/APHA (1985)	Nushi (1980) e Marker *et al*. (1980)	Teixeira *et al*. (1965)	Teixeira *et al*. (1965)	Teixeira *et al*. (1965)	Golterman e Clymo (1969)
T(MSSW)	Wisniewski (1998)	Disco de Secchi	Horiba U-10	Horiba U-10	Horiba U-10	Horiba U-10	Mackereth *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Koroleff (1976)	Golterman *et al*. (1978)	Golterman *et al*. (1978)	Golterman *et al*. (1978)	Valderramna (1981)/APHA (1985)	Nush (1980)	Teixeira *et al*. (1965)	Teixeira *et al*. (1965)	Teixeira *et al*. (1965)	Golterman *et al*. (1978)
D(SLD)	Rodrigues (1997)	Disco de Secchi	Horiba U-10	Horiba U-10	Horiba U-10	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND	ND	ND	ND	NA
T(AMG)	Guntzel (2000) - 1979	Disco de Secchi	Condutivímetro Methrom	Potenciômetro Micronal	Termistor Tobo Dentam	Golterman *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Koroleff (1976)	Golterman *et al*. (1978)	Golterman *et al*. (1978)	Golterman *et al*. (1978)	Valderramna (1981)/APHA (1985)	NA	NA	NA	NA	Golterman *et al*. (1978)
T(AMG)	Guntzel (2000) - 1998	Disco de Secchi	Horiba U-10	Horiba U-10	Horiba U-10	Horiba U-10	Mackereth *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Koroleff (1976)	Golterman *et al*. (1978)	Golterman *et al*. (1978)	Golterman *et al*. (1978)	Valderramna (1981)/APHA (1985)	Nush (1980)	Teixeira *et al*. (1965)	Teixeira *et al*. (1965)	Teixeira *et al*. (1965)	Golterman *et al*. (1978)
D(JBC)	Costa (2001)	Disco de Secchi	Horiba U-10	Horiba U-10	Horiba U-10	Horiba U-10	Goltrman *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Koroleff (1976)	Golterman *et al*. (1978)	Stricklland e Parsons (1960)	Strickland e Parsons (1960)	Stricklland e Parsons (1960)	Nush (1980)	Wetzel e Likens (1991)	Wetzel e Likens (1991)	Wetzel e Likens (1991)	Golterman *et al*. (1978)
D(RF) e (SR)	Fracácio (2001) e Rodgher (2001)	Disco de Secchi	Horiba U-10	Horiba U-10	Horiba U-10	Horiba U-10	Mackereth *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Koroleff (1976)	Golterman *et al*. (1978)	Stricklland e Parsons (1960)	Strickland e Parsons (1960)	Stricklland e Parsons (1960)	Nush (1980)	Teixeira *et al*. (1965)	Teixeira *et al*. (1965)	Teixeira *et al*. (1965)	Golterman *et al*. (1978)
T(RBP)	Prado (2004)	Disco de Secchi	Horiba U-10	Horiba U-10	Horiba U-10	Horiba U-10	Golterman *et al*. (1978)	Mackereth *et al*. (1978)	Koroleff (1976)	Golterman *et al*. (1978)	Golterman *et al*. (1978)	Strickland e Parsons (1960)	Valderramna (1981)/APHA (1985)	Nush (1980)	Wetzel e Likens (1991)	Wetzel e Likens (1991)	Tundisi (1969), Teixeira et al. (1978) e Wetzel e Likens (1991)	Golterman *et al*. (1978)

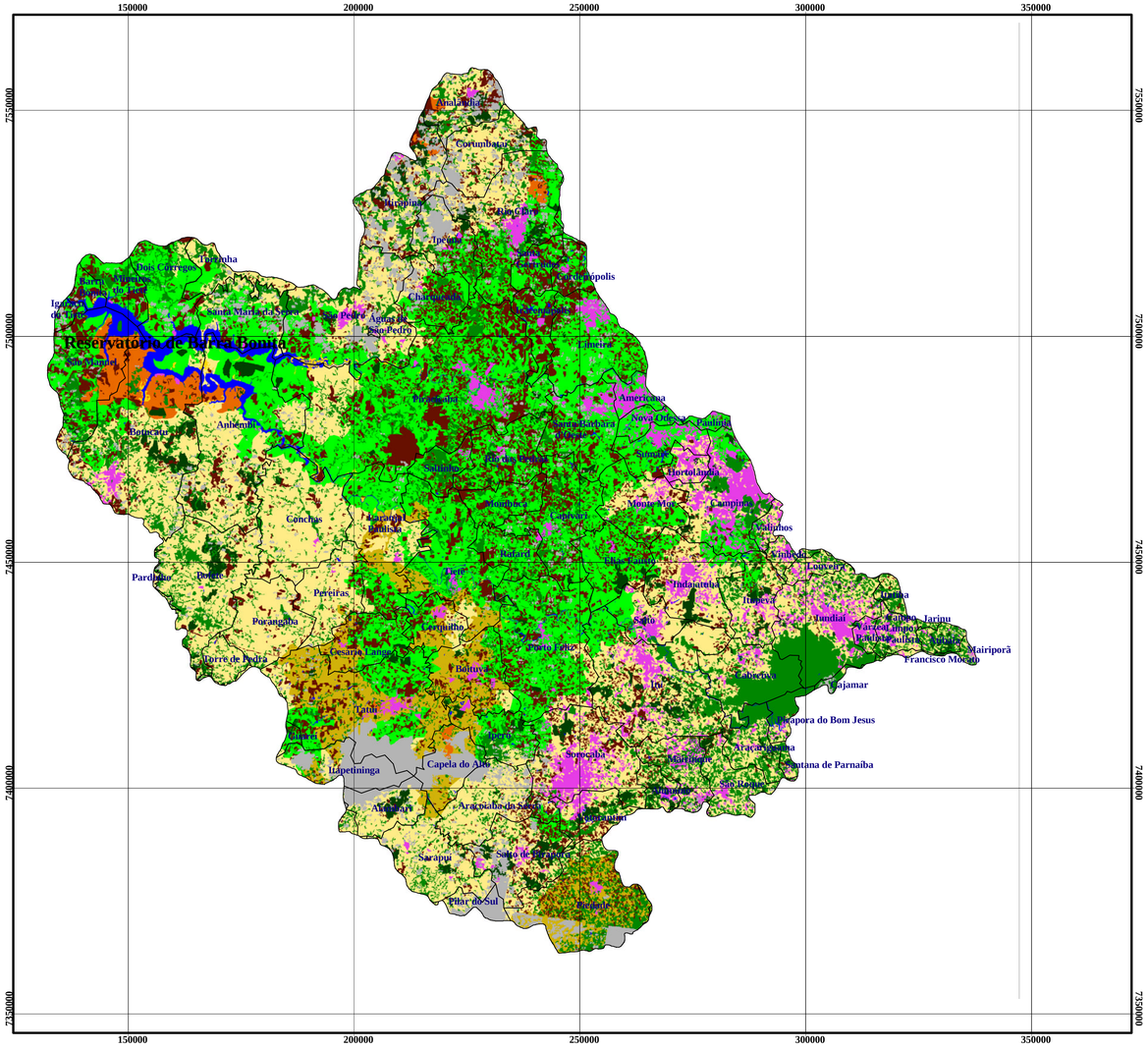
Levantamento de publicações cuja área de estudo abrange o Reservatório de Barra Bonita - SP

LEGENDA:

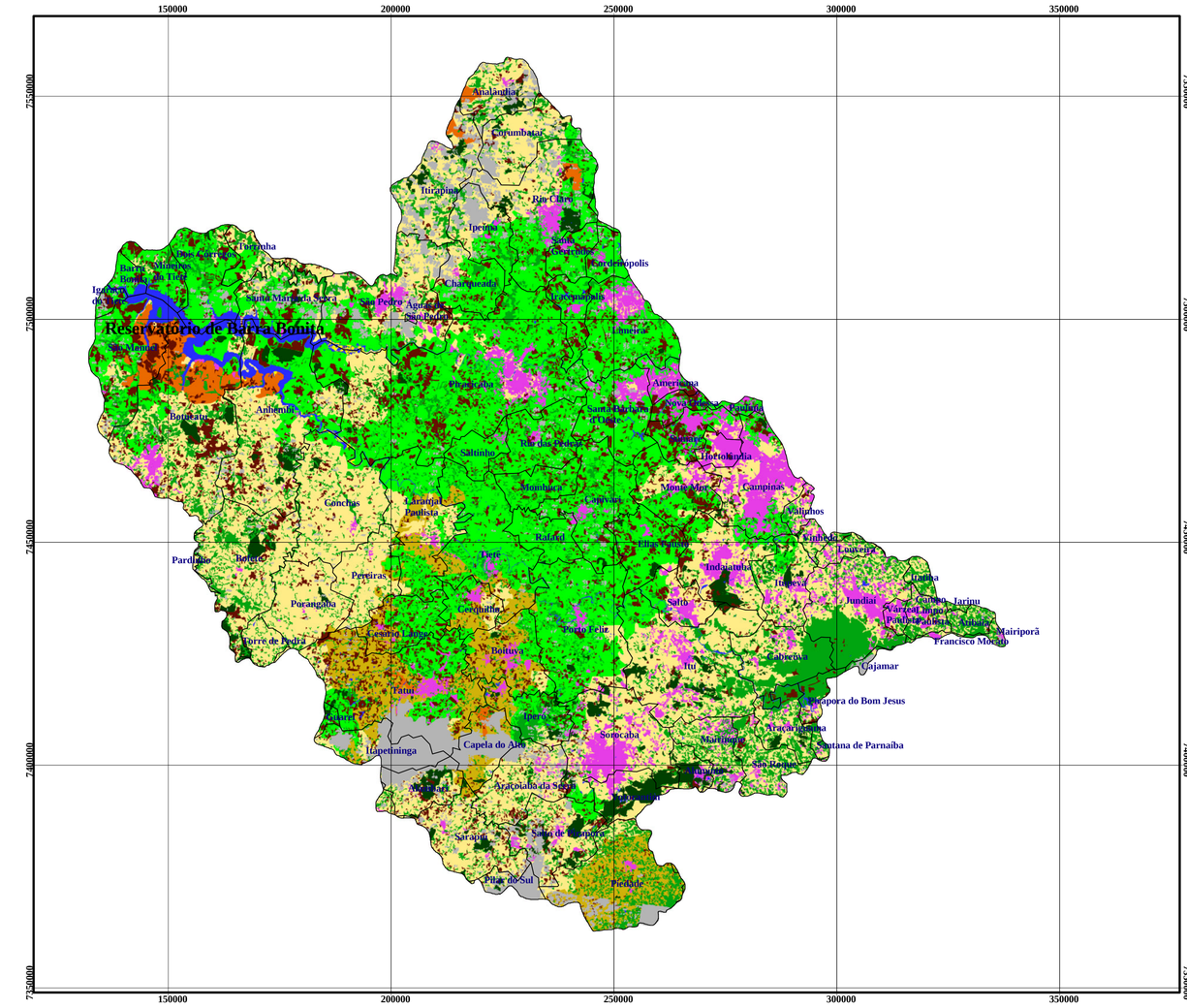
	Identificador:	Constituído por uma letra indicando o tipo de publicação e as iniciais do nome do primeiro autor entre parênteses		EESC-USP= Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo
	Tipo de publicação:	T=Tese; D=Dissertação; J=Journal, revista, periódico; LD=Livre Docência; R=Relatório		CRHEA= Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada - Universidade de São Paulo
		Mais de uma publicação de um autor em um mesmo tipo de fonte adotou-se ordem cronológica (1, 2, 3...)		UFSCar= Universidade Federal de São Carlos
		Mais de uma publicação de um autor em mesmo tipo de fonte e mesmo ano adotou-se letras (a, b,c...)		IGC-USP=Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo
				INPE=Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
				UNESP=Universidade Estadual de São Paulo

Identificador:	Ano publicação	Título	Primeiro autor	Local onde foi encontrada a publicação
D(JGG)	1984	Estudo limnológico comparado de cinco reservatórios do Estado de São Paulo localizados em diferentes sistemas hidrográficos	J. G. Gentil	UFSCar
J(RH1)	1985	Primary production and effects of enrichment with nitrate and phosphate on phytoplankton in the Barra Bonita reservoir (SP)	R. Henry	Int. Ver. Ges. Hydrobiology 70(4):561-573
J(RH2)	1986	O crescimento potencial do fitoplâncton da represa de Barra Bonita (Rio Tietê-SP): uma comparação sazonal dos efeitos de enriquecimento artificial em amostras de seus tributários	R. Henry	Ciência e Cultura, 38(9):1553-1564
J(MLLCR)	1986	Estudos sobre a fertilidade potencial das águas do reservatório de Barra Bonita	M.L.L.C. Ramos	Acta Limnol. Brazil I. 155-178
J(JGT1a)	1986	Eutrophication processes and trophic state for 23 reservoirs in São Paulo State, southern Brazil	J. G. Tundisi	V Brazil-Japan symposium on science and thecnology. Tokyo, Japan: 19p.
J(MLLCR)	1986	Estudo sobre a fertilidade potencial das águas do reservatório de Barra Bonita	M. L. L. C. Ramos	Acta.limnológica Brazil, I:155-178
D(PJ)	1987	A ecologia e a poluição na represa de Barra Bonita no estado de São Paulo	P. Jureidini	Instituto Básico de Biologia Médica e Agrícola-UNESP
D(RDF)	1987	Ciclo sazonal do fitoplâncton, fatores climáticos e hidrológicos na represa de Barra Bonita-SP	R. Fillipo	UFSCar
R(TMT)	1987,1989	Processo de eutrofização da represa de Barra Bonita: influência dos rios Piracicaba e Tietê	T.Matsumura-Tundisi	UFSCar
T(MCC)	1988	Respostas fisioecológicas da comunidade fitoplanctônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização	M.C. Calijuri	CRHEA e EESC-USP
J(RH3)	1988	Aspectos sazonais da limitação potencial por N, P e Fe no fitoplâncton da represa de Barra Bonita (Rio Tietê-SP)	R. Henry	Ver. Bras. Biologia 48(1): 1-14
J(JGT2)	1988	Limnology and eutrophication of Barra Bonita reservoir, São Paulo State, Southern Brazil	J. G. Tundisi	Proceedings of the Intern. Conference on Reservoir Ceske Budekovice, Tchecoslovaquia
D(RGD)	1990	Ciclos nictemerais de fatores ecológicos, biomassa e diversidade de plâncton na represa de Barra Bonita-SP	R.G. Dias	UFSCar
D(CPF)	1990	Flutuações de curta duração na comunidade zooplanctônica, Barra Bonita, Médio Tietê, SP.	C. P. Fonseca	CRHEA e EESC-USP
D(FJA)	1990	Influência de fatores hidráulicos e hidrológicos na composição e biomassa do fitoplâncton, em curto período de tempo, na represa de Barra Bonita-SP.	F.J. Aranha	CRHEA e EESC-USP
D(DFC)	1993	Ecotoxicologia de compostos organoclorados persistentes em um ecossistema eutrófico: represa de Barra Bonita (Médio Tietê-SP)	D.F. Calheiros	CRHEA e EESC-USP
D(AAS)	1993	Estudo da eutrofização do reservatório de Barra Bonita (Rio Tietê - SP) através de simulação numérica	A.A.Saggio	CRHEA e EESC-USP
D(HTO)	1993	Avaliaçao das condições Limnológicas de um compartimento(Braço do Rio capivara) e sua interação com o reservatório de Rio Bonito,SP<com ênfase na comunidade fitoplactônica.	H.T. Oliveira	CRHEA e EESC-USP
D(SHGB)	1994	Eutrofização da represa de Barra Bonita e comportamento da comunidade fitoplanctônica	S.H.G. Brondi	CRHEA e EESC-USP
T(ELGE)	1994	Dinâmica da associação congenérica das epécies de *Notodiaptomus* (Copépoda, Calanoida) no reservatório de Barra Bonita, São Paulo	E.L.G. Espíndola	CRHEA e EESC-USP
D(ACC)	1994	Proposta de um modelo empírico para a estimativa da concentração média da clorofila da zona eufótica em função de medidas de concentração de clorofila em superfície obtidas a partir de dados de sensoriamento remoto orbital	A . C. Cestaro	CRHEA e EESC-USP
D(JCR)	1994		J. C. Refosco	CRHEA e EESC-USP
D(PP)	1995	Determinação da biomassa e estoque de nitrogênio e fósforo de *Polygonum spectabile mart.* e *Paspalum repens berg* da represa de Barra Bonita	P. Petracco	CRHEA e EESC-USP
D(ACR)	1995	Alimentação, ciclo de vida e análise da coexistência de espécies de cyclopóida na Represa deBarra Bonita	A.Rietzier	CRHEA e EESC-USP
D(LMB)	1995	Métodos estatísticos multidimensionais e geoestatísticos aplicados ao estudo comparativo de reservatórios do Estado de São Paulo	L.M. Bini	CRHEA e EESC-USP
R(EMLMN)	1995	Segundo Relatório do Projeto Sensoriamento remoto de Sistemas aquáticos	E. M. L. M. Novo	INPE
D(SCDS)	1996	Alguns aspectos do ciclo do fósforo e eutrofização na represa de Barra Bonita, (SP)	S.C.D. Santos	CRHEA e EESC-USP
T(MKO)	1996	Caracterização do meio físico, das características físicas e químicas e de fluxo de nutrientes tributários da bacia hidrográfica do reservatório de Barra Bonita, Médio Tietê-SP	M.K. Oishi	CRHEA e EESC-USP
D(SLR)	1997	Efeitos das variáveis ecológicas na disponibilidade e qualidade da radiação solar subaquática em ecossistemas artificiais (reservatórios de Barra Bonita e do Lobo)	S.L.Rodrigues	CRHEA e EESC-USP
T(GCM)	1998	Sedimentação e fluxo vertical de nutrientes em dois reservatórios de distintos estados tróficos (reservatórios doBroa e Barra Bonita-SP)	G.C. Marquisa	CRHEA e EESC-USP
T(MJW)	1998	Distribuição espacial e produção secundária da comunidade zooplanctônica do reservatório de Barra Bonita – SP	M.J. Wisniewski	UFSCar
T(MALS)	1998	Estudos ecológicos em florescimento de *Microcystis* (Cyanobacteria-Cyanophyceae) e interações com a flora bacteriana na represa de Barra Bonita-Médio Tietê/SP.	M. A. L. Sandes	CRHEA e EESC-USP
D(SJ)	1998	Estrutura e Dinâmica da comunidade fiptplactônica no reservatório de Barra Bonita (SP): Uma análise em diferentes escalas de tempo.	S. Jati	CRHEA e EESC-USP
D(SLS)	1998	Estrutura da comunidade planctônica da região litorânea (compartimento Capivara) da represa da Barra Bonita, SP.	S. L. Sonoda	CRHEA e EESC-USP
LD(MCC)	1999	A comunidade fitoplanctônica em um reservatório tropical (Barra Bonita, SP)	M.C. Calijuri	CRHEA e EESC-USP
T(AMG)	2000	Variações espaço-temporais da comunidade zooplanctônica nos reservatórios do médio e baixo rio Tietê/Paraná - SP	A.M.Guntzel	UFSCar
D(JBC)	2001	Avaliação ecotoxicológica da água e sedimento de tributários do reservatório de Barra Bonita, Médio Tietê Superior-SP	J.B. Costa	CRHEA e EESC-USP
D(JBC)	2001	Utilização de técnicas de segmentação e componentes principais de imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita-SP.	J.B.Cabral	IGC-USP
D(JBC)	2001	Avaliação ecotoxicológica da água e sedimento de tributários do reservatório de Barra Bonita (Médio Tietê Superior-SP)	J.B. Costa	CRHEA e EESC-USP
D(SR)	2001	Estudos ecotoxicológicos e limnológicos nos reservatórios em cascata do Médio e Baixo rio Tietê: uma análise espacial e temporal	S. Rodgher	CRHEA e EESC-USP
D(RF)	2001	(Cypriniformes, Cyprinidae) e análises limnológicas para a avaliação ambiental dos reservatórios do Médio e Baixo rio Tietê (SP)	R.Fracácio	CRHEA e EESC-USP
T(RBP)	2004	Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal das características fisiográficas, uso da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos.	R. B. Prado	CRHEA e EESC-USP

Mapas de Uso e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica de Contribuição para o Reservatório de Barra Bonita



Ano de 1990



Ano de 2002

Escala: 1:500000

30000 0 30000 60000 Meters

N

Imagens obtidas pelo sensor TM e ETM+ a bordo dos satélites Landsat 5 e 7, no período de verão de 1990 e 2002, respectivamente.

Projeção: UTM - Fuso 23 estendido
Datum:SAD 69
Longitude de Origem: 45 graus

São Carlos, SP
2004

LEGENDA

- **DIVISÃO MUNICIPAL DO IBGE**
- **ÁREA URBANA: áreas localizadas no perímetro urbano ou próximas, apresentando algum tipo de construção.**
- **SOLO EXPOSTO: áreas com ausência de cobertura vegetal, cultura, pastagem ou campo (mesmo que seja apenas por um período do ano) e ainda, as áreas que não se enquadram nas outras classes como afloramentos rochosos, estradas e áreas de mineração.**
- **PASTAGEM E CAMPO: áreas cobertas por pastagens naturais e plantadas, campos limpos e terrenos baldios em área urbana cobertos por gramíneas.**
- **CANA-DE-AÇÚCAR: áreas cobertas pela cultura de cana-de-açúcar em grandes talhões, seja na fase jovem, adulta ou cortada (nos casos em que o solo exposto não predomina).**
- **CULTURA TEMPORÁRIA: áreas cobertas por culturas que estão presentes em determinada época do ano, geralmente em pequena escala, destacando-se as culturas do milho, batata, arroz, trigo, feijão e cana-de-açúcar em pequenos talhões.**
- **CULTURA PERMANENTE: áreas cobertas por culturas permanentes, predominantemente, pela cultura da laranja.**
- **REMANESCENTE DE VEGETAÇÃO NATURAL: áreas cobertas por remanescentes florestais em diversos estágios de sucessão incluindo unidades de conservação e matas ciliares, capoeiras, cerrados, campos sujos, vegetações de várzeas e bosques e parques vegetados em áreas urbanas.**
- **REFLORESTAMENTO: áreas cobertas por reflorestamento, de pequenas a grandes parcelas, incluindo unidades de conservação, predominando as espécies de Eucaliptus e Pinus.**
- **MACRÓFITAS: plantas aquáticas recobrindo parte do Reservatório de Barra Bonita, assim como áreas alagadas no seu entorno.**
- **NUVEM E SOMBRA: áreas cobertas por nuvens ou sombra no momento da passagem do satélite.**
- **CORPO DE ÁGUA: Reservatório de Barra Bonita e outros reservatórios (psicultura, mineração e irrigação), lagos, lagoas e rios de grande porte.**