Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública

**As Atividades do Homem e a Evolução da Dinâmica
do Fósforo no Meio Ambiente**

Claudia Maria Gomes de Quevedo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Saúde Pública para obtenção do
título de mestre em Saúde Pública.

Área de Concentração: Saúde Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Wanderley da Silva Paganini

São Paulo
2009

As Atividades do Homem e a Evolução da Dinâmica do Fósforo no Meio Ambiente

Claudia Maria Gomes de Quevedo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Saúde Pública.

Área de Concentração: Saúde Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Wanderley da Silva Paganini

São Paulo

2009

É expressamente proibida a comercialização deste documento tanto na sua forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da tese/dissertação.

*Dedico aos meus pais, Ricardo e Maria, por tudo o que me ensinaram e
que ainda me ensinam todos os dias, com simplicidade e amor...*

*... e ao meu marido, Eduardo, pela paciência e pelo apoio; por
estar ao meu lado, sempre.*

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Agradeço a Deus, por ter tornado esse sonho possível e por ter me ajudado e me dado forças ao longo desta jornada.

Ao meu marido Eduardo pela dedicação, amor e carinho; por me incentivar e me ajudar a prosseguir nos momentos mais difíceis.

Às minhas irmãs Ana Lúcia, Elení e Regina, por tudo o que vivemos e aprendemos juntas e pela nossa eterna amizade.

Ao Prof. Dr. Wanderley da Silva Paganini, meu orientador, a quem respeito e admiro, pela confiança e pelo apoio; por acreditar em mim e no meu trabalho.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível graças a pessoas especiais, que me auxiliaram de diferentes formas, através da amizade, do apoio, do trabalho e da dedicação.

Assim, agradeço inicialmente à Artur Esteves Bronzatto, Antonio Fernandes Garcia Junior, José Aurélio Boranga, Eloísa Helena Cherbakian e Viktor Boyadjian Pereira, amigos da Unidade de Negócio Médio Tietê e da Superintendência de Gestão Ambiental da SABESP, por terem permitido e incentivado a realização deste curso.

Agradeço à Miriam Moreira Bocchiglieri, que além da amizade e do companheirismo, teve paciência, carinho e disposição para me ajudar a frequentar as aulas.

Agradeço a todas as pessoas especiais que conheci ao longo deste trabalho e que contribuíram para meu crescimento pessoal, profissional e acadêmico e, especialmente, à Miriam, Patrícia, Ana Paula, Carlos Roberto, Cristiano, Camila Brandão, Alceu, Andrea, Maria do Carmo, Marilda e Camila Guedes, participantes do Grupo de Orientação Coletiva conduzido pelo Prof. Dr. Wanderley Paganini, um valioso espaço para troca de conhecimento e experiências.

Agradeço a Luiz Carlos, Elida, Othon e Miguel, que com carinho e amizade, contribuíram, cada um à sua maneira, para esta conquista.

Agradeço aos técnicos da CATI que auxiliaram na disponibilização de dados relativos à atividade agrícola, especialmente ao Engº Agrº Mário Ivo Drugowich, da Divisão de Extensão Rural, pelo apoio, pelo incentivo e pelas informações prestadas.

Agradeço, também, ao Marcos Tadeu Moraes, do Departamento de Controladoria e Planejamento da Unidade de Negócio Médio Tietê da SABESP, pela importante colaboração na compilação de dados.

Agradeço, finalmente, às equipes da biblioteca da SABESP, da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo e da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista pelo auxílio prestado no levantamento bibliográfico.

RESUMO

Quevedo CMG. As atividades do homem e a evolução da dinâmica do fósforo no meio ambiente. São Paulo (BR); 2009. [Dissertação de Mestrado – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo Brasil].

A evolução dos níveis de utilização do fósforo pelo homem tem acarretado um aumento das taxas de exploração do nutriente, tornando iminente a escassez das reservas conhecidas e exploráveis, e contribuindo para deterioração da qualidade das águas. Atentos a essas questões, diversos países buscam reduzir os impactos das atividades humanas sobre as fontes de fósforo e diminuir os níveis de eutrofização dos corpos d'água através da aplicação de medidas direcionadas para a limitação ou banimento da utilização de tripolifosfato de sódio (STPP) nos detergentes, já que esta é considerada a principal fonte desse nutriente nos esgotos domésticos. De forma paralela, e com base nos resultados obtidos, são planejadas melhorias nos sistemas de tratamento de esgotos, considerando-se as peculiaridades econômicas, sociais e ambientais de cada região. Visando contribuir para uma melhor visualização do assunto, incorporando-o na realidade do Estado de São Paulo, o presente trabalho busca retratar a dinâmica do fósforo no meio ambiente a partir das atividades humanas desenvolvidas na bacia hidrográfica, utilizando o rio Tietê como estudo de caso. Os resultados obtidos indicam que o aporte desse nutriente nas águas está relacionado com a atividade urbana, principalmente de fontes domésticas, apontando para a necessidade de se aprimorar as formas de controle da quantidade de STPP utilizado na fabricação de detergentes e saponáceos.

Palavras-chave: Fósforo, urbanização, qualidade das águas e detergentes.

ABSTRACT

Quevedo CMG. Human activities and the phosphorus evolution dynamics in the environment. São Paulo (BR); 2009. [Dissertação de Mestrado – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo Brasil].

The evolution of the levels of phosphorus usage by man has as consequence an increase of the nutrient exploitation levels, making imminent the shortage of the known and exploitable reserves, and contributing to deteriorate the quality of water. Mindful of these issues, many countries intend to reduce the impact of human activities on the phosphorus sources and to promote the reduction of eutrophication level of the water bodies by implement measures aiming to limit or banish the use of sodium tripolyphosphate (STPP) in detergents, for this is considered the main source of this nutrient in domestic sewage. At the same time, and based on the results obtained, improvements are planned on the sewage treatment systems, considering the economical, social and environmental particularities of each region. Aiming to contribute to a better understanding of this subject, and to make clearer in the reality of the State of Sao Paulo, this study intends to portrait the phosphorus dynamics in the environment from the human activities developed at hydrographic basins, using the Tietê River as a case study. The results obtained show that the level of this nutrient in the water is related to the urban activity, especially domestic sources, pointing out the need to perfection the ways to control the amount of STPP used when manufacturing detergents and soaps.

Key words: Phosphorus, urbanization, water quality and detergents.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS.....	4
2.1.	Objetivo Geral	4
2.2.	Objetivos Específicos	4
3.	REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1.	Características e Informações Gerais sobre o Fósforo.....	5
3.1.1.	Distribuição das Reservas no Brasil e no Mundo	7
3.1.2.	Importância Econômica e Ambiental.....	14
3.1.3.	O Ciclo do Nutriente.....	16
3.2.	Comportamento do Fósforo no Solo.....	19
3.2.1.	Dinâmica no Sistema Solo-Planta	22
3.2.2.	Fertilização.....	23
3.2.3.	Absorção pelas Diferentes Culturas.....	25
3.2.4.	Lixiviação	27
3.3.	Comportamento do Fósforo nas Águas.....	29
3.3.1.	Participação dos Organismos Aquáticos	31
3.3.2.	O Sedimento e a Dinâmica do Nutriente.....	33
3.3.2.1.	Precipitação.....	34
3.3.2.2.	Liberação	36
3.3.3.	Eutrofização	37
3.3.4.	Índice do Estado Trófico	41
3.4.	Fosfato em Rios e Reservatórios: Fontes Naturais e Artificiais.....	47
3.4.1.	Atividade Agrícola.....	51
3.4.2.	Atividade Urbana	60
3.4.2.1.	Efluentes industriais.....	61
3.4.2.2.	Esgotos domésticos	73
3.4.3.	Produtos de Uso Doméstico que contém Fósforo	76
3.4.3.1.	Alimentos	77
3.4.3.2.	Medicamentos	80
3.4.3.3.	Produtos de Higiene Pessoal e Limpeza	81
3.5.	Fósforo nos Detergentes e Saponáceos	83
3.5.1.	Impactos na Saúde Humana e no Meio Ambiente	87
3.5.2.	Teor de Fosfato nos Detergentes.....	90
3.5.3.	Alternativas para Substituição dos Fosfatos nos Detergentes	92
3.5.4.	Panorama Mundial da Utilização de Fosfatos em Detergentes.....	93
3.5.5.	Situação Atual no Brasil	98
3.5.6.	Uso de Detergentes e Concentração de Fósforo nos Esgotos	99
3.6.	Remoção de Fósforo em Sistemas de Tratamento de Esgotos.....	102
3.7.	Monitoramento e Controle das Fontes	109
3.7.1.	O Fósforo na Legislação Brasileira e do Estado de São Paulo.....	112
3.7.1.1	Resolução CONAMA nº 357/2005	113

3.7.1.2	Decreto Estadual nº 8468/1979	116
3.7.1.3	Resolução CONAMA nº 359/2005	117
3.7.1.4	Lei Federal nº 11.445/2007	119
3.7.2.	Monitoramento dos Corpos d'Água: O Papel da CETESB	120
3.7.3.	Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores e Pontos de Amostragem Operados pela CETESB	123
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	125
4.1.	Definição da Área de Estudo	125
4.1.1.	O Rio Tietê.....	126
4.1.2.	Panorama dos Usos e da Qualidade das Águas.....	127
4.1.3.	O Projeto Tietê.....	130
4.1.4.	As Bacias do Tietê	132
4.1.4.1.	Alto Tietê (AT)	137
4.1.4.2.	Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ)	144
4.1.4.3.	Tietê/Sorocaba (TS)	149
4.1.4.4.	Tietê/Jacaré (TJ).....	153
4.1.4.5.	Tietê/Batalha (TB)	157
4.1.4.6.	Baixo Tietê (BT)	161
4.2.	Variáveis Estudadas.....	165
4.2.1.	Atividade Urbana	166
4.2.2.	Atividade Agrícola	166
4.2.3.	Dados sobre Fósforo na Coluna d'Água e no Sedimento	167
4.3.	Identificação e Localização dos Pontos de Amostragem da CETESB.....	169
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	172
5.1.	Evolução das Variáveis	172
5.1.1.	Concentração Populacional Total e Urbana	172
5.1.2.	Indústrias por Ramo de Atividade	183
5.1.3.	Áreas Agricultáveis	187
5.1.4.	Níveis de Fósforo na Coluna d'Água	193
5.1.5.	Níveis de Fósforo no Sedimento	205
5.2.	Relação entre as Variáveis.....	208
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	216
7.	REFERÊNCIAS	221
8.	ANEXOS	230
8.1.	Currículo Lattes – Port/CPG/03/08	230

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01: Porcentagem das formas de ortofosfato presente nas águas, em diferentes valores de pH.....	30
Tabela 02: Formas de fósforo mais comuns nas águas.....	31
Tabela 03: Estado trófico e concentração de fósforo total	42
Tabela 04: Níveis de fósforo e classificação qualitativa dos principais graus de trofia	43
Tabela 05: Estimativas das cargas de fósforo em um lago ou reservatório, em função da profundidade, em g/m ² .ano.	45
Tabela 06: Contribuições típicas de fósforo de acordo com a fonte.....	49
Tabela 07: Contribuições típicas de fósforo de acordo com a atividade desenvolvida.	50
Tabela 08: Quantidade de fertilizante aplicado, em kg/ha, e aumento nas concentrações de fósforo nas águas, em p.p.m..	52
Tabela 09: Estimativa de perdas de terras associadas ao uso agrícola no Estado de São Paulo....	58
Tabela 10: Perdas estimadas de fósforo no Estado de São Paulo, associadas ao uso agrícola	59
Tabela 11: Quantidade média de P presente no leite e seus derivados, em 100 g de produto	64
Tabela 12: Média de fósforo presente em um efluente típico de indústria para processamento da rocha fosfática, por tonelada de produto, e tipo de tratamento utilizado	70
Tabela 13: Concentração de fosfato em efluentes da indústria petroquímica, de acordo com diferentes produtos manufaturados.....	71
Tabela 14: Concentrações de fosfato nos produtos alimentícios processados industrialmente no Brasil e respectivas funções	80
Tabela 15: Principais builders utilizados em detergentes e o resumo de seus impactos	86
Tabela 16: Concentrações de STPP nos detergentes em diversas localidades, em 1968.....	91
Tabela 17: Redução no consumo de STPP na União Européia, no período de 1984 a 2000, e iniciativas para sua redução	96
Tabela 18: Eficiência dos processos de tratamento de esgotos na remoção de fósforo.....	105
Tabela 19: Limites de fósforo para águas doces previstos na Resolução CONAMA 357/05	115
Tabela 20: Limites de fósforo para detergentes previstos na Resolução CONAMA 359/05	118
Tabela 21: Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores, CETESB.....	124
Tabela 22: Principais reservatórios do rio Tietê.....	130
Tabela 23: Caracterização das bacias do rio Tietê.....	134
Tabela 24: Volumes de água captados para uso urbano e industrial UGRHI's do rio Tietê	135
Tabela 25: Áreas de drenagem e vazões médias nas UGRHI's do rio Tietê e no Estado	136
Tabela 26: Áreas de drenagem e vazões características aproximadas ao longo do Tietê, na UGRHI Alto Tietê	140

Tabela 27: Principais reservatórios localizados na UGRHI Alto Tietê	141
Tabela 28: Distribuição das áreas da UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiá de acordo com as classes de uso do solo, em km ²	148
Tabela 29: Principais reservatórios da UGRHI Tietê/Sorocaba	151
Tabela 30: Principais reservatórios da UGRHI Tietê/Jacaré	155
Tabela 31: Tipos de utilização do solo e respectivas áreas na UGRHI Tietê/Batalha.....	160
Tabela 32: Principais reservatórios da UGRHI Baixo Tietê	163
Tabela 33: Tipos de utilização do solo e respectivas áreas na UGRHI Baixo Tietê	164
Tabela 34: Localização e características dos pontos de amostragem da CETESB na coluna d'água	169
Tabela 35: Localização e características dos pontos de amostragem CETESB no sedimento ...	170
Tabela 36: População total e urbana da UGRHI's do Tietê e do Estado de São Paulo – Período de 1986 a 2007	174
Tabela 37: Crescimento anual da população total e urbana das UGRHI's do Tietê – Período de 1986 a 2007	177
Tabela 38: Quantidade municípios por porte, por UGRHI, para 1986, 1993, 2000 e 2007	180
Tabela 39: Quantidade potencial de fósforo lançada nas bacias do Tietê através dos esgotos domésticos, nos anos de 1986, 1993, 2000 e 2007	182
Tabela 40: Número de indústrias das bacias do Tietê, por ramo de atividade – Comparativo entre os anos de 1995 e 2008.....	185
Tabela 41: Extensão das áreas agricultáveis das bacias do Tietê, por cultura – Comparativo entre os anos de 1998 e 2008.....	190
Tabela 42: Extensão das áreas cultivadas e quantidades de terra e fósforo perdidas nas bacias do Tietê, por cultura – Comparativo entre os anos de 1998 e 2008.....	193
Tabela 43: Concentrações médias de fósforo na coluna d'água no período de 1986 a 2007, em mg/L, conforme Relatório de Qualidade das Águas Interiores - CETESB.....	194
Tabela 44: Concentração de fósforo sedimento nos anos de 2004 e 2005, em mg/L, conforme Relatório de Qualidade das Águas Interiores	205
Tabela 45: Concentração de fósforo na coluna d'água e no sedimento, em mg/L, conforme Relatório de Qualidade das Águas Interiores – Média dos anos 2004 e 2005	206
Tabela 46: Comparativo das cargas potenciais de fósforo na bacia do Tietê, em decorrência das atividades urbana e agrícola	214
Tabela 47: Cargas atuais estimadas de fósforo nas águas do Tietê, por UGRHI, em decorrência do uso de detergentes contendo STPP	215

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Mina de fosfato no município de Cajati, SP	8
Figura 02: Pico no consumo de fósforo.....	9
Figura 03: Reservas de rochas fosfáticas em 1998 e 2003.....	11
Figura 04: Estimativas de duração das reservas de fosfato no Brasil e no Mundo	12
Figura 05: Ciclo do fósforo na natureza.....	16
Figura 06: Ciclo natural do fósforo e as influências humanas	18
Figura 07: Relação entre as frações de fósforo disponíveis no solo.....	20
Figura 08: Floração de algas no Reservatório de Bariri, no rio Tietê. Janeiro de 2006	37
Figura 09: Efeitos da eutrofização	40
Figura 10: Eutrofização no rio Piracicaba. Julho/08	41
Figura 11: Rio Tietê, Reservatório de Ibitinga, na cidade de Arealva. Junho/07.....	41
Figura 12: Evolução do nível de trofia de um lago ou represa.....	44
Figura 13: Fontes naturais e antrópicas de fosfato em rios e reservatórios	48
Figura 14: Condições de erodibilidade do solo no Estado de São Paulo	55
Figura 15: Cargas fósforo total no Reservatório Billings, em kg/dia/km ² , e ocupação urbana	74
Figura 16: Ocupação urbana das margens do Reservatório Billings e eutrofização	75
Figura 17: Densidade populacional e taxa de crescimento projetada para a RMSP	76
Figura 18: Formação de espumas no município de Pirapora do Bom Jesus	89
Figura 19: Formação de espumas no município de Pirapora Bom Jesus – Imagem satélite	89
Figura 20: Principais fontes de fosfato para o Lago Eire (EUA-Canadá)	101
Figura 21: Parâmetros regularmente monitorados pela CETESB através da Rede de Monitoramento das Águas Interiores.....	122
Figura 22: Classificação das UGRHI's do Estado de São Paulo.....	122
Figura 23: Localização do Rio Tietê no Estado de São Paulo.....	126
Figura 24: Lazer às margens do Tietê, na cidade de Sabino. Reservatório de Promissão.....	128
Figura 25: Pesca no Tietê, na cidade de Itapuã. Reservatório de Bariri	128
Figura 26: Evolução atendimento com coleta e tratamento esgotos na RMSP: Projeto Tietê ...	131
Figura 27: Localização das UGRHI's do Tietê	134
Figura 28: Localização e municípios pertencentes à UGRHI Alto Tietê	138
Figura 29: Usos da água na UGRHI Alto tietê.....	142
Figura 30: Localização e municípios pertencentes à UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí	145
Figura 31: Usos da água na UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí.....	147

Figura 32: Localização e municípios pertencentes à UGRHI Tietê/Sorocaba	150
Figura 33: Usos da água na UGRHI Tietê/Sorocaba.....	152
Figura 34: Localização e municípios pertencentes à UGRHI Tietê/Jacaré	154
Figura 35: Usos da água na UGRHI Tietê/Jacaré	156
Figura 36: Localização e municípios pertencentes à UGRHI Tietê/Batalha.....	158
Figura 37: Usos da água na UGRHI Tietê/Batalha	159
Figura 38: Localização e municípios pertencentes à UGRHI Baixo Tietê.....	161
Figura 39: Usos da água na UGRHI Baixo Tietê	163
Figura 40: Representação esquemática da localização dos pontos de amostragem operados pela CETESB no caudal do Tietê – coluna d’água e sedimento	171
Figura 41: Evolução do crescimento anual médio da população total e urbana do Estado de São Paulo e da bacia do Tietê – Período 1986 a 2007	175
Figura 42: Crescimento anual médio da população total e urbana, por UGRHI, e do total da bacia do Tietê – Período 1986 a 2007.....	176
Figura 43: Crescimento percentual da população urbana dos municípios do Alto Tietê, entre os anos de 1986 a 2007.....	178
Figura 44: Apresentação do mapa da concentração populacional total da bacia do rio Tietê, de acordo com o porte, para os anos 1986, 1993, 2000 e 2007	181
Figura 45: Evolução do potencial de contribuição de fósforo na bacia do Tietê nos anos de 1986, 1993, 2000 e 2007, em termos percentuais	183
Figura 46: Expansão do número de indústrias na bacia do Tietê, a partir de 1995	186
Figura 47: Extensão áreas irrigadas da bacia do Tietê, em ha – Período de 1985 a 1995.....	188
Figura 48: Extensão áreas cultivadas da bacia do Tietê, em ha – Período de 1998 a 2008.....	189
Figura 49: Extensão das áreas utilizadas para plantio da cana-de-açúcar, milho e pastagens na bacia do Tietê – Diferença verificada entre os anos 1998 e 2008.....	192
Figura 50: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02050 - UGRHI Alto Tietê, próximo à nascente	195
Figura 51: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02090 – UGRHI Alto Tietê, 20 km a jusante da nascente	195
Figura 52: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 03120 – UGRHI Alto Tietê, 35 km a jusante da nascente	195
Figura 53: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 04150 – UGRHI Alto Tietê, 77 km a jusante da nascente	196
Figura 54: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 04170 – UGRHI Alto Tietê, 102 km a jusante da nascente.....	196
Figura 55: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 04180 – UGRHI Alto Tietê, 112 km a jusante da nascente.....	196
Figura 56: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 04200 – UGRHI Alto Tietê, 120 km a jusante da nascente.....	196
Figura 57: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIES 04900 – UGRHI Alto Tietê, 160 km a jusante da nascente.....	197

Figura 58: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIPI 04900 – UGRHI Alto Tietê, 201 km a jusante da nascente, no município de Pirapora do Bom Jesus	197
Figura 59: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIRG 02900 – UGRHI Tietê/Sorocaba, 273 km a jusante da nascente, no Reservatório de Rasgão, município de Pirapora do Bom Jesus.....	197
Figura 60: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02350 – UGRHI Tietê/Sorocaba, 396 km a jusante da nascente.....	198
Figura 61: Tendência da concentração de fósforo ponto TIET 02400 – UGRHI Tietê/Sorocaba, 443 km a jusante da nascente, após confluência com rio Sorocaba	198
Figura 62: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02450 – UGRHI Tietê/Sorocaba, 463 km a jusante da nascente, início Represa de Barra Bonita.....	198
Figura 63: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02500 – UGRHI Tietê/Sorocaba – 568 km a jusante da nascente.....	199
Figura 64: Tendência da concentração de fósforo ponto TIBB 02100 – UGRHI Tietê/Sorocaba, 598 km a jusante da nascente, após confluência com o rio Piracicaba	199
Figura 65: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIBB 02700 – UGRHI Tietê/Sorocaba – 602 km a jusante da nascente, na represa de Barra Bonita, após a confluência com o rio Piracicaba.....	199
Figura 66: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02500 – UGRHI Tietê/Jacaré, 607 km a jusante da nascente.....	200
Figura 67: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02600 – UGRHI Tietê/Batalha, 705 km a jusante da nascente, no Reservatório de Ibitinga	200
Figura 68: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02700 – UGRHI Baixo Tietê, 865 km a jusante da nascente.....	200
Figura 69: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIRT 02100 – UGRHI Baixo Tietê, 945 km a jusante da nascente.....	201
Figura 70: Tendência da concentração de fósforo no ponto TITR 02800 – UGRHI Baixo Tietê, 1065 km a jusante da nascente, no Reservatório de Três Irmãos	201
Figura 71: Localização do ponto de amostragem TIET 02400 – Jusante da confluência dos rios Sorocaba e Tietê	202
Figura 72: Localização do ponto de amostragem TIBB 02700 e TIET 02500 – Jusante da confluência dos rios Piracicaba e Tietê.....	203
Figura 73: Concentrações médias de fósforo no Tietê, em mg/L, conforme Relatório de Qualidade das Águas Interiores - Anos 1986, 1993, 2000 e 2007	204
Figura 74: Concentração de fósforo no sedimento, em mg/L, conforme Relatório de Qualidade das Águas Interiores – Média dos anos 2004 e 2005.....	207
Figura 75: Concentração populacional total, população urbana e concentração de fósforo na coluna d'água na bacia do Tietê – anos 1986, 1993, 2000 e 2007.....	210
Figura 76: Concentração populacional total, número de indústrias e concentração de fósforo na coluna d'água na bacia do Tietê – anos 1995 e 2008.....	210
Figura 77: Concentração populacional total, extensão área cultivada e concentração de fósforo na coluna d'água na bacia do Tietê – anos 1998 e 2008	211

1. INTRODUÇÃO

O termo “qualidade” pode ser entendido como atributo ou condição das coisas ou das pessoas, que permite distingui-las das outras, possibilitando sua avaliação e, conseqüentemente, seu aceite ou recusa.

Assim, a qualidade da água relaciona-se às suas características físicas, químicas e biológicas, que, traduzidas em uma série de informações técnicas e parâmetros, permitem avaliar as suas condições e a possibilidade de sua utilização.

A água pura, no sentido rigoroso do termo, não é encontrada na natureza. Ao cair em forma de chuva, já carrega impurezas do próprio ar; ao atingir o solo seu grande poder de dissolver e carrear substâncias altera ainda mais suas qualidades.

No entanto, conforme cita BRANCO (1978), nenhuma das utilidades propostas para a água exige estado de pureza química absoluta, e sim, soluções de diversos elementos em quantidades variáveis. Ou seja, a qualidade da água é um valor exigido relativamente ao uso que se pretende fazer dela.

Nesse contexto, a qualidade da água requerida para uso pela navegação ou para geração de energia elétrica é diferenciada daquela destinada ao abastecimento público, cujos mecanismos de controle devem garantir que as condições sanitárias e toxicológicas estejam adequadas à manutenção da saúde humana.

VON SPERLING (2005) destaca que a qualidade de determinada água é definida em função das condições naturais e do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica. As condições naturais podem ser descritas como aquelas resultantes de ações da natureza, a partir da infiltração ou escoamento de partículas carregadas pelo solo em decorrência das chuvas. Já as questões de uso e ocupação do solo, são diretamente relacionadas com a ação do homem. Dentre essas ações pode-se destacar a utilização das áreas localizadas no entorno dos rios e lagos para a prática agrícola, bem como para a instalação de indústrias ou cidades, muitas com lançamento *in natura* dos efluentes gerados.

Assim, a qualidade da água e a disponibilidade hídrica são suscetíveis ao desenvolvimento econômico, ao incremento nas atividades humanas, ao crescimento das cidades e à aceleração dos processos de urbanização e industrialização. Tal fato é ratificado por TUNDISI (2003), que acrescenta que a expansão populacional e o aumento da demanda pela água em seus mais diversos usos, tem desencadeado problemas de escassez em diversas regiões.

De acordo com dados da *Food and Agricultural Organization* (FAO), entidade ligada à Organização das Nações Unidas (ONU), esse cenário faz com que atualmente, quase 2 bilhões de pessoas vivam sem acesso à água em quantidade e qualidade suficiente para atendimento às suas necessidades diárias, situação que tende a piorar ainda mais, caso não sejam adotadas medidas visando a gestão sustentável e eficaz dos recursos hídricos. (FAO, 2007)

Nesse sentido, a questão do lançamento de fósforo nas águas tem sido considerada o resumo dos impactos negativos das atividades humanas sobre a qualidade das águas. (BRANCO e ROCHA, 1987; ALONSO, 2002; BRAGA et al., 2002, CETESB, 2005)

Isto porque o fósforo, macronutriente fundamental à manutenção de todas as formas de vida, é componente básico de fertilizantes utilizados na agricultura e matéria-prima de diversos produtos industrializados utilizados em larga escala pelo homem, como é o caso dos detergentes em pó. Apesar de ocorrerem contribuições naturais oriundas da própria bacia de drenagem, em áreas com elevada concentração demográfica, sua presença nas águas está relacionada de forma direta com os lançamentos de esgotos domésticos, e mais especificamente, com a utilização de detergentes fosfatados, o que o torna um importante elemento traçador da poluição doméstica.

ALONSO (2002) destaca que o fósforo é considerado atualmente um dos principais problemas de poluição dos mananciais do Estado de São Paulo e que a restrição da utilização de fosfato nos detergentes de uso doméstico, principalmente na forma de tripolifosfato de sódio (STPP), é uma medida fundamental para redução dos níveis de eutrofização e ampliação dos usos das águas.

Paralelamente aos impactos causados na qualidade das águas, surgem outras discussões relativas ao comportamento do fósforo no meio ambiente: trata-se de um nutriente com fontes finitas e não renováveis, cuja velocidade de exploração é atualmente muito superior às suas taxas de retorno ao ciclo natural, sendo que já existem previsões a respeito de um provável colapso nas suas fontes disponíveis e conhecidas, com impactos econômicos, sociais e ambientais graves e irreversíveis.

Atentos a essas questões e devido a sérios problemas de qualidade das águas superficiais decorrentes de processos de eutrofização, diversos países passaram a discutir as formas de controle das fontes, através da aplicação de medidas preventivas, partindo para a redução da quantidade de STPP presente nos detergentes. Em locais como Suíça e Alemanha, inclusive, a utilização de fosfatos em detergentes em pó foi completamente banida desde a década de 1980.

Passou-se a discutir também, de forma mais intensa, a necessidade de serem adotadas outras medidas de gerenciamento e controle, envolvendo o monitoramento do lançamento de esgotos domésticos, bem como a melhoria gradativa e planejada na eficiência dos sistemas de tratamento, a fiscalização dos despejos industriais e a adoção de processos de produção agrícola mais controlados e sustentáveis, levando-se em conta as alternativas mais adequadas para a reciclagem do nutriente.

Essas ações têm sido consideradas de grande importância para a melhoria da qualidade das águas e para a preservação do ciclo natural do nutriente, uma vez que busca a proteção e conservação do meio ambiente, de maneira sustentável e sistêmica.

No Brasil, as discussões relativas a esse assunto vêm ocorrendo desde o ano de 2005, quando foram implementadas as Resoluções nº 357 e nº 359, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que tratam da qualidade dos corpos d'água e da presença de STPP nos detergentes em pó, respectivamente. A evolução dessas discussões e sua inserção na realidade econômica, social e ambiental brasileira, considerando as diferenças regionais, são fundamentais para a garantia da saúde pública e para a preservação ambiental.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é levantar informações sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente, avaliando os impactos causados pelas atividades humanas e verificando as ações que podem contribuir para sua preservação e para melhoria da qualidade das águas.

2.2. Objetivos Específicos

- Levantar informações sobre o elemento químico fósforo, suas características e seu ciclo biogeoquímico, bem como sobre as ferramentas técnicas e legais para seu controle nas águas;
- Identificar as atividades humanas que geram impactos sobre o ciclo do nutriente;
- Executar levantamento das experiências já adotadas no sentido de reduzir os níveis de utilização do fósforo, preservando suas fontes e diminuindo seu impacto sobre a qualidade das águas;
- Efetuar um estudo de caso sobre a situação do Estado de São Paulo, com base em informações sobre o rio Tietê relativas às atividades urbana e agrícola desenvolvidas na bacia hidrográfica e às concentrações de fósforo verificadas no caudal no rio, nos compartimentos água e sedimento.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Características e Informações Gerais sobre o Fósforo

É amplamente conhecida a importância do fósforo para a manutenção da vida.

Classificado como um macronutriente primário, juntamente com o carbono, o oxigênio, o hidrogênio, o nitrogênio, o potássio, o cálcio, o magnésio e o enxofre, o fósforo é considerado um elemento vital para o funcionamento dos sistemas biológicos de todos os organismos vivos.

Possui papel relevante nos processos metabólicos, com participação na formação do ácido desoxirribonucléico (DNA), do ácido ribonucléico (RNA) e da adenosina trifosfato (ATP), nucleotídeo responsável pelo armazenamento da energia proveniente da respiração celular e da fotossíntese. A partir dessa energia, são desencadeados diversos processos biológicos, tais como o transporte ativo de moléculas, síntese e secreção de substâncias, locomoção e divisão celular, entre outros.

O fósforo é também, componente importante dos ossos e dentes, que armazenam cerca de 750 gramas desse elemento na forma de fosfato de cálcio. Nos seres humanos, sua deficiência pode causar dificuldades e problemas de crescimento, e baixo desenvolvimento de ossos e músculos, especialmente em recém-nascidos. Estima-se que cerca de 70% do fósforo ingerido seja absorvido pelo corpo humano. (ESTEVES, 1988; MACRAE et al., 1993; BRAGA et al., 2002)

Na Tabela Periódica dos Elementos, o fósforo corresponde ao elemento químico não-metálico de símbolo “P” e número 15, fazendo parte do “Grupo VA” ou “Grupo do Nitrogênio”. Possui 5 elétrons na camada de valência, formando ligações de natureza covalente com outros elementos químicos.

A ocorrência natural de fósforo se dá nas denominadas rochas fosfáticas, na forma de

ortofosfato (PO_4^{3-}), combinado com outros elementos químicos. Somente a partir do aquecimento dessas rochas, através de processos industriais, é que se obtém o fósforo em sua forma elementar (P_4). (STUMM e MORGAN, 1981; MACRAE et al., 1993)

As variedades alotrópicas mais comuns de P_4 são a branca e a vermelha, utilizadas em laboratórios como agentes redutores e para obtenção de diversos compostos fosfatados, como por exemplo, o ácido fosfórico. As propriedades químicas de ambas diferenciam-se somente na intensidade e velocidade da reação: as ações do fósforo branco são rápidas e enérgicas comparativamente às do fósforo vermelho, que são consideravelmente mais brandas e lentas. O fósforo negro é uma variedade menos comum, mas que vale ser citada por ser a forma mais estável sob o aspecto termodinâmico. (LEPREVOST, 1978; CEEP, 2007)

O fósforo branco é uma substância altamente venenosa, cuja aspiração ou ingestão podem causar a morte; em contato direto com a pele, causa queimaduras. Sua estrutura molecular proporciona grande reatividade e volatilidade, garantindo-lhe a capacidade de inflamar-se espontaneamente em contato com o oxigênio, numa reação altamente exotérmica, fenômeno que é denominado quimiluminescência.

Pelas suas características, essa variedade do fósforo tem sido utilizada desde a 1ª Guerra Mundial como armamento bélico, destinado à produção de cortinas de fumaça e bombas incendiárias. Durante alguns anos, também, devido ao seu efeito tóxico, essa forma de fósforo foi utilizada em inseticidas e raticidas. O fósforo vermelho, resultante do aquecimento do fósforo branco, é mais estável e não apresenta toxicidade. (LEPREVOST, 1978; RUSSEL, 1994)

É na forma de ortofosfato que o fósforo é encontrado na grande maioria dos alimentos naturais, e é desta forma que ele é absorvido e sintetizado pelos seres vivos. Nos processos biológicos, a utilização ocorre na forma de fosfatos orgânicos, situações onde o fósforo une-se a compostos orgânicos, como por exemplo, os açúcares, através de ligações de grupos OH. Em ambientes aquáticos, os ortofosfatos (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4) são também as formas de fósforo absorvidas com maior intensidade pelo fitoplâncton e outros seres desse ecossistema. (MACRAE et al., 1993; BOLLMAN et al., 2005)

A quimiluminescência e a respectiva capacidade de produzir luz e calor, foi a primeira característica observada no elemento químico fósforo, em 1669, pelo alquimista alemão Henning Brand. Em busca da pedra filosofal, o alquimista vaporizou uréia e obteve uma fração de fósforo branco, ardente e brilhante no escuro. Esse fato, inclusive, deu origem ao seu nome em grego, *Phosphoros*, que significa “portador da luz”. (LEPREVOST, 1978; MACRAE et al., 1993; RUSSEL, 1994)

3.1.1. Distribuição das Reservas no Brasil e no Mundo

O fósforo é o sétimo elemento mais abundante da litosfera. Devido à sua reatividade, ocorre geralmente de forma associada a outros elementos químicos, como cálcio, sódio, flúor, cloro, ferro, alumínio e magnésio. (SOUZA, 2001)

Dentre as rochas fosfáticas consideradas mais importantes, pode-se destacar a apatita ($\text{Ca}_5\text{Cl}(\text{PO}_4)_3$ ou $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$), que se destaca como um minério de grande relevância para o processo de obtenção do ácido fosfórico, e a fosforita ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), produto importante para a indústria de fertilizantes devido à presença considerável de cálcio em substituição ao cloro ou flúor. (LEPREVOST, 1978; MACRAE et al., 1993; RUSSEL, 1994)

Em termos mundiais, as rochas que abrigam as reservas de fósforo podem ser classificadas basicamente em sedimentares e ígneas, de acordo com sua origem. Há ainda, as reservas biogenéticas, que são rochas formadas por concentrações orgânicas resultantes dos dejetos de aves. A importância econômica deste tipo de reserva, entretanto, é considerada menos relevante por formarem depósitos de dimensões mais reduzidas e de difícil acesso. (LEPREVOST, 1978; SOUZA, 2001)

Cerca de 70% das reservas mundiais de fósforo possuem origem ígnea e encontram-se localizadas no hemisfério norte, notadamente nos Estados Unidos, China, Marrocos e Rússia, sendo que, atualmente, mais de 30 países são produtores de

concentrado fosfático para uso doméstico ou para exportação. Dentre esses países, Estados Unidos, China e Marrocos, respondem por 2/3 da produção mundial, destacando-se que o Marrocos, numa situação mais vantajosa, detém cerca de 60% das reservas potenciais e 50% dos recursos geológicos globais adequados a uma futura exploração da rocha.

O Brasil, situado em faixa intertropical, com clima úmido e solos ácidos, possui área mineralmente pobre no que se refere à presença dos nutrientes principais. De acordo com dados fornecidos pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) para o ano de 2000, cerca de 73,8% das reservas totais de rocha fosfática do território brasileiro, localiza-se no estado de Minas Gerais, 8,3% em Goiás e 7,3% em São Paulo, que juntos participam com 89,4% das reservas totais do país. O restante, que corresponde a 10,6%, localiza-se nos estados de Santa Catarina, Ceará, Pernambuco, Bahia e Paraíba. (NHM, 1998b; SOUZA, 2001)

A Figura 01 ilustra a mina de exploração de fosfato localizada no município de Cajati, distante cerca de 230 km da capital do Estado de São Paulo. Operada pela empresa Serrana, pertencente ao grupo Bunge, essa mina encontra-se em operação desde o ano de 1946 e atualmente é responsável por 11,4% do total de concentrado fosfático produzido no país. (SOUZA, 2001; SCHNELLRATH et al. 2002)

Figura 01: Mina de fosfato no município de Cajati, SP.
Fonte: BUNGE, 2008.

Com base nas informações a respeito do volume das reservas mundiais disponíveis e de acordo com as demandas hoje existentes, CORDELL (2008) ressalta a provável ocorrência de um pico na exploração das reservas de rochas fosfáticas do mundo na década de 2030.

Após esse período, devido ao crescimento exponencial da população projetado para 50 anos, estima-se que a disponibilidade das reservas e a capacidade de sua exploração deverá ser reduzida gradativamente, ficando sujeita aos impactos decorrentes da elevação dos custos de operação, da redução da qualidade e do aumento na dificuldade técnica de acesso às reservas.

Ainda de acordo com CORDELL (2008), no ritmo atual de exploração e a partir do crescimento populacional previsto, calcula-se que as reservas de rocha fosfática conhecidas e exploráveis estejam extintas no período de 50 a 100 anos. Essas projeções podem ser visualizadas na Figura 02.

Figura 02: Pico no consumo de fósforo.

Fonte: CORDELL, 2008.

Comparativamente à crise prevista nas reservas mundiais de petróleo, a situação do fósforo tende a ser mais grave, uma vez que não existem fontes alternativas ou

elementos que possam substituir esse nutriente no ciclo biológico e na produção vegetal.

MALAVOLTA (2004, p. 36) aborda essa questão da seguinte forma:

“O limite de crescimento da humanidade não será ditado pelo esgotamento dos minerais estratégicos ou pelo das reservas de combustíveis fósseis como pretende ou pretendia o Clube de Roma, pois para esses há alternativas técnicas e econômicas.

A humanidade poderá crescer enquanto houver no solo fósforo para ser aproveitado e enquanto o homem puder transferir esse elemento da litosfera para a biosfera servindo como comida insubstituível para as plantas e para os animais, pois o fósforo é vida e sem ele teríamos um planeta silencioso.”

Tais assertivas podem ser traduzidas como polêmicas, uma vez que a importância da preservação das reservas de fósforo é comparada de forma veemente à questão estratégica dos combustíveis fósseis. É fato, entretanto, que alguns países já adotam medidas que auxiliem a prolongar a longevidade de suas reservas internas.

A China estabeleceu um imposto de 135% sobre as exportações de fosfato, de forma a priorizar o atendimento da demanda interna. Os Estados Unidos, que são historicamente os maiores produtores, consumidores, exportadores e importadores de rocha fosfatada e fertilizantes, estimam que suas reservas internas deverão se extinguir nos próximos 25 anos, de forma que empresas americanas já importam, sistematicamente, rocha fosfatada de Marrocos. Nesse cenário, o valor comercial da rocha fosfatada teve um acréscimo, no mundo, de 700% no período de 14 meses, passando de U\$ 50 a tonelada, em janeiro/2007, para U\$ 350 a tonelada, em março/2008. (CORDELL, 2008)

Por outro lado, LOPES et al. (2004), citando Isherwood (1999), acrescentam que a duplicação ou triplicação dos preços atuais dos fosfatos podem auxiliar na descoberta de novas jazidas, principalmente através da exploração das plataformas continentais e das montanhas dos oceanos, como o que vem ocorrendo na China e na Austrália.

Apesar do acréscimo nos valores comerciais da rocha, estima-se que essa mudança de mercado poderá contribuir para a longevidade das reservas com capacidade imediata de extração e produção econômica, devido ao aumento da capacidade de

investimento em novas jazidas.

Nesse sentido, são apresentados os dados estimados pelo *United States Geological Survey* (USGS), que, no ano de 1998, apontavam que as reservas disponíveis eram totalizadas em 11,3 bilhões de toneladas, com uma longevidade de aproximadamente 80 anos. Com a melhoria das técnicas de exploração, a projeção efetuada pela USGS no ano de 2003 indicou resultados mais positivos, afirmando que as reservas seriam de 17 bilhões de toneladas, alterando a longevidade projetada para 120 anos.

A ilustração dessa situação pode ser visualizada na Figura 03.

Figura 03: Reservas de rochas fosfáticas em 1998 e 2003.

Fonte: Adaptado de LOPES et al., 2004.

Deve-se ressaltar, entretanto, que a melhoria nas técnicas de exploração e o aumento da longevidade das reservas somente são possíveis mediante a elevação do preço do produto.

MALAVOLTA (2004), citando Reider (1986), projeta a situação das reservas brasileiras e mundiais de rocha fosfática frente ao crescimento da demanda de fosfato, em termos percentuais. A partir desse trabalho, estima-se que as reservas mundiais tendem a durar 70 anos, caso ocorra um aumento de 6% na demanda ou

210 anos, caso esse crescimento seja de 1%. No caso das reservas brasileiras, nas mesmas condições de crescimento percentual, o tempo de duração poderá ser de 40 anos ou 120 anos. A ilustração dessa situação segue na Figura 04.

Figura 04: Estimativas de duração das reservas de fosfato no Brasil e no Mundo.
Fonte: MALAVOLTA, 2004.

Apesar das divergências em relação à quantidade de tempo de duração das reservas de rocha fosfática, percebe-se em todos os casos uma clara tendência de esgotamento caso não sejam adotadas ações para gerenciamento e reaproveitamento do nutriente.

Para se evitar esse cenário e aumentar a vida útil das reservas brasileiras de rocha fosfática, MALAVOLTA (2004) propõe a adoção de algumas medidas a serem consideradas no âmbito da produção de alimentos:

- **Mineração e beneficiamento:** Aumento na porcentagem de recuperação;
- **Tecnologia:** Maior aproveitamento de fosfato recuperado mediante mudanças nos processos de produção;
- **Legislação:** Compatibilizar lei, eficiência agrônômica e produtos;
- **Adubação:** Aumentar a eficiência dos processos de adubação fosfatada,

manejo e correção da acidez;

- **Genética e melhoramento:** Desenvolvimento de variedades e raças mais eficientes no aproveitamento do fósforo (solo, adubo e ração);
- **Recuperação:** Promover a ciclagem do fósforo no solo através do aumento de variedades, rotação de culturas e calagem (efeito residual de adubação projetada). Aproveitar os resíduos agrícolas, industriais e urbanos.

Nesse contexto, a preocupação com a adoção de medidas visando a recuperação do nutriente nas áreas utilizadas para a produção agrícola, de forma a se promover a sua reciclagem no meio ambiente, vem se tornando crescente.

LLOYD (2007) salienta que a estruturação de políticas que auxiliem na ciclagem de nutrientes através da economia, principalmente através da fertilização de áreas agrícolas, é de grande importância para a diminuição dos seus efeitos indesejados no meio ambiente e para maior eficiência no aproveitamento dos recursos naturais disponíveis.

Na Europa, foi criado no ano de 1971, o *Centre Européen d'Etudes des Polyphosphates* (CEPP), um setor da *European Chemical Industry Council* (CEFIC). Lotada na Bélgica, essa entidade é composta por pesquisadores e produtores de polifosfatos para a indústria de detergentes e outras aplicações industriais. O objetivo do CEEP é promover pesquisas e fornecer informações sobre o impacto dos fosfatos no meio ambiente, desenvolvendo estudos sobre tratamento de efluentes, a eutrofização e o ciclo do nutriente. (CEEP, 2008)

Em relação à quantidade de fósforo presente nos efluentes domésticos que é lançada nas águas e muitas vezes perdida nos sedimentos profundos, BRANCO e ROCHA (1987) destacam a importância dos estudos e das práticas relacionadas com a disposição de esgotos no solo para irrigação e fertilização de áreas agrícolas.

Assim, de forma paralela aos diferentes cenários relativos às dimensões, à longevidade das reservas de rocha fosfática nos diferentes países e às perspectivas de exploração frente à crescente demanda, tomam corpo as discussões inerentes ao

paradoxo existente entre a essencialidade do nutriente e a sua disponibilidade limitada na natureza, buscando-se alternativas para a sua reciclagem e preservação ambiental. Intensificam-se as discussões relativas à promoção de sua sustentabilidade, levando-se em conta o respeito ao seu ciclo natural.

3.1.2. Importância Econômica e Ambiental

Desde a antiguidade o homem utilizava ossos e restos vegetais para adubação de plantas e produção de alimentos.

Não obstante, a correlação entre esse fato e a participação do fósforo ocorreu somente no início do século XIX, quando os cientistas Justus Von Liebig, Wilhelm Knop e Julius Von Sachs demonstraram sua importância enquanto macronutriente primário para plantas e animais.

Logo após, em 1840, na Inglaterra, começou a ser fabricado o primeiro adubo fosfatado, sintetizado a partir de ossos e, em 1847, na região de Suffolk, Grã-Bretanha, foi introduzido pelo químico John Bennet Lawes, o processamento industrial das rochas de fosfato para fabricação de fertilizantes. Esse acontecimento marca início da exploração das fontes de fósforo para utilização comercial. (CATHCART, 1980; MALAVOLTA, 2004)

Nas décadas seguintes, a exploração dos concentrados de rocha fosfática teve um aumento considerável, principalmente em decorrência da fabricação de fertilizantes. A partir do início do século XX, por meio do desenvolvimento industrial e tecnológico, outros produtos passaram a ser industrializados à base de fósforo, tornando esse nutriente ainda mais importante economicamente. Como resultado, CATHCART (1980) destaca que enquanto no ano de 1887 produzia-se 1 milhão de toneladas de fosfato, em 1938 a produção já era de 12 milhões de toneladas, destinada aos mais diversos usos.

Atualmente, da produção mundial total de fosfato, estima-se que 80% seja destinada à indústria de fertilizantes, 12% para a indústria de detergentes e saponáceos, 5% para a alimentação animal e 3% para outras aplicações. (VITTI et al., 2004)

No Brasil, dados fornecidos pelo DNPM indicam que o consumo diferencia-se do padrão mundial. Da produção interna, cerca de 44% é destinada à fabricação de fertilizantes, 54% para o ácido fosfórico e seus usos na produção industrial e 2% para ração animal. (SOUZA, 2001)

No ano de 2000, foram movimentados no Brasil cerca de 29,5 milhões de toneladas de rocha, com produção de 4,7 milhões de toneladas de concentrado fosfático. Essa produção nacional necessitou ser suprida pela importação de cerca de 1 milhão de toneladas de matéria-prima, 270 mil toneladas de ácido fosfórico para fertilizantes e 2,3 milhões de toneladas de produtos intermediários. A maior parte das importações teve origem dos Estados Unidos (30%) e da Rússia (26%). (SOUZA, 2001)

Considerando-se que o fósforo não é um elemento tóxico à saúde dos seres vivos, sendo, ao contrário, essencial à manutenção da vida, suas interações com o meio ambiente têm sido relacionadas ao nível de fertilização das águas, ou eutrofização. Além disso, nas últimas décadas, previsões a respeito do possível esgotamento das fontes desse nutriente e a impossibilidade de sua substituição por outro elemento químico da natureza, têm promovido debates a respeito de sua utilização enquanto matéria-prima necessária para a produção de diversos produtos industrializados.

A partir da década de 1970, os estudos relativos à disponibilidade de fósforo, à produtividade biológica e à fertilização tem sido aprimorados, uma vez que, na medida em que são aumentados os níveis de eutrofização das águas, se projeta um decréscimo nas reservas mundiais desse nutriente na natureza. (TAYLOR e KILMER, 1980)

O aprofundamento dos estudos relacionados à utilização de fósforo pelas plantas, das alternativas existentes para garantir a produtividade agrícola necessária para o pleno atendimento à demanda caminha de forma paralela à necessidade de controle da quantidade de fósforo lançada nos corpos d'água. Nesse sentido, busca-se racionalizar o seu uso, proteger o meio ambiente, garantir a qualidade das águas e preservar as reservas de fósforo existentes.

3.1.3. O Ciclo do Nutriente

Ao contrário do nitrogênio, cujo reservatório é o ar, a fonte de fósforo na natureza é a litosfera, fazendo parte do denominado ciclo sedimentar.

Sua liberação natural ocorre principalmente por meio das erosões do solo, num processo lento em que parte do fosfato é transportada para a hidrosfera, meio onde pode sedimentar-se ou ser utilizado pelos seres vivos. O retorno do fósforo sedimentado nos mares ocorre também muito lentamente ao ciclo, principalmente através dos peixes e aves marinhas. (BRANCO e ROCHA, 1987; DERÍSIO, 2000; BRAGA et al., 2002)

O fósforo contido no solo, tanto na forma orgânica como inorgânica, é utilizado pelas plantas e posteriormente consumido por todos os animais. A matéria orgânica oriunda dessas plantas e animais, seja através da decomposição ou dos excrementos, retorna ao ciclo através do solo ou da hidrosfera. (MACRAE et al., 1993)

Na Figura 05, a seguir, pode-se visualizar a representação esquemática do ciclo do fósforo na natureza.

Figura 05: Ciclo do fósforo na natureza.
Fonte: DERÍSIO, 2000.

Ressalta-se, entretanto, que parte do fosfato que chega à hidrosfera e se precipita no sedimento pode não mais retornar ao metabolismo límnico para utilização pelos seres vivos, dependendo desse retorno, das condições físicas e químicas do meio, bem como da taxa de decomposição da matéria orgânica.

BOLLMAN et al. (2005) destacam como os principais fatores que podem intervir no ciclo do fósforo em um ambiente aquático, a concentração de sais e metais, o pH, a cor das águas, o hábito alimentar da ictiofauna e a concentração de certas espécies de zooplâncton, fitoplâncton e macrófitas.

Acredita-se que a parcela de fósforo sedimentada nos diversos ambientes aquáticos volte ao ciclo muito lentamente, não acompanhando a velocidade das perdas de fósforo, que são muito mais intensas. Segundo BRANCO E ROCHA (1987), tanto os movimentos de acomodação da crosta terrestre e dos sedimentos, como a atividade animal, principalmente das aves e peixes, parecem não serem suficientes para compensar as perdas atualmente existentes.

A ação predadora do homem sobre os animais marinhos, aliada à crescente exploração das fontes de fósforo pela mineração, pela ocupação desordenada do solo, pelo desmatamento e, principalmente, pelo incremento das atividades industrial e agrícola, tornaram as taxas de retorno do fósforo cada vez mais reduzidas em comparação com as suas perdas.

De acordo com LLOYD (2007), desde a Revolução Industrial, a quantidade de fósforo colocada em circulação no meio ambiente foi triplicada, em decorrência do expressivo incremento nas atividades econômicas e da fabricação de produtos que utilizam fosfatos em suas formulações, principalmente detergentes e fertilizantes.

Tal situação vem desencadeando um processo de reciclagem denominado “acíclico”. Estima-se que de 2 milhões de toneladas de fósforo que são produzidas atualmente, somente cerca de 60 mil retornam ao meio de origem. (BRANCO e ROCHA, 1987; DERÍSIO, 2000; BRAGA et al., 2002)

Na Figura 06, a seguir, pode-se verificar um resumo esquemático das influências humanas sobre o ciclo natural do fósforo.

Figura 06: Ciclo natural do fósforo e as influências humanas.

Fonte: Adaptado de LLOYD, 2007.

A comparação entre a quantidade de fósforo atualmente colocada no ciclo, cada vez maior, e as suas taxas de retorno, nos permite verificar que uma parte desse elemento pode estar sendo irreversivelmente perdida, disponibilizada no lugar errado.

São expressivos os impactos que essa situação pode ocasionar para a sustentabilidade do meio ambiente e para a qualidade de vida de todos os seres vivos, já que se trata de um nutriente insubstituível nos processos biológicos e um recurso natural finito, não renovável e sem fontes alternativas.

3.2. Comportamento do Fósforo no Solo

Nos solos, o fósforo é um elemento de baixa mobilidade devido aos mecanismos físico-químicos que o atraem para os colóides.

Trata-se da adsorção específica, que é a adsorção com alta energia decorrente das ligações covalentes que o fósforo faz com a superfície de minerais, numa interação intensa que o retém e o mantém com pouca mobilidade. (PAGANINI, 2001)

Essa grande capacidade de fixação e adsorção é uma característica que se acentua em solos com teores mais elevados de óxidos de ferro e alumínio, visto que é grande a afinidade do fósforo com os elementos químicos cálcio, ferro e alumínio. (CRESTE, 2004; MALAVOLTA, 2004)

Devido a essa característica, o fósforo é considerado um nutriente de baixo aproveitamento pelas plantas, o que faz com que as quantidades de fertilizantes aplicadas sejam sempre superiores à capacidade de extração do nutriente pelas culturas.

MALAVOLTA (2004) salienta que essa é uma das grandes diferenças do fósforo em relação ao nitrogênio e ao potássio, que apresentam relações mais estreitas entre as aplicações de fertilizantes e a extração pelas culturas, principalmente em produtividades elevadas. Tais informações dão suporte à idéia que se tem de que potássio e nitrogênio “adubam a planta” e fósforo “aduba o solo e os lençóis subterrâneos”.

De acordo com CRESTE (2004), o fósforo pode ser encontrado nos solos nas seguintes formas:

- **Fósforo fixado** – Fósforo inorgânico fortemente adsorvido, ligado a alumínio, ferro e cálcio;
- **Fósforo disponível** – Fósforo inorgânico fracamente adsorvido ou presente na solução do solo;

- **Fósforo solúvel** – H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} disponível à planta na forma inorgânica e;
- **Fósforo orgânico** – Fósforo ligado a compostos orgânicos no solo, como ácidos nucleicos, fosfolipídeos e fosfoinositol.

O fósforo disponível, ou fósforo em solução, é o único que está pronto para utilização imediata pelas plantas. Porém, para caracterizar a disponibilidade do nutriente no solo, deve-se levar em conta também, a sua porção solúvel, ou lábil. Essa forma de fósforo está presente na fase sólida do solo, no entanto, pode ser solubilizada e absorvida pela planta. Já a porção de fósforo fixado, ou não lábil, é aquele que adquire uma composição mineralógica mais estável e de mais difícil solubilização, ficando indisponível para utilização pela planta. (VAN RAIJ, 1983)

Face à tendência do fósforo de fixar-se no solo, a quantidade do nutriente na forma não lábil é sempre muito maior que a forma lábil e disponível. Na Figura 07, abaixo, pode-se visualizar uma figura que mostra esquematicamente a relação entre as frações de fósforo disponíveis no solo.

Figura 07: Relação entre as frações de fósforo disponíveis no solo.
Fonte: Adaptado de VAN RAIJ, 1983.

As formas de fósforo no solo dependem diretamente do pH do meio. Na faixa de pH de 4 a 8, encontra-se sob a forma de H_2PO_4^- e em pH superior a 8, encontram-se as formas HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} . Como a forma preferencial de absorção pelas plantas é a H_2PO_4^- , o pH ideal do solo deve estar na faixa de 4 a 8. (OZANNE, 1980; CRESTE, 2004)

No Brasil, por serem altas as concentrações de óxidos hidratados de ferro e alumínio, a reação do fósforo desfavorece a absorção pelas diversas culturas, tornando-se necessária a aplicação e manejo adequado dos fertilizantes fosfatados para que se possa obter sucesso na atividade agrícola, com consequente aumento na produtividade, evitando-se perdas. Assim, devido à forte capacidade de fixação do nutriente pelo solo, embora a exigência de fósforo pela planta seja pequena, as doses utilizadas em um processo de adubação fosfatada costumam ser muitas vezes maiores. (LANTMANN e CASTRO, 2004)

Nesse sentido, é de grande importância o manejo correto dos fertilizantes nas áreas agrícolas, uma vez que o excesso de nutrientes, especialmente de fósforo, pode resultar em perdas econômicas e em sérios prejuízos ao meio ambiente.

Para a utilização criteriosa e melhor aproveitamento da adubação fosfatada, SOUSA e LOBATO (2004) recomendam as seguintes ações:

- Estabelecimento de um plano de utilização da gleba, incluindo a sequência de culturas, o prazo de utilização e a expectativa de produção;
- Histórico de utilização das áreas incorporadas ao processo produtivo;
- Informações sobre quantidades e tipos de insumos já aplicados, produtividades obtidas, forma de preparo do solo, condições climáticas e tipo de solo.

Tais informações devem ser anotadas e arquivadas pelo produtor rural, de forma que possam ser consultadas quando houver necessidade de definir a recomendação de adubação, estabelecendo-se uma relação entre os teores de fósforo aplicados e o rendimento dos solos de acordo com as diferentes culturas.

3.2.1. Dinâmica no Sistema Solo-Planta

Não obstante o fósforo seja um nutriente vital para as plantas, seus teores são bastante reduzidos nesses organismos, comparativamente ao nitrogênio e ao potássio. Em um sistema solo-planta, estima-se que cerca de 90% do fósforo encontra-se no solo e somente 10% participa do ciclo de vida das plantas e animais. (OZANNE, 1980; PAGANINI, 2001)

A única forma de fósforo que pode ser absorvida pelas plantas é aquela disponível na solução do solo. No entanto, como nesse ponto o nutriente se encontra em concentrações muito baixas, a extensão do sistema radicular torna-se fundamental para o processo de absorção.

O contato entre o íon fosfato contido na solução do solo e o sistema radicular das plantas ocorre por difusão, um processo lento onde o nutriente atravessa curtas distâncias, estando essa velocidade sujeita a algumas condições, como por exemplo, a umidade. PAGANINI (2001) acrescenta que em um solo franco, que retém umidade, se o íon de fósforo encontra-se a mais de 1 cm de distância da raiz, ele não será capaz de movimentar-se o suficiente para ser absorvido por ela.

Com a absorção do fósforo, ocorre uma depleção da solução em torno das raízes e, para que o processo possa continuar, o nutriente deve se dissolver da fase sólida e movimentar-se, por difusão, até a superfície das raízes. (VAN RAIJ, 1983; MALAVOLTA, 2004)

A quantificação da concentração de fósforo na solução do solo depende diretamente da quantidade do nutriente na fase sólida. Os solos mais argilosos e com maiores teores de óxidos de ferro e alumínio possuem maior capacidade de reter o fósforo na fase sólida, não disponibilizando-o para utilização pela planta. (ANGHINONI, 2004)

O pH do solo determina as formas predominantes dos íons em solução, as reações químicas e a atividade microbiana, afetando a capacidade de absorção do nutriente pelas plantas. O aumento do pH de 4 para 6,5, por exemplo, resulta no aumento do

fósforo presente na solução do solo e, conseqüentemente, na sua disponibilidade para as plantas.

Além do pH, MALAVOLTA (2004) destaca alguns fatores considerados primordiais para a capacidade de absorção de fosfato pelas plantas, como a genética, visto que as diferentes morfologias das raízes alteram os parâmetros de absorção, a temperatura e a concentração externa do íon.

As plantas de crescimento rápido e sistema radicular pouco desenvolvido aproveitam mal o fósforo do solo e necessitam de teores disponíveis mais elevados. Como os teores de fosfato disponíveis no solo para absorção pela planta são geralmente muito baixos para suprir as necessidades das culturas, é necessária a constante reposição desse nutriente através, por exemplo, da aplicação de fertilizantes.

As plantas de ciclo longo e sistemas radiculares desenvolvidos aproveitam bem baixos teores de fósforo disponível, necessitando assim, de menores quantidades de fertilizantes. (VAN RAIJ, 1983)

Em decorrência desse comportamento naturalmente complexo do fósforo no solo, é necessária a adoção de métodos de análise de campo que auxiliem no planejamento e estabelecimento de formas e níveis de adubação com fertilizantes fosfatados que garantam a sua utilização racional.

3.2.2. Fertilização

A disponibilidade de fósforo é fundamental para o crescimento e desenvolvimento das diversas culturas vegetais.

Sob condições limitantes de fósforo, as plantas apresentam pequeno desenvolvimento das raízes e reduzido nível de brotação, tendo como resultado, uma

baixa eficiência no aproveitamento da água e dos nutrientes em geral. A aplicação de fósforo no solo garante condição mais apropriada e balanceada de desenvolvimento, possibilitando o crescimento da planta, garantindo maiores produtividades e, por consequência, oferecendo maior lucratividade. (STAUFER e SULEWSKI, 2004)

A importância da presença de fósforo no solo para o crescimento vegetal pode ser comparada somente à do nitrogênio. No entanto, diferentemente do nitrogênio, que pode ser fixado pelas plantas a partir do ar, o fósforo utilizado é somente aquele disponível no solo. Estima-se que, atualmente, sem o acréscimo sistemático do fósforo oriundo da exploração mineral, através de fertilizantes, não seria possível produzir a quantidade necessária de alimentos para o atendimento da necessidade global. (CORDELL, 2008)

A forma de fósforo utilizada em fertilizantes minerais e orgânicos é a de pentóxido de fósforo (P_2O_5) e o seu aproveitamento tem sido considerado de grande importância para tornar o solo apto para novas utilizações e plantações. No Brasil, onde a grande maioria dos solos é caracterizada pela carência natural de fósforo e pela exaustão de uso, a aplicação de fertilizantes torna-se essencial.

Os tipos de fertilizantes encontrados comercialmente são basicamente os superfosfatos simples (SS), com 18% a 20% de P_2O_5 , os fosfatos bicálcio, de 20% a 40% de P_2O_5 , os superfosfatos triplo (ST), que possuem de 42% a 48% de P_2O_5 e os fosfatos de amônio, este comumente dividido entre fosfato monoamônio (MAP), que possui 48% a 60% de P_2O_5 e fosfato diamônio (DAP), com 55% a 62% de P_2O_5 . (SOUZA, 2001)

No Brasil, cerca de 43% dos fertilizantes consumidos são do tipo MAP e 30% é composto pelos SS. No total, são consumidos anualmente mais de 10 milhões de toneladas de P_2O_5 , nos diversos estados brasileiros. (LOPES et al., 2004)

3.2.3. Absorção pelas Diferentes Culturas

Se nos solos a mobilidade do fósforo é baixa, no interior das plantas esse movimento é bastante rápido.

Uma vez absorvido pelas raízes, ocorre uma rápida distribuição do nutriente para os outros órgãos da planta e, após sua absorção, é incorporado rapidamente em formas orgânicas, e liberado novamente no xilema na forma inorgânica para atender às demandas de crescimento pelas plantas. (PAGANINI, 1997; PAGANINI, 2001; BATAGLIA, 2004)

Na soja, o fósforo é um nutriente essencial e insubstituível. A falta desse nutriente e da disponibilidade adequada no solo compromete a produtividade da cultura de forma absoluta, não permitindo o seu crescimento e alterando todos os processos metabólicos dependentes desse elemento.

Como no Brasil os solos disponíveis para plantio de soja apresentam baixa disponibilidade e alta capacidade de fixação de fósforo, o manejo do nutriente torna-se essencial para uma maior competitividade no mercado.

LANTMANN e CASTRO (2004), citando Malavolta (1978) destacam que a soja é atualmente a principal cultura consumidora de fertilizante fosfatado no Brasil e estimam que sejam necessários 8,4 kg de fósforo por tonelada do grão. Essa necessidade é crescente na medida em que se faz necessário um aumento na produtividade. Para aumentar a produtividade de soja em quatro vezes, o fosfato deve ser aplicado numa quantidade sete vezes maior.

O cultivo do milho e do trigo, a segunda e terceira principal cultura consumidora de fertilizantes fosfatados do país, respectivamente, são menos exigentes em relação à presença do fósforo, comparativamente à soja. Requerem cerca de 6,9 kg e 4,3 kg desse nutriente para cada tonelada produzida.

No caso da cana-de-açúcar, embora o fósforo seja absorvido em pequenas

quantidades, a disponibilidade é fundamental para a formação da sacarose, matéria-prima para a produção de açúcar e álcool. Além disso, a presença de fósforo no caldo de cana é fundamental para o processo de clarificação. (KORNDÖRFER, 2004)

Caldos contendo baixos teores de fosfato dificultam o processo de floculação e de decantação de impurezas, como bagacilho, argila, clorofila, dentre outros. O caldo turvo e de coloração intensa implica na produção de açúcar de pior qualidade e, portanto, de menor valor comercial. No processo de clarificação, o fosfato contido no caldo, na forma de P_2O_5 , reage com o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) formando fosfato tricálcico ($Ca_3(PO_4)_2$), que, ao flocular e sedimentar, arrasta as impurezas para o fundo do decantador, acumulando no lodo.

Ou seja, no cultivo da cana-de-açúcar, o baixo teor de fósforo no solo, além de prejudicar a produtividade da planta, pode afetar a concentração de P_2O_5 no caldo. Portanto, a adubação fosfatada, embora não seja considerada a forma mais eficiente e econômica para aumentar o teor de P_2O_5 do solo cultivado com cana-de-açúcar, contribui de maneira significativa para isto e, desta forma, melhora o processo de clarificação. No Brasil, a quantidade de fósforo recomendada para o cultivo da cana-de-açúcar é variável de acordo com cada estado e depende da produtividade esperada e dos teores de fósforo disponível naturalmente no solo. No caso de São Paulo, para uma produtividade de até 100 t/ha, por exemplo, necessita-se de 7 a 15 kg de fosfato para solos com 100 mg/dm^3 de fósforo e de 16 a 40 kg de fosfato para solos com 60 mg/dm^3 de fósforo. (KORNDÖRFER, 2004)

Assim como no caso da cana-de-açúcar, a recomendação de adubação fosfatada em relação à produção de café é também regionalizada, de acordo com produtividade e a disponibilidade no solo. Para o Estado de São Paulo, assim como para Minas Gerais, uma produtividade esperada de até 600 kg/ha, necessita de 6 a 12 kg de fosfato para solos com mais de 20 mg/dm^3 de fósforo e de 13 a 30 kg de fosfato para solos com menos de 20 mg/dm^3 de fósforo. (BATAGLIA, 2004)

Para a cultura dos citros, CRESTE (2004) destaca a importância de um programa de fertilização baseado no estado nutricional dos pomares, no seu vigor e na expectativa de produção, procurando realizá-lo nas épocas e nas doses recomendadas. Além

disso, a quantidade de fertilizante a ser utilizado depende da análise de fatores outros, como situação das folhas, dos frutos e idade da planta.

No caso de uma planta de 1 a 2 anos, em solos com 100 mg/dm^3 de fósforo, necessita-se de 6 g a 12 g de fosfato, por planta. Nas mesmas condições de disponibilidade de fósforo no solo, a quantidade de fósforo passa para 13 g a 30 g de fosfato em plantas de 3 a 4 anos. (CRESTE, 2004)

3.2.4. Lixiviação

Devido à sua baixa mobilidade na maioria dos solos, o fósforo geralmente permanece no local onde foi colocado pela intemperização mineral ou pela aplicação de fertilizantes fosfatados. Em áreas adubadas, na maioria dos solos, o fósforo permanece retido perto do ponto de aplicação do fertilizante e sua retirada, quando não utilizado pelas plantas na solução do solo, se dá principalmente através da erosão ou do escoamento da camada superficial, por ocasião das chuvas.

Apesar de haver uma maior capacidade de movimentação de fósforo nos solos arenosos, comparativamente aos argilosos, PAGANINI (2001) salienta que pouco fósforo é perdido por lixiviação, sendo que a erosão e a remoção pelas culturas são as únicas formas significativas de perdas de fósforo alocado no solo.

A esse fato, BARROW (1980) acrescenta que as perdas de fósforo por lixiviação são normalmente muito pequenas. Experimento realizado em Iowa, nos Estados Unidos, indicou que menos de 2% das taxas de fosfato anualmente aplicadas numa área utilizada para o plantio de milho eram perdidas por lixiviação. Na Dinamarca, pesquisas realizadas estimaram que a quantidade de fertilizante lixiviado nas áreas agrícolas não chegava a 10% do total utilizado.

STAUFFER e SULEWSKI (2004) apontam que as perdas de fósforo por lixiviação

em áreas agricultáveis é geralmente secundária, devido à capacidade do solo de reter o fósforo. Tal situação somente pode ser alterada sob condições de manejo de solo inadequado.

COOKE e WILLIAMS (1975) destacam que a lixiviação de fósforo em áreas fertilizadas é desprezível nos solos com menos de 5% de argila. Enquanto nitratos, sulfatos, cálcio e magnésio possuem grande tendência de lixiviação, apenas uma quantidade mínima de fosfato tem essa capacidade. Salientam, entretanto, que estudos efetuados na Inglaterra, em solos arenosos, fertilizados durante 15 anos com um taxa de aplicação de fósforo da ordem de 90 kg/ha/ano, registraram o acúmulo de grandes quantidades de fosfato na faixa de até 50 cm de profundidade, nos pontos de aplicação do nutriente, favorecendo a lixiviação vertical.

Em sistemas de disposição de esgotos no solo, também, verifica-se uma maior capacidade de aumento nas quantidades lixiviadas verticalmente, apesar da pouca mobilidade do fósforo.

De acordo com PAGANINI (1997), tal situação é facilitada pelas elevadas taxas de aplicação superficial de esgotos domésticos onde se encontram presentes grandes quantidades de fósforo. Nesses locais, a supersaturação pode sobrecarregar os pontos de adsorção específica e favorecer a movimentação, chamada de retrogradação, auxiliando na lixiviação. O fósforo lixiviado pode, assim, alcançar mais de 120 cm de profundidade, com a possibilidade de atingir o lençol freático.

Já a quantidade de fósforo presente no solo que pode ser perdida por escoamento superficial costuma ser maior nos solos arenosos, que possuem pouca capacidade de reter água e de fixar fosfato. (BARROW, 1980)

STAUFFER e SULEWSKI (2004) destacam que a análise das condições de uma bacia hidrográfica em relação à sua capacidade de perder fósforo por escoamento artificial indica que somente uma pequena proporção da área apresenta vulnerabilidade mais alta. Na maioria dos casos, 90% da perda de fósforo em uma bacia hidrográfica ocorre em 10% da área. Assim, apesar de haver perdas para o ambiente, a remoção pelas plantas é considerada a principal responsável pelas maiores perdas de fósforo no solo.

3.3. Comportamento do Fósforo nas Águas

Todo fósforo presente nas águas naturais encontra-se sob a forma de fosfato, como íon ou formando complexos com outros elementos químicos, apresentando-se sob diferentes frações.

Em relação às diferentes frações ou formas de fosfato existentes nas águas continentais, são bastante diversas as classificações utilizadas, com diferentes nomenclaturas de acordo com cada autor.

Para STUMM e MORGAN (1981), a classificação a ser utilizada divide as frações de fosfato nos grupos fosfato orgânico solúvel, fosfato inorgânico solúvel, fosfato orgânico insolúvel e fosfato inorgânico insolúvel.

ESTEVES (1988) destaca como mais aceita, a divisão composta por fosfato particulado (P-particulado), fosfato orgânico dissolvido (P-orgânico dissolvido), fosfato inorgânico dissolvido ou ortofosfato (P-orto), fosfato total dissolvido (P-total dissolvido) e fosfato total (P-total).

De acordo com PIVELI e KATO (2006), a classificação a ser adotada nos estudos relativos à qualidade das águas abrange os grupos dos fosfatos orgânicos, ortofosfatos e polifosfatos. O fosfato orgânico corresponde à forma na qual o fósforo compõe as moléculas orgânicas e os ortofosfatos são os íons que, nas águas, se combinam com cátions e formam sais inorgânicos. Polifosfatos são os polímeros de ortofosfatos.

É consenso, no entanto, que as formas de ortofosfato são as mais comuns nas águas, estando disponíveis para o metabolismo biológico sem necessidade de redução a formas simplificadas. Adquirem, assim, uma importância fundamental, visto que se trata da forma em que o fósforo é absorvido com maior intensidade pelos seres vivos.

Os ortofosfatos podem estar presentes nas águas continentais sob diferentes formas em função do pH do meio, sendo que, como nesses ecossistemas a faixa de pH mais

frequente está entre 5 e 8, as principais formas iônicas de fosfato são o H_2PO_4^- e o HPO_4^{2-} . Na Tabela 01, a seguir, pode-se observar o percentual de ortofosfato presente nas águas continentais, de acordo com o pH.

Tabela 01: Porcentagem das formas de ortofosfato presente nas águas, em diferentes valores de pH.

pH	Espécie Iônica (%)			
	H_3PO_4	H_2PO_4^-	HPO_4^{2-}	PO_4^{3-}
4	0,9	99,0	0,2	7×10^{-16}
5	0,1	98,0	2,0	7×10^{-8}
6	8×10^{-3}	82,0	18,0	6×10^{-6}
7	3×10^{-4}	33,0	67,0	2×10^{-4}
8	4×10^{-6}	3,0	97,0	2×10^{-3}
9	5×10^{-8}	0,5	99,5	4×10^{-2}

Fonte: ESTEVES, 1988.

Além do pH, a quantidade de ortofosfato presente nas águas relaciona-se também com a densidade e o nível de atividade dos organismos que possuem a capacidade de assimilar grandes quantidades desses íons durante a fotossíntese, como por exemplo, os fitoplânctons e as macrófitas. Já os polifosfatos, em decorrência da tendência de rápida conversão em ortofosfatos nas águas naturais, tendem a ser considerados menos importantes nos estudos de qualidade das águas. (ESTEVES, 1988; PIVELI e KATO, 2005; VON SPERLING, 2005; EPA, 2007)

Quando presentes em solução aquosa, os polifosfatos sofrem hidrólise e convertem-se em ortofosfatos num processo que depende de alguns fatores, como aumento da temperatura e diminuição do pH. Enquanto o tempo de conversão de um pirofosfato ou tripolifosfato presente em água destilada pode demorar de 4.000 a 5.000 dias, em um lago natural ou rio a velocidade pode ser de 100 a 1.000 vezes mais rápida e nos esgotos domésticos, essa velocidade é ainda maior. (SAWYER e McCARTY, 1978; STUMM e MORGAN, 1981)

Como nas águas os fosfatos possuem grande variedade de formas, SAWYER e McCARTY (1978) elaboraram uma lista daqueles mais comuns e, portanto, de maior importância para a avaliação do nutriente no ambiente. Tal informação pode ser verificada na Tabela 02.

Tabela 02: Formas de fósforo mais comuns nas águas.

Formas	Nome	Fórmula
Ortofosfatos	Fosfato de sódio	Na_3PO_4
	Fosfato de sódio hidrogênio	Na_2HPO_4
	Fosfato de sódio di-hidrogênio	NaH_2PO_4
	Fosfato de amônio hidrogênio	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
Polifosfatos	Hexametáfosfato de sódio	$\text{Na}_3(\text{PO}_3)_6$
	Tripolifosfato de sódio	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$
	Pirofosfato tetrasódico	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$

Fonte: SAWYER e McCARTY, 1978.

As frações de fosfato em um ambiente aquático e sua distribuição dependem, portanto, de fatores físico-químicos, como pH e concentração de íons ferro, alumínio e carbonatos, e concentração de oxigênio. Dependem ainda, de aspectos como presença de macrófitas aquáticas, de fitoplâncton e zooplâncton, do hábito alimentar da ictiofauna predominante e da taxa de decomposição da matéria orgânica. Esses fatores são determinantes para definir se a fração de fosfato será retida no sedimento ou liberada para a coluna d'água para utilização pelos seres vivos. (ESTEVES, 1988; BOLLMAN et al., 2005)

3.3.1. Participação dos Organismos Aquáticos

A comunidade aquática possui um papel importante e fundamental para a dinâmica do fósforo nas águas.

Nesse sentido, as macrófitas destacam-se devido à sua capacidade de ocupar grandes áreas, à alta taxa de produtividade e ao potencial de algumas espécies de estenderem-se pelo perfil da água, principalmente nas partes mais rasas dos lagos e represas, próximas às margens. Notadamente no caso das espécies enraizadas, as macrófitas

podem se ocupar desde a região denominada de epilímio, que corresponde à parte superior do lago, em contato com a atmosfera, até a região do hipolímio, na parte inferior do lago, o que possibilita o aproveitamento do fosfato retido no sedimento, situação chamada de efeito de “bombeamento”. Nesse caso, após a absorção do fósforo contido no sedimento, ocorre sua liberação para a coluna d’água por excreção durante o crescimento vegetal ou, principalmente, durante a decomposição da biomassa. Na presença de bactérias e algas periféricas, a fração excretada pode ser consumida imediatamente, antes mesmo de alcançar as águas. (ESTEVES, 1988; BOLLMAN et al., 2005)

ESTEVES (1988) citando McRoy & Barsdate (1970), destaca que algumas espécies de macrófitas podem excretar até 58% do fosfato total assimilado do sedimento, contribuindo de maneira significativa para o enriquecimento da coluna d’água com esse nutriente e, conseqüentemente, para o aumento da produtividade do ecossistema, principalmente nos períodos em que a temperatura está mais elevada.

Assim, a capacidade dessas espécies de macrófitas de absorver fosfato do sedimento, onde sua concentração é geralmente maior que a da água, faz com que esse nutriente raramente atue como o fator limitante para o crescimento, diferentemente do que ocorre com o fitoplâncton. (ESTEVES, 1988)

No fitoplâncton, o fosfato encontra-se geralmente presente na forma de ortofosfato e é indispensável para o crescimento, fazendo parte dos compostos celulares ligados ao armazenamento de energia e à composição de ácidos nucléicos, fosfolipídeos, nucleotídeos, fosfoproteínas, dentre outros.

As condições de absorção do fosfato pelo fitoplâncton resultam da diferença entre as concentrações interna e externa, assim, a taxa de absorção do fosfato diminui com o aumento da concentração no interior da célula. Alguns tipos de algas, entretanto, possuem a capacidade de absorver fosfato além de sua capacidade momentânea, armazenando-o na forma de polifosfato para utilização em períodos de escassez, comportamento que é denominado *luxury consumption*. Essa característica, comum a algumas espécies de cianofíceas, como a *Oscillatoria sp* e *Cilindrospermopsis sp*, tem grande significado sob o ponto de vista ambiental, uma vez que possibilita o

crescimento da população dessas espécies e a ocorrência de florações mesmo quando a fonte externa de fósforo está esgotada. Quanto à absorção de fosfato, as cianofíceas possuem, em geral, vantagens competitivas em relação a outros tipos de algas devido à sua capacidade de migração para a região mais profunda do lago, no hipolímio, onde se encontram as maiores concentrações do íon. (ESTEVES, 1988; BOLLMAN et al., 2005)

O zooplâncton também participa de forma ativa na dinâmica do nutriente. Nesse caso, o processo está relacionado à excreção, através da liberação de fosfatos para a coluna d'água, principalmente na forma de ortofosfatos. ESTEVES (1988) e BOLLMAN et al. (2005), ambos citando os estudos realizados por Pace & Orcutt Jr. (1981), destacam que certas espécies de protozoários são capazes de reciclar no epilímio, cerca de 15 a 30 µg de fosfato por dia, durante os meses quentes do ano.

No caso dos peixes, sua participação pode influenciar em maior ou menor grau na concentração de fósforo no meio, de acordo com a espécie e nível trófico. De forma geral, a importância está relacionada com os teores de ortofosfatos presentes nos excrementos, principalmente em reservatórios, especialmente quando se tratam de espécies mais jovens. (BOLLMAN et al. 2005)

3.3.2. O Sedimento e a Dinâmica do Nutriente

Nos ambientes aquáticos, os sedimentos representam a fase sólida, composta por partículas de tamanho, forma e composição química diferentes, que se depositaram e acumularam ao longo dos anos, a partir do transporte dos ambientes terrestres.

É composto também, por precipitados de processos químicos e biológicos resultantes das interações ocorridas no ecossistema aquático. Como consequência, os sedimentos apresentam concentrações bastante elevadas de elementos químicos, comparativamente aos resultados da coluna d'água. (BOLLMAN et al., 2005)

É no sedimento que ocorrem importantes processos biológicos que afetam diretamente o metabolismo de todo o sistema aquático, de forma que sua composição físico-química e biológica permite determinar a intensidade e as formas de impacto a que o ecossistema aquático está ou esteve submetido.

No que se refere ao acúmulo e ciclagem de nutrientes, especialmente do fósforo, o sedimento tem importância fundamental, já que pode funcionar como reservatório para os demais compartimentos. (ESTEVES, 1988; CHORUS e BARTRAN, 1999; TUNDISI, 2003; PIVELI e KATO, 2005)

Grande parte do fosfato presente em um ambiente aquático continental pode ser precipitada no sedimento, de onde somente retornará para a coluna d'água, para uso pelos seres vivos, mediante as condições físicas e químicas adequadas do meio e da taxa de decomposição da matéria orgânica. (ESTEVES, 1988)

A precipitação ou liberação de fósforo em um ecossistema aquático é bastante influenciada, também, pela concentração de oxigênio no hipolímino, a parte inferior do corpo d'água. Em hipolímio aeróbio o fosfato é precipitado; em hipolímio anaeróbio, este é liberado para a coluna d'água.

3.3.2.1. Precipitação

ESTEVES (1988) descreve a precipitação do fosfato como a sua exclusão da dinâmica do ecossistema. Isto porque, através da precipitação, a fração de fósforo presente na água e retida no sedimento, fica impossibilitada de utilização pelos seres vivos presentes no ecossistema. Dentre os fatores que interferem nesse processo de imobilização do íon fosfato, destacam-se a concentração de íons e sulfetos, a presença de compostos orgânicos e carbonatos, o pH e as condições de oxi-redução.

No que se refere à concentração de íons, os de ferro são os de maior importância no

processo de adsorção do fosfato e precipitação para o sedimento, devido à relação de valências. Considerando-se que cada 1 mg de íon férrico pode precipitar 0,5 mg de fosfato, se no meio aquático as concentrações de íons férrico e fosfato forem iguais, o íon férrico poderá se precipitar totalmente e o restante do fosfato permanecerá disponível para aproveitamento pelos organismos aquáticos. Se a concentração do íon férrico for maior que a de fosfato, na proporção mínima do dobro, este será adsorvido em sua totalidade. Visualmente, esse processo pode ser reconhecido e identificado pela cor marrom característica do sedimento, salientando-se que esse fenômeno é bastante frequente nas águas brasileiras. (ESTEVES, 1988)

Deve-se destacar que em ambientes com predominância de condições aeróbias, há tendência de se promover a adsorção de fósforo ao hidróxido de ferro hidratado, sendo que parte da porção adicionada poderá ser permanentemente precipitada. A outra parte, que foi absorvida pelos seres vivos, será precipitada também após a sua decomposição.

Dentre os outros íons que podem precipitar fósforo, destacam-se o alumínio e o manganês, em valores de pH abaixo de 5, e o cálcio em casos de pH mais elevado. (BOLLMAN, 2005)

Outro fator que interfere diretamente nas condições de precipitação do fósforo é a presença de argila, principalmente aquelas que possuem ferro e alumínio em sua composição. A adsorção à argila representa um fenômeno bastante importante em águas continentais, na medida em que ocorrem constantes aportes decorrentes de erosões nas bacias de drenagem.

De acordo com ESTEVES (1988), o acréscimo artificial de argila, além dos efeitos negativos sobre a concentração do fósforo, reduz a transparência da água, contribuindo para a redução da produtividade do ecossistema.

A precipitação do íon fosfato e a sua consequente exclusão definitiva ou temporária do ecossistema aquático, implica principalmente, na redução de sua produtividade.

ESTEVES (1988), citando Gessner (1959) destaca a precipitação do fosfato como “uma verdadeira tragédia limnológica”, onde um dos elementos mais importantes para a produtividade pode ser permanentemente imobilizado.

3.3.2.2. Liberação

A liberação do fosfato é o processo em que o íon retorna do sedimento para a coluna d'água, tornando-se disponível para utilização pelos seres vivos.

A liberação do íon fosfato ocorre mais facilmente em ambientes com baixa concentração de oxigênio e, sobretudo, de anaerobiose.

Em condições aeróbias, o sedimento possui uma camada de oxidação que impede a liberação do fosfato para a coluna d'água, sendo que, à medida que o hipolímio torna-se anaeróbio, essa camada de oxidação torna-se menos espessa, permitindo a liberação do fosfato. (ESTEVES, 1988)

Essas condições são mais frequentes na parte inferior do corpo d'água, especialmente quando esta se encontra estratificada termicamente e o íon de ferro encontra-se na forma reduzida. De acordo com BOLLMAN et al. (2005), na forma reduzida o íon de ferro possui pouca afinidade com o fosfato, tornando-o disponível para absorção pelo fitoplâncton. Já nos ambientes sem estratificação térmica, a condição oxidante do fundo faz com que os íons de ferro precipitem o fósforo, retendo-o no sedimento.

A concentração de matéria orgânica também interfere nas condições de liberação do fosfato. Quando há grandes quantidades de matéria orgânica, ocorre a reação do íon de ferro com o íon sulfeto, tornando o fosfato livre na coluna d'água. ESTEVES (1988) destaca que, quando se deseja aumentar a produtividade de ecossistemas aquáticos de pequeno porte, é comum adicionar sulfato ao invés de fosfato.

Assim, quando surgem condições anaeróbias, principalmente no sedimento e na água de contato, o sulfato é reduzido a sulfeto, precipitando os íons de ferro na forma FeS , muito insolúvel, resultando na liberação do íon fosfato.

3.3.3. Eutrofização

A eutrofização pode ser descrita como um aumento da produtividade biológica de um corpo hídrico em decorrência do acréscimo na concentração de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo. (AMARAL E SILVA, 1972; BRANCO e ROCHA, 1987; ESTEVES, 1988; TUNDISI, 2003)

O processo de eutrofização relaciona-se, portanto, com as alterações qualitativas e quantitativas da produtividade biológica decorrentes da introdução em excesso desses nutrientes, que ocasionam, por exemplo, proliferação de algas e de outras plantas aquáticas superiores, as macrófitas. Na Figura 08, pode-se visualizar a imagem da floração de algas no Reservatório de Bariri, no rio Tietê, como resultado da eutrofização das águas.

Figura 08: Floração de algas no Reservatório de Bariri, no rio Tietê. Janeiro de 2006.
Fonte: PAGANINI, 2007.

A eutrofização pode ser natural ou artificial. Quando natural, trata-se de um processo que ocorre lentamente, como resultado do aporte contínuo de nutrientes carreados do solo através das chuvas ou de processos de erosão das rochas. Esse processo é denominado “envelhecimento natural” do lago ou represa e pode até ser benéfico, aumentando a capacidade de produção de todo o sistema, desde que não cause

desequilíbrios ecológicos. (BRANCO e ROCHA, 1987; ESTEVES, 1988; BRAGA et al., 2002; TUNDISI, 2003)

A eutrofização artificial, também denominada acelerada, cultural ou antrópica, tem origem nas atividades humanas. Acarreta rápidas e profundas modificações nas características físicas e químicas do meio aquático e está diretamente relacionada com a urbanização, com o aumento populacional, com o desenvolvimento das indústrias e com o uso de fertilizantes na agricultura. (AMARAL E SILVA, 1972; ESTEVES, 1988; BRAGA et al. 2002)

De acordo com CHORUS e BARTRAN (1999), a partir de meados do século XX, a eutrofização passou a ser reconhecida como uma forma de poluição na Europa e América do Norte. Nesses locais, estima-se que os lagos e reservatórios estejam atualmente, cerca de 53% e 41%, respectivamente, eutrofizados, com concentrações de fósforo superiores a 0,1 mg/L, sendo que o limite estabelecido é de 0,025mg/L.

Para os reservatórios do Estado de São Paulo, estudos efetuados por LAMPARELLI (2004) para o período entre 1996 e 2001, apontam que a eutrofização é responsável por uma parcela considerável da toxicidade aguda, em decorrência da presença de algas ou, de forma indireta, devido aos procedimentos utilizados para o controle do crescimento algas, através, por exemplo, da aplicação de sulfato de cobre.

Apesar de poder ocorrer também em rios, a eutrofização é um fenômeno tipicamente observado em lagos e represas, onde as condições ambientais decorrentes da turbidez e da velocidade mais baixa das águas são mais favoráveis ao aparecimento de algas e outras plantas. Além disso, a radiação solar, a temperatura, a profundidade do lago, a velocidade do fluxo da água e o tempo de residência também interferem no grau de eutrofização. (BRAGA et al. 2002; VON SPERLING, 2005)

Em relação aos nutrientes considerados mais importantes para a produtividade do ecossistema aquático, nitrogênio e fósforo, destaca-se que, em relação ao nitrogênio, o controle do aporte em um ambiente eutrofizado pode ser comprometido pela multiplicidade de fontes, tendo em vista que algumas espécies de algas e cianobactérias podem utilizar o nitrogênio na forma gasosa. (BRAGA et al. 2002; PIVELI e KATO, 2005)

Essas condições podem levar o nitrogênio a deixar de ser um fator limitante, uma vez que a sua fonte se torna praticamente inesgotável. O fósforo é exigido pelas algas em quantidades de 20 a 30 vezes menores que a de nitrogênio, no entanto, essa proporção pode ser alterada para menos 8 vezes nas águas que recebem efluentes domésticos, devido, principalmente, à utilização crescente de detergentes sintéticos, com disponibilização sistemática de fósforo. Assim, quando os níveis de nitrogênio nesses locais estão no limite mínimo necessário às florações de algas, o fósforo já existe em excesso, tornando-se necessária uma maior eficiência no seu controle e remoção para controlar o processo de eutrofização. (BRANCO e ROCHA, 1987)

O fósforo tem sido considerado, assim, o elemento limitante da produtividade e o principal responsável pela eutrofização. Em ambientes em que esse nutriente é abundante, o crescimento e a produtividade biológica são acelerados e intensificados.

De acordo com BRAGA et al. (2002), a principal consequência da eutrofização de um lago é o desequilíbrio ambiental causado pela criação de zonas diferentes de concentração de oxigênio. Nesse caso, a matéria orgânica a ser decomposta aumenta a um ponto tal que consome todo o oxigênio disponível, causando um cenário de crescente anoxia. Nesse processo, a disponibilidade de fósforo é alterada. Conforme já abordado nos itens 3.3.2.1. e 3.3.2.2. do presente trabalho, na presença de oxigênio, o fósforo possui tendência de se manter depositado no sedimento; na ausência de oxigênio, o fosfato passa à forma solúvel na água, ficando disponível para participação no processo fotossintético. Ou seja, o processo de eutrofização pode ser contínuo e crescente, caso não sejam adotadas ações de gerenciamento e controle a serem efetuadas no âmbito da bacia hidrográfica, de forma a evitar o aporte de nutrientes através de suas fontes pontuais e difusas.

Os principais efeitos da eutrofização, relatados por TUNDISI (2003), referem-se à redução dos níveis de oxigênio, de forma geral, com consequente mortalidade de peixes, crescimento não controlado das algas, muitas das quais podem produzir toxinas, elevação da concentração de matéria orgânica, podendo produzir substâncias carcinogênicas se tratadas com cloro, alteração na composição de espécies de peixes e efeitos na saúde humana, crônicos e agudos. Acrescente-se a esses, os efeitos

econômicos e sociais, como a deterioração de lagos recreacionais e dificuldades no transporte, perda do valor comercial de peixes pela contaminação, aumento nos custos do tratamento da água e redução dos valores das propriedades próximas a lagos e represas. A ilustração dessa situação pode ser observada na Figura 09.

Figura 09: Efeitos da eutrofização.
Fonte: TUNDISI, 2003.

Com a diminuição da quantidade e qualidade da água, em decorrência do aumento nos níveis de eutrofização, nota-se a perda da capacidade de sustentabilidade do sistema, com consequente aumento do nível de toxicidade e deterioração da saúde humana.

Nas Figuras 10 e 11 pode-se visualizar a imagem de processos de eutrofização. A primeira, no rio Piracicaba, junto ao município de Santa Maria da Serra, próximo ao ponto de confluência com o rio Tietê, na represa de Barra Bonita; a segunda no rio Tietê, na cidade de Arealva, reservatório de Ibatinga. Esses pontos estão situados cerca de 600 e 700 km a jusante da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), respectivamente.

Figura 10: Eutrofização no Rio Piracicaba. Julho/08

Figura 11: Rio Tietê, Reservatório de Ibitinga, na cidade de Arealva. Junho/07.

Conforme descrevem BRANCO e ROCHA (1987), a eutrofização acelerada constitui, atualmente, um dos grandes problemas a serem enfrentados e solucionados pelos ecólogos que se dedicam à proteção e recuperação dos ambientes naturais.

De acordo com o Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo, elaborado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), o processo de eutrofização artificial é atualmente considerado o principal fenômeno de degradação da qualidade das águas no Estado de São Paulo e síntese das ações antrópicas sobre os recursos hídricos. (CETESB, 2005)

Em um ambiente eutrofizado, a floração de cianobactérias é especialmente perigosa, pois diversas espécies liberam toxinas, causando sérios prejuízos às águas utilizadas para abastecimento público. Foi a presença dessas toxinas que provocou a morte de 40 pacientes de uma clínica de hemodiálise de Caruaru, em Pernambuco, no ano de 1996. (OSÓRIO e OLIVEIRA, 2001)

3.3.4. Índice do Estado Trófico

VON SPERLING (2005), ao descrever participação do fósforo na qualidade das

águas, destaca que sua presença não acarreta problemas de ordem sanitária, tratando-se, porém, de um importante parâmetro de caracterização do corpo d'água. Isto porque, a concentração de fósforo em um lago ou represa, por ter relação direta com a eutrofização, é utilizada para determinação do seu nível trófico, ou seja, para avaliação do potencial de produtividade biológica. Quanto maior o nível trófico e a concentração de fósforo nas águas, maior a capacidade de desenvolvimento de cianobactérias, algas e plantas aquáticas, menores os níveis de oxigênio tanto nas camadas superiores como inferiores do corpo d'água e menor a sua qualidade.

Os primeiros estudos relacionados com a classificação trófica das águas, datados de 1930, já indicavam que os lagos ricos em fitoplâncton apresentavam altas concentrações de fósforo, comparativamente àqueles com baixas densidades destes organismos. Posteriormente, com base em dados sobre a concentração de fosfato em lagos das regiões temperadas, estabeleceu-se a classificação do estado trófico das águas.

O primeiro trabalho de classificação trófica das águas foi proposto por VOLLENWEIDER (1968), que estimou as cargas de fósforo total de acordo com os diferentes estados: ultra-oligotrófico, oligomesotrófico, meso-eutrófico, eu-politrófico e politrófico. Tal classificação pode ser observar na Tabela 03, a seguir.

Tabela 03: Estado trófico e concentração de fósforo total.

Estado Trófico	P-total µg/L
Ultra-oligotrófico	< 5
Oligomesotrófico	5 - 10
Meso-eutrófico	10 - 30
Eu-politrófico	30 - 100
Politrófico	> 100

Fonte: Adaptado de VOLLENWEIDER, 1968; ESTEVES, 1988.

A revisão dessa classificação deu origem a novas denominações para os diferentes graus de trofia. BRAGA et al. (2002) e VON SPERLING (2005) salientam que a classificação atualmente utilizada para caracterização da produtividade biológica de lagos e represas é a seguinte:

- **oligotróficos**, quando apresentam baixa produtividade e baixa concentração de nutrientes;
- **mesotróficos**, quando suas características são intermediárias entre os anteriormente citados e;
- **eutróficos**, quando há elevada produção vegetal e alta concentração de nutrientes.

Para maior detalhamento dessas condições, criou-se classificações intermediárias, denominadas ultraoligotrófico, quando a produtividade e a concentração de nutrientes é muito baixa e hipereutrófico, quando, ao contrário, o nível de produtividade e as concentrações de fósforo são demasiadamente elevadas.

O nível hipereutrófico é caracterizado pelo crescimento desordenado de algas, inclusive de macrófitas, que além de causar prejuízos aos múltiplos usos da água pode ocasionar sérios riscos à saúde humana, uma vez que essas plantas são habitats para planorbídeos, caramujos hospedeiros intermediários do verme causador da esquistossomose. (PIVELI e KATO, 2005)

As informações referentes às concentrações de fósforo total, bem como as principais características e ocorrências relacionadas à produtividade e aos prejuízos qualitativos de acordo com essa classificação, podem ser observadas na Tabela 04, a seguir.

Tabela 04: Níveis de fósforo e classificação qualitativa dos principais graus de trofia.

Item	Classe de Trofia				
	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Concentração de fósforo total (mg/L)	< 0,005	0,005 – 0,010	0,010 – 0,035	0,035 – 0,100	> 0,100
Biomassa	Bastante baixa	Reduzida	Média	Alta	Bastante alta
Fração de algas verdes e/ou cianobactérias	Baixa	Baixa	Variável	Alta	Bastante alta
Macrófitas	Baixa ou ausente	Baixa	Variável	Alta ou baixa	Alta
Dinâmica da produção	Bastante baixa	Baixa	Média	Alta	Alta, instável
Dinâmica de oxigênio na camada superior	Normalmente saturado	Normalmente saturado	Variável em torno da supersaturação	Freqüentemente supersaturado	Bastante instável, de supersaturação à ausência
Dinâmica de oxigênio na camada inferior	Normalmente saturado	Normalmente saturado	Variável abaixo da supersaturação	Abaixo da saturação à completa ausência	Bastante instável, de supersaturação à ausência
Prejuízo aos usos múltiplos	Baixo	Baixo	Variável	Alto	Bastante alto

Fonte: PIVELI e KATO, 2005; VON SPERLING, 2005.

O nível trófico de um lago ou represa está relacionado com a forma predominante de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica. (BRAGA et al., 2002; VON SPERLING, 2005)

Em uma bacia com ocupação predominantemente urbana, os níveis de trofia de uma represa são maiores quando comparados às bacias ocupadas pela atividade agrícola e agropastoril, já que o aporte de fósforo e demais nutrientes é aumentado em decorrência da drenagem das águas pluviais e, principalmente, devido ao recebimento dos esgotos domésticos e industriais. Nessas bacias, pode-se verificar uma grande e rápida elevação nos níveis de trofia que, com as condições adequadas de insolação e luminosidade, podem proporcionar situações de superpopulações de algas, as denominadas florações.

O processo de evolução dos níveis de trofia de um lago ou represa, de acordo com o uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 12: Evolução do nível de trofia de um lago ou represa.
Fonte: VON SPERLING, 2005.

Também os fatores morfométricos, hidrológicos, climáticos e óticos afetam as condições de trofia de um corpo d'água. XAVIER et al. (2005), citando Odun (1971) destacam que lagos rasos são morfometricamente eutróficos mesmo com baixas concentrações de nutrientes, sendo que os lagos mais profundos, mesmo com concentrações mais expressivas de nutrientes, podem ser temporariamente oligotróficos sob o aspecto morfológico.

Segundo VOLLENWEIDER (1968), podem ser estimadas cargas empíricas permissíveis e perigosas de fósforo nos lagos e reservatórios, de acordo com sua profundidade, para a manutenção das condições ecológicas, em função da eutrofização. Assim, quanto maior a profundidade do lago ou represa, maior a capacidade de recebimento de cargas de fósforo antes de serem causados prejuízos à qualidade das águas. Na Tabela 05 são apresentadas estimativas empíricas das cargas de fósforo em função das diferentes profundidades.

Tabela 05: Estimativas das cargas de fósforo em um lago ou reservatório, em função da profundidade, em g/m².ano.

Profundidade Média (m)	Carga Permissível (Até) (g/m².ano)	Carga Perigosa (Além de) (g/m².ano)
5	0,07	0,13
10	0,10	0,20
50	0,25	0,50
100	0,40	0,80
150	0,50	1,00
200	0,60	1,20

Fonte: VOLLENWEIDER, 1968.

A classificação de acordo com os níveis tróficos é especialmente utilizada em ambientes de regime lântico, para os quais calcula-se o Índice de Estado Trófico (IET), desenvolvido por Carlson. Esse índice tem por finalidade classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, avaliando a qualidade da água quanto ao seu enriquecimento por nutrientes e o efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas, ou o potencial para o crescimento de macrófitas aquáticas. Esse índice não está relacionado à qualidade da água, conceito mais relacionado à utilização múltipla, e

sim, à capacidade de produção da biomassa algal. (XAVIER et al., 2005)

Desde o ano de 2002, para composição do Índice de Qualidade das Águas (IQA), a CETESB passou a levar em consideração também o nível de trofia dos corpos d'água, através do cálculo do IET. Nesse índice, os resultados correspondentes ao fósforo, IET(P), são entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente é considerado o agente causador do processo. (CETESB, 2005)

3.4. Fosfato em Rios e Reservatórios: Fontes Naturais e Artificiais

O transporte através das águas é parte fundamental do ciclo do fósforo, correspondendo à forma predominante com que o fosfato se move através do meio ambiente.

Seu comportamento em rios e reservatórios relaciona-se diretamente com o nível das contribuições, ou seja, com a intensidade das fontes, sejam elas naturais ou artificiais.

As fontes naturais estão relacionadas principalmente com as cargas difusas, através dos processos erosivos da bacia de contribuição, da decomposição dos organismos aquáticos e dos vegetais que compõem as matas ciliares, do nível de assoreamento do corpo d'água, do intemperismo das rochas e da intensidade das trocas ocorridas entre o sedimento e a coluna d'água.

Essas fontes, de acordo com BOLLMAN et al. (2005) são de difícil controle e, apesar de contribuírem em menor quantidade para o aumento nas concentrações de fosfato nas águas, são de grande relevância para alteração dos níveis de eutrofização, já que o solo, apesar de ser um meio onde o fósforo possui baixa mobilidade, assim como as rochas e os minerais, podem ser fontes constantes do nutriente nas águas.

Em bacias mais desenvolvidas economicamente e com grande concentração populacional, a origem do fósforo está mais relacionada com as fontes denominadas artificiais ou antrópicas, que são decorrentes da ação do homem. Nesses locais, apesar de ocorrer o aporte de fósforo por influência dos processos naturais, estima-se que as fontes artificiais sejam sensivelmente mais importantes e, dentre essas fontes, destacam-se os esgotos domésticos, os efluentes industriais e o escoamento superficial de áreas cultivadas. (BRANCO, 1978; ESTEVES, 1988; CHAVE, 1997; VON SPERLING, 2005; PIVELI e KATO, 2005)

Na Figura 13, a seguir, encontram-se descritas as principais fontes naturais e antrópicas de fosfato em um reservatório.

Figura 13: Fontes naturais e antrópicas de fósforo em rios e reservatórios.
 Fonte: Adaptado de BOLLMAN et al., 2005.

Em relação à erosão e ao escoamento superficial, apesar de serem consideradas fontes naturais de fósforo, sua ocorrência tem sido, cada vez mais, relacionada com os fatores antrópicos, uma vez que tais processos podem ser causados, influenciados ou acelerados pela ação do homem.

Na Europa e nos Estados Unidos, GOLTERMAN (1975) destaca que a quantificação das fontes naturais de fósforo nas águas tem se tornado cada vez mais difícil de ser efetuada na maioria dos lagos e reservatórios em decorrência da intensificação dos processos de urbanização. Nesses locais, já não é mais possível identificar rios que não tenham contribuições expressivas das fontes antrópicas. Acrescenta ainda, que a atividade humana tem contribuído de forma tão intensa para o aumento dos níveis desse nutriente nas águas, que se pode estimar que uma quantidade de 3×10^{16} gramas de fósforo, que levava muitos milhares de anos para ser mobilizado para um reservatório de maneira natural, ocorre hoje num período de 100 anos. Esse aumento na velocidade e na intensidade das contribuições é incomparável com a capacidade natural dos rios de reservatórios de manter o seu equilíbrio natural.

De acordo com VON SPERLING (2005), as principais fontes de fósforo em um lago

ou represa, em ordem crescente de importância, podem ser consideradas as seguintes:

- **Drenagem pluvial**
 - a. Áreas com matas e florestas
 - b. Áreas agrícolas
 - c. Áreas urbanas
- **Esgotos**
 - d. Efluentes industriais
 - e. Efluentes domésticos

A drenagem pluvial das áreas cobertas com matas e florestas tende a transportar menos fósforo, visto que o ecossistema se encontra próximo ao equilíbrio; a drenagem de áreas agrícolas apresenta valores mais elevados, sendo que as contribuições dependem da capacidade de retenção do solo, do manejo do solo, da irrigação, do tipo de fertilização da cultura e das condições climáticas; a drenagem urbana apresenta maiores valores e pouca variabilidade; os esgotos industriais possuem grande variabilidade entre as distintas tipologias; considera-se os esgotos domésticos veiculados por sistemas de coleta e afastamento, como a maior fonte de contribuição de fósforo.

Com base nessa classificação, VON SPERLING (2005) efetuou uma estimativa de valores típicos da contribuição unitária de fósforo, apresentados na Tabela 06. Ressalta-se que esses dados estão sujeitos a variação de acordo as características de cada localidade e, desta forma, são utilizados para dimensionamento dos valores e referência como ordem de grandeza.

Tabela 06: Contribuições típicas de fósforo de acordo com a fonte.

Fonte	Tipo	Valores Típicos	Unidade
Drenagem	Áreas de matas e florestas	10	kg/km ² .ano
	Áreas agrícolas	50	kg/km ² .ano
	Áreas urbanas	100	kg/km ² .ano
Esgotos	Domésticos	0,4	kg/hab.ano

Fonte: VON SPERLING, 2005.

De acordo com VOLLENWEIDER (1968), a quantidade diária de fósforo que é transportada para um rio ou reservatório é bastante variável nas diferentes atividades agrícolas e urbanas. No caso da atividade agrícola, as áreas aradas e os campos oferecem uma contribuição maior, comparativamente às áreas cobertas com florestas. Na atividade urbana, a maior contribuição de fosfato tem origem nos esgotos domésticos, sendo representado pelo material fecal e pelos detergentes sintéticos.

A partir dessa avaliação, as contribuições típicas de fósforo foram estimadas conforme Tabela 07.

Tabela 07: Contribuições típicas de fósforo de acordo com a atividade desenvolvida.

Contribuições		Quantidade (g/ano/m²)	
		Mínima	Máxima
Atividade Urbana	Matéria fecal	0,08	0,08
	Detergentes	0,04	0,04
	Escoamento superficial	0,01	0,01
	Industrial	0,01	0,01
Atividade Agrícola	Terra arada	0,01	0,05
	Campos	0,01	0,05
	Florestas	0,01	0,01
Total		0,17	0,25

Fonte: VOLLENWEIDER, 1968.

Segundo GLENNIE et al. (2002), apesar das principais fontes de fósforo nas águas serem os esgotos domésticos e a atividade agrícola, a mensuração de seus impactos está relacionada com a forma de ocupação da terra no âmbito da bacia hidrográfica. Em locais onde a agricultura é menos intensiva, os esgotos domésticos são a maior fonte e as medidas para redução e controle das quantidades lançadas através dos efluentes são necessárias para melhoria da qualidade das águas. Em locais onde a agricultura é intensiva, essa pode ser a principal fonte de fósforo nas águas, sendo necessárias medidas para manejo da terra e gerenciamento do uso de fertilizantes.

3.4.1. Atividade Agrícola

Os principais impactos na qualidade das águas associados com a atividade agrícola são decorrentes do transporte da matéria orgânica de origem animal, da utilização de fertilizantes e da ocorrência de processos erosivos.

A substituição da vegetação natural de uma bacia por agricultura representa um impacto bastante significativo na qualidade das águas, uma vez que a retirada dos vegetais plantados promove uma remoção natural de nutrientes através do escoamento superficial e da erosão.

VON SPERLING (2005) acrescenta que a retirada desses vegetais plantados para consumo pelo ser humano e que acaba por resultar na remoção de nutrientes do solo, não pode ser reposta naturalmente. Atualmente, devido à necessidade de uma produção agrícola mais intensiva, a adição de fertilizantes para aumento da produtividade tornou-se imperiosa e, em muitos casos, para garantir a produtividade, as quantidades de fertilizantes aplicadas tendem a ser superiores à própria capacidade de assimilação pelos vegetais, o que aumenta a capacidade de perdas.

Também, a substituição da vegetação nativa por áreas agricultáveis pode ocasionar a redução da capacidade de infiltração no solo, fazendo com que os nutrientes, já adicionados artificialmente em grandes quantidades, através dos fertilizantes, tendam a escoar superficialmente pelo terreno até atingir o corpo d'água.

Nesse sentido, KILMER e TAYLOR (1980) apresentam um estudo comparativo entre a quantidade de fertilizante aplicado e o aumento na concentração de fosfato na água em decorrência do escoamento artificial. De acordo com esses dados, em áreas onde a quantidade de fertilizantes aplicada é de 56 kg/ha, a concentração de fósforo nas águas pode chegar a 0,24 p.p.m., ao passo que nos locais onde se aplica 113 kg/ha de fertilizantes, a concentração de fósforo nas águas pode chegar a 0,44 p.p.m.

Ou seja, a partir do aumento de cerca de 100% na quantidade de fertilizantes aplicada

nos solos, pode-se detectar um acréscimo de 80% na concentração de fósforo nas águas. Tais informações podem ser visualizadas na Tabela 08.

Tabela 08: Quantidade de fertilizante aplicado, em kg/ha, e aumento nas concentrações de fósforo nas águas, em p.p.m..

Fertilizante Aplicado (kg/ha)	Concentração de P (p.p.m.)
0	0,07
56	0,24
113	0,44

Fonte: Adaptado de KILMER e TAYLOR, 1980.

Estudos efetuados nas áreas agrícolas de 6 bacias hidrográficas do estado de Oklahoma, nos Estados Unidos, durante 4 anos, foram relatados por KILMER e TAYLOR (1980), demonstrando que as chuvas representam um fator tão decisivo quanto aqueles resultantes do aumento na quantidade de fertilizante aplicada ou pelas diferentes formas de manejo da terra.

Para quantificar o nível de fosfato carregado para as águas em decorrência do escoamento artificial de áreas agrícolas causado pelas chuvas, COOKE e WILLIAMS (1975) relatam alguns levantamentos efetuados em diferentes países:

- Na Holanda, estudos indicam uma perda anual de 0,25 kg/ha;
- Na Califórnia, Estados Unidos, as perdas anuais em um plantio de alfafa foram estimadas em 0,08 a 0,19 kg/ha, enquanto em um plantio de arroz foram de 0,53 kg/ha;
- Em Woburn, na Inglaterra, as perdas analisadas durante 4 anos foram equivalentes a 0,25 kg/ha ao ano.

De uma forma geral, VOLLENWEIDER (1968) acrescenta que as perdas anuais de fosfato nas áreas agricultáveis devido ao escoamento superficial podem ser consideradas na faixa de 0,15 a 0,75 kg/ha.

Para traduzir o potencial de perdas de nutrientes do solo numa previsão exata das possíveis perdas, é necessário um estudo detalhado do impacto causado pelo conjunto das práticas agrícolas adotadas. Além da quantidade de fertilizante aplicada e da sua capacidade de escoamento artificial, é de grande importância a análise da erodibilidade do terreno, considerando-se o tipo de solo, suas características físicas, a forma de plantio utilizada e a taxa pluviométrica da bacia a ser estudada. (KILMER e TAYLOR, 1980)

Assim, terrenos com maior suscetibilidade à erosão e ao movimento de massas, certamente oferecerão maior risco de transporte das cargas de fertilizantes e conseqüentemente, de nutrientes, para as águas.

HELMER e HESPANHOL (1997) acrescentam que a prevenção de processos erosivos pode ser considerada a principal ferramenta para controle do aporte de fósforo em áreas agrícolas.

Os tipos de solo mais suscetíveis à erosão são os classificados como B textural e litossolos, devido à baixa taxa de infiltração, bem como os latossolos, devido à textura arenosa e à presença em relevo suave. Os solos classificados como B textural são caracterizados pela textura argilosa ou média, podendo ser enquadrados como podzólicos, podzolizados ou terra roxa estruturada. Os litossolos são característicos pelo solo raso, com espessura pouco desenvolvida e frações de argila bastante reduzidas. Os latossolos possuem classe textural predominantemente argilosa, mas pode ser também franco-argilo-arenosa, franco-argilosa, argilo-arenosa e franco-arenosa, sendo que em todos os casos, a fração de argila é superior a 15%. De acordo com essa classificação, estima-se que cerca de 60,2% da área territorial do Estado de São Paulo seja suscetível à erosão quando cultivada. (LEPSCH, 1994)

Para o Estado de São Paulo, em relação às condições de erodibilidade do terreno, o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), sintetiza as classes de suscetibilidade

natural do solo à erosão em 4 categorias básicas, de acordo com sua fragilidade estrutural, enquadrando-os nas seguintes condições:

- a. Muito alta suscetibilidade:** Áreas de grande fragilidade estrutural, com ocorrência em toda a porção oeste do Estado, predominantemente sobre o planalto ocidental, que engloba 1/3 do território paulista. Nesses locais, ocorrem aflorações do arenito das Formações Bauru, Pirambóia e Botucatu, com relevo ondulado (colinas médias) a forte ondulado (morrotes e morros). Predomínio de solos podzólicos de textura arenosa.
- b. Alta suscetibilidade:** Terrenos sustentados por rochas areníticas de diversas formações, destacando-se a Adamantina, Botucatu, Pirambóia, Itararé, Rio Claro e Itaqueri. Presente no planalto ocidental e na depressão periférica, com relevo ondulado a suave ondulado e latossolos de textura arenosa.
- c. Baixa suscetibilidade:** Presença de rochas cristalinas, rochas básicas e rochas sedimentares finas (formações Corumbataí, Iraci e Tatuí). Relevo ondulado a suave ondulado, solos argilosos espessos e presença principalmente na depressão periférica.
- d. Muito baixa suscetibilidade:** Localizadas junto às planícies fluviais da depressão periférica e planícies costeiras. Solos arenosos, siltosos e argilosos.

A partir dessa classificação, apresenta-se o mapa das condições de erodibilidade do Estado de São Paulo, de forma a indicar as suas diferentes localizações.

Conforme se pode observar na Figura 14, a seguir, as áreas mais escuras, situadas principalmente na porção oeste do Estado são aquelas mais suscetíveis à erosão, enquanto as mais claras são as menos suscetíveis, localizadas na parte leste, mais próximas à região litorânea.

Figura 14: Condições de erodibilidade do solo no Estado de São Paulo.

Fonte: Adaptado de PERH, 2005.

Além do tipo de solo, outro fator preponderante para determinar a quantidade de terra perdida através da erosão é a forma de uso do solo e tipo de cultura plantada. A Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) busca identificar a presença de processos erosivos e as perdas de solo no Estado de São Paulo, classificando as diferentes culturas da seguinte forma (BERTOLINI e LOMBARDI NETO, 1994; TORRES et al., 2007):

- **Culturas perenes ou permanentes:** São as culturas que crescem de ano para ano, sendo muitas vezes necessário um período de vários anos para que se tornem produtivas. Como exemplo de culturas perenes ou permanentes, pode-se citar as frutíferas, a seringueira, o café e o cacau. A maioria das áreas utilizadas para esse tipo de cultura é cultivada mecanicamente, alterando a estrutura do solo, reduzindo a taxa de infiltração, acelerando o processo erosivo e causando déficit hídrico no período seco.

- **Culturas anuais e temporárias:** São as culturas cujos ciclos são maiores que um ano, porém, que não são permanentes. Estão incluídas nessa classificação, também, as culturas que completam seu ciclo de vida durante uma única estação, perecendo após a colheita e as que, normalmente, completam seu ciclo num período de duas ou mais estações de crescimento. Como exemplo de culturas anuais ou temporárias, pode-se citar as olerícolas, o algodão, a cana-de-açúcar, o milho e a soja. Nessas culturas, os problemas de erosão são decorrentes do uso intensivo de máquinas, tendência de monocultura em nível regional, baixa cobertura vegetal e, em alguns casos, dois cultivos por ano. Normalmente não são observadas as condições ideais de preparo e manejo, com mobilização excessiva do solo.
- **Pastagens:** Tratam-se das áreas ocupadas por pastagens naturais ou cultivadas, efetivamente utilizadas para exploração animal e capineiras, bem como as áreas eventualmente utilizadas para fornecimento de matéria verde para silagem ou para elaboração de feno. Nas pastagens extensivas, os problemas de erosão estão vinculados ao manejo, onde a cobertura vegetal favorece também a degradação precoce do próprio pasto, competição com invasoras e compactação do solo, dentre outros. As culturas anuais entram no sistema para renovação das pastagens num período que pode variar de 5 a 10 anos.
- **Reflorestamento:** As áreas de reflorestamento são entendidas como aquelas destinadas ao plantio de essências florestais exóticas ou nativas. Os principais causadores das perdas de solo nesses locais são a excessiva movimentação do solo para implantação do reflorestamento, a inobservância do plantio em nível, a implantação em período chuvoso, a utilização de solos declivosos e a inadequação dos caminhos entre os plantios.

Observando-se a classificação acima descrita e buscando analisar as perdas de solo em São Paulo, estudos efetuados para a safra dos anos de 1987/1988 estimaram que cerca de 80% da área cultivada do Estado passavam por processos erosivos além dos

limites de tolerância. As perdas de terra foram estimadas em 194 milhões de toneladas por ano, sendo que, desse total, 48,5 milhões de toneladas chegavam aos mananciais em formas de sedimentos transportados, causando assoreamento e poluição. A erosão hídrica em terras cultivadas passou a ser considerada um problema bastante significativo para o Estado de São Paulo. (BELLINAZZI Jr et al., 1981; BERTOLINI e LOMBARDI NETO, 1994)

Para a realização desse estudo, estimou-se a capacidade de perda de acordo com as diferentes culturas, considerando a forma de manejo do solo e a extensão da área agricultável. Assim, verificou-se que as culturas anuais são as principais responsáveis pelas perdas de solo no Estado, com valores da ordem de 69,4 milhões de t/ano.

No caso do feijão, por exemplo, essa capacidade é de 38,1 t/ha/ano, para o amendoim, é de 26,7 t/ha/ano e para o arroz é de 25,1 t/ha/ano. Dentro das estimativas efetuadas, a erosão representa, por exemplo, perdas de 10 kg de solo para cada quilo de soja produzido, 12 kg de solo para cada quilo de feijão produzido ou 5 kg de solo para a produção de 1 kg de milho.

Quando se efetua a comparação entre a capacidade de perda de terra estimada para cada tipo de cultura, denominada perda individual, e a extensão da área agricultável, pode-se verificar que algumas culturas com elevada capacidade de perda individual apresentam resultados pouco significativos em relação às perdas anuais de terra. Por exemplo, no caso da cultura da mamona, que possui potencial de perda individual de terra estimado em 41,5 t/ha/ano, as perdas anuais são estimadas em 496 mil toneladas, devido à pequena extensão das áreas utilizadas para seu cultivo.

No sentido inverso, a cana-de-açúcar, apesar da capacidade de perda individual ser relativamente baixa, de 12,4 t/ha/ano, comparativamente às demais culturas, a perda anual de solo referente a esse cultivo é bastante elevada, de 26,6 milhões de toneladas, devido às extensas áreas cultivadas. O comparativo das perdas individuais e das perdas totais estimadas de solo entre as diferentes culturas pode ser visualizado na Tabela 09.

Tabela 09: Estimativa de perdas de terras associadas ao uso agrícola no Estado de São Paulo.

Cultura	Área (1000 ha)	Perdas Individuais de Terra (t/ha/ano)	Perdas Totais de Terra (1000 t/ano)
Culturas Anuais			
Algodão	349,25	24,8	8.661,40
Amendoim	76,63	26,7	2.046,02
Arroz	271,20	25,1	6.807,12
Feijão	428,05	38,1	16.308,71
Milho	1.285,30	12,0	15.423,60
Soja	534,60	20,1	10.745,46
Outras	386,95	24,5	9.480,28
	3.331,98	20,85	69.472,58
Culturas Temporárias			
Cana	2.152,05	12,40	26.685,42
Mamona	11,96	41,50	496,34
Mandioca	39,06	33,90	1.324,13
	2.203,07	12,94	28.505,89
Culturas Permanentes			
Banana	51,65	0,90	46,49
Café	732,77	0,90	659,49
Laranja	786,30	0,90	707,67
Outras	40,25	0,90	36,23
	1.610,97	0,90	1.449,87
Pastagem	10.236,13	0,40	4.094,45
Reflorestamentos	1.110,35	0,90	999,32
	11.346,48	0,58	6.543,64
Vegetação Nativa	1.243,00	0,40	497,20
Áreas Críticas (Estrada e Periurbana)	562,50	175,00	98.437,50
Outras	4.467,73	1,00	4.467,73
	6.273,23	16,48	103.402,43
Redução das perdas em função das práticas de controle da erosão (culturas anuais, temporárias e permanentes) - 15%			(-) 14.914,25
Total das Perdas no Estado de São Paulo	24.765,73		194.460,17

Fonte: BERTOLINI e LOMBARDI NETO, 1994.

Assim, a quantidade de terra perdida anualmente nas áreas cultivadas do Estado de São Paulo pode ser estimada em 7,852 t/ha.

Para estimativa das perdas de fósforo decorrentes das quantidades de terra perdidas, BELLINAZZI Jr et al. (1981) destacam que a concentração média desse nutriente no solo de São Paulo é da ordem de 0,002614%. Para esse cálculo foram considerados o teor médio natural desse nutriente nos solos no Estado e as quantidades médias adicionadas artificialmente através da aplicação de fertilizantes. De acordo com esses dados, as quantidades de fósforo perdidas para aquele período foram totalizadas em 5.045 t/ano, o que corresponde a 0,20 kg/ha/ano.

Em decorrência desse estudo, foi possível identificar grandes diferenças entre as

culturas. No caso das culturas anuais, as perdas são estimadas em 0,55 kg/ha/ano; nas culturas temporárias esse valor é de 0,34 kg/ha/ano; nas culturas permanentes, a quantidade de fósforo perdida é estimada em 0,02 kg/ha/ano, conforme se pode visualizar na Tabela 10, abaixo.

Tabela 10: Perdas estimadas de fósforo no Estado de São Paulo, associadas ao uso agrícola.

Cultura	Área (1000 ha)	Perdas Totais de Terra (1000 t/ano)	Perdas Totais de Fósforo (t/ano)	Perdas de Fósforo (kg/ha/ano)
Culturas Anuais				
Algodão	349,25	8.661,40	226,41	0,65
Amendoim	76,63	2.046,02	53,48	0,70
Arroz	271,20	6.807,12	177,94	0,66
Feijão	428,05	16.308,71	426,31	1,00
Milho	1.285,30	15.423,60	403,17	0,31
Soja	534,60	10.745,46	280,89	0,53
Outras	386,95	9.480,28	247,81	0,64
	3.331,98	69.472,58	1.816,01	0,55
Culturas Temporárias				
Cana	2.152,05	26.685,42	697,56	0,32
Mamona	11,96	496,34	12,97	1,08
Mandioca	39,06	1.324,13	34,61	0,89
	2.203,07	28.505,89	745,14	0,34
Culturas Permanentes				
Banana	51,65	46,49	1,22	0,02
Café	732,77	659,49	17,24	0,02
Laranja	786,30	707,67	18,50	0,02
Outras	40,25	36,23	0,95	0,02
	1.610,97	1.449,87	37,90	0,02
Pastagem	10.236,13	4.094,45	107,03	0,01
Reforestamentos	1.110,35	999,32	26,12	0,02
	11.346,48	5.093,77	133,15	0,01
Vegetação Nativa	1.243,00	497,20	13,00	0,01
Áreas Críticas (Estrada e Periurbana)	562,50	98.437,50	2.573,16	4,57
Outras	4.467,73	4.467,73	116,79	0,03
	6.273,23	103.402,43	2.702,94	0,43
Redução das perdas em função das práticas de controle da erosão (culturas anuais, temporárias e permanentes) - 15%		(-) 14.914,25		
Total das Perdas no Estado de São Paulo	24.765,73	193.010,30	5.045,29	0,20

Fonte: BELLINAZZI Jr et al., 1981; BERTOLINI e LOMBARDI NETO, 1994.

A esses dados, BELLINAZZI Jr et al. (1981) acrescentam que as perdas de fertilizantes fosfatados aplicados nas áreas agrícolas do Estado de São Paulo, principalmente do tipo superfosfato simples (SS), acarretam a necessidade de investimentos suplementares da ordem de U\$ 4 milhões ao ano.

3.4.2. Atividade Urbana

A substituição da vegetação natural ou da área agricultável pela urbanização pode desencadear uma série de consequências, com reflexos negativos nas condições de qualidade dos corpos d'água.

A esse respeito, VON SPERLING (2005) aponta 3 consequências principais:

- **Assoreamento**, decorrente dos movimentos de terra, das obras e da impermeabilização do terreno.
- **Drenagem pluvial urbana**, com transporte de nutrientes e resíduos diversos para o corpo d'água.
- **Esgotos**, causadores dos maiores impactos, devido ao lançamento de matéria orgânica, alimentos, detergentes e outros subprodutos decorrentes da atividade humana. O aporte de nutrientes através dos esgotos é muito superior à contribuição originada pela drenagem urbana.

TUCCI (2002) destaca que, à medida que a cidade se urbaniza, ocorrem, de forma geral, os seguintes impactos nos corpos d'água:

- Aumento das vazões máximas, em até 6 vezes, devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e em decorrência da impermeabilização da superfície;
- Aumento na produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies, ao acúmulo e transporte de lixo e matéria orgânica;
- Deterioração da qualidade da água, devido ao escoamento superficial e ao lançamento de esgotos domésticos e industriais.

Nos países em desenvolvimento o processo de urbanização mostra-se acelerado. Na América Latina e Caribe, o crescimento da população urbana registra índices de 3 a 5% ao ano; no Brasil, a taxa da população urbana é de 76%. No Estado de São Paulo, onde cerca de 91% da população reside em áreas urbanas, a evolução populacional experimentada a partir da década de 1960 acarretou sérios impactos na qualidade dos corpos d'água, sendo que muitos rios, principalmente os situados nas Regiões Metropolitanas, atingiram uma situação de completa deterioração. (TUCCI, 2002)

No que se refere à presença de fosfatos, é importante ressaltar que se trata de um nutriente que possui utilização bastante difundida nas atividades urbanas desenvolvidas pelo homem, além de estar presente na própria matéria orgânica que é excretada.

É utilizado como componente em inúmeros produtos industrializados de uso doméstico sendo que, em áreas mais industrializadas, está presente nos efluentes de diversas linhas de produção, seja como subproduto de processos industriais ou devido à atividade de limpeza de ferramentas e áreas, no caso, em decorrência do emprego de detergentes.

3.4.2.1. Efluentes industriais

Efluentes industriais são oriundos dos despejos gerados a partir da utilização da água nos processos produtivos, o que faz com que cada esgoto adquira características próprias em função do processo empregado.

Para as empresas operadoras de serviços de saneamento básico, os efluentes industriais são comumente denominados de Efluentes Não Domésticos, caracterizando-os como aqueles originados em processos que promovam a produção de esgotos com características físicas, químicas e biológicas diferentes dos efluentes domésticos e que possam causar algum tipo de dano ao sistema público de esgotos, à

segurança e saúde dos operadores e ao meio ambiente. (PAGANINI, 2007)

Numa indústria, a utilização de compostos fosforados pode estar relacionada com a necessidade da matéria-prima básica a ser empregada na composição e processamento do produto, em diversos graus de purificação, ou com o desempenho do processo produtivo em si.

Neste último caso, cita-se que os polifosfatos são largamente utilizados para minimizar ou evitar problemas com incrustações em caldeiras, para reduzir as precipitações em sistemas de resfriamento e em trocadores de calor e, mais recentemente, em fábricas de dessalinização. No entanto, a sua presença nesse tipo de efluente industrial dependerá da origem da água que está sendo utilizada no processo. A água captada no lençol freático, por exemplo, terá menor importância que as águas superficiais ou águas de reúso, já que estas possuem um nível mais elevado do nutriente. (SOLT, 1975)

Nos efluentes oriundos do processamento de produtos, a presença de fosfato está relacionada basicamente com as atividades da indústria alimentícia, usinas de açúcar e álcool, produtos de limpeza, acabamento de metais, dentre outras.

Sua presença em efluentes industriais está relacionada, também, com o emprego de detergentes, materiais utilizados na etapa de “limpeza ou lavagem” de linhas de produção dos mais diversos ramos de atividade, como por exemplo, das indústrias têxteis e de fibras em geral, indústria de alimentos, frigoríficos e curtumes, dentre outras. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

GLENNIE et al. (2002) destacam que, no que se refere à eutrofização e deterioração da qualidade das águas superficiais, a contribuição das fontes industriais de fosfato tem sido consideradas menos importantes que a concentração urbana ou a atividade agrícola, já que o fósforo, na maioria dos processos produtivos, é considerado uma matéria-prima importante e de custo elevado, que normalmente não é descartada através dos efluentes.

a) Preparação e acabamento de metais

Na indústria de preparação e acabamento de metais, os fosfatos são largamente utilizados para eletrodeposição do cobre e do ouro, para anodização, para decapagem e para fosfatização.

A anodização, processo que tem por finalidade acelerar e controlar a formação da camada de óxido de alumínio, originando uma proteção superficial e melhorando certas propriedades dos metais, como resistência a intempéries e dureza superficial, exige grandes quantidades de ácido fosfórico e soluções com até 5% de trisódio fosfato. A decapagem e a fosfatização, relacionadas com o tratamento de metais contra a ferrugem e preparação de superfícies metálicas para pintura, são também processos industriais que utilizam grandes quantidades de fósforo. No caso da decapagem, o íon fosfato presente no ácido fosfórico utilizado converte-se progressivamente em sal, podendo ser descartado com o ácido remanescente do processo. (DEVEY e HARKNESS, 1975; SOLT, 1975)

DEVEY e HARKNESS (1975) salientam que a quantidade de fosfato utilizada e lançada pelas indústrias de finalização de metais não é considerada capaz de aumentar de forma expressiva as concentrações de fósforo nos efluentes, já que os fosfatos presentes nos efluentes dessas indústrias encontram-se sempre em quantidades muito menores que a de outros íons.

SOLT (1975) acrescenta que, como na maioria dos casos esses íons que se encontram em maior quantidade serão removidos em um sistema de tratamento de efluentes, também o fósforo é removido.

Os principais constituintes dos efluentes de indústrias de acabamento de metais são os cianetos, cujo teor pode atingir 20 ou 30 mg/L nos resíduos alcalinos, o cromo hexavalente, com teores de até 2000 mg/L e o cromo trivalente, com 30 a 60 mg/L. Pode-se citar também, a presença de cobre, ferro, níquel e zinco. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

O volume e a concentração dos despejos são bastante variáveis, de acordo com a quantidade de água utilizada na lavagem e com o processo executado. As

características dos efluentes originados na eletrodeposição e decapagem são bastante variáveis, pois geralmente a lavagem é feita em tanques com renovação hídrica contínua, não havendo informações exatas sobre a quantidade de água utilizada.

Usinas para extração de ferro e aço utilizam grandes quantidades de lubrificantes, sendo que a graxa e outros agregados são retirados por processos contínuos de lavagem por sistemas de duchas. Deste modo, o volume dos despejos é bastante elevado, com grandes quantidades de detergentes e hidrocarbonetos usados nas lavagens. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

b) Laticínios

O fósforo está presente nos despejos dos diversos produtos fabricados em laticínios, como leite, queijo, iogurte, leite condensado, leite em pó e outros derivados, em concentrações bastante elevadas.

A concentração de fósforo nesses produtos pode chegar a até 0,2% do peso total; no caso do leite condensado, por exemplo, a quantidade de fósforo presente em 100 g do produto é de 205 mg. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

Na Tabela 11, a seguir, encontra-se descrita a quantidade média de fósforo presente em cada 100 g de produtos fabricados em laticínios.

Tabela 11: Quantidade média de P presente no leite e seus derivados, em 100 g de produto.

Produto	P (mg)
Creme Grosso	59
Iogurte	112
Leite com Chocolate	94
Leite Condensado	205
Leite Desnatado	95
Leite Integral	93
Manteiga Batida	95
Requeijão	76
Soro Fresco	53
Sorvete	115

Fonte: Adaptado de BRAILE e CAVALCANTI, 1979.

Os detergentes utilizados na limpeza de linhas e equipamentos em um laticínio são citados também como uma fonte significativa de fósforo.

Porém, tanto a contribuição pelos detergentes como dos próprios produtos industrializados nos laticínios apresentam grandes variações entre as diferentes indústrias, sendo necessária uma avaliação individualizada para dimensionamento exato das condições de operação. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

c) Matadouros e frigoríficos

Em matadouros e frigoríficos, de uma forma geral, os despejos têm origem no processo de abate, evisceração, esquartejamento e lavagem.

Os resíduos possuem valores altos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), sólidos em suspensão, material flotável e graxas; contém sangue, pedaços de carne, gorduras, entranhas e vísceras. Todo o processo de abate e lavagem exige grandes quantidades de água; para o abate de bovinos necessita-se de cerca de 2500 litros de água por cabeça, para suínos, essa quantidade é de 1200 litros por cabeça e para aves, de 25 a 50 litros por cabeça. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

Devido às condições dos despejos, sua caracterização é considerada bastante complexa. No entanto, a elevada taxa de matéria orgânica lançada permite inferir que quantidades expressivas de nutrientes podem ser carreadas.

d) Usinas de açúcar e álcool

De acordo com BRAILE e CAVALCANTI (1979), nas usinas de açúcar e álcool os principais resíduos líquidos resultantes do processo de fabricação podem ter várias origens, conforme abaixo:

- Água de lavagem da cana-de-açúcar;

- Água condensada dos evaporadores;
- Água das colunas barométricas;
- Restilo ou vinhaça;
- Água de lavagem dos pisos e equipamentos;
- Água de refrigeração;
- Água de descarga de caldeiras.

No que se refere ao fosfato, as altas concentrações são identificadas na vinhaça ou restilo. A vinhaça corresponde ao resíduo da destilação do vinho, líquido que dá origem ao álcool etílico, a partir da fermentação do melaço e do caldo de cana. A vinhaça de melaço pode conter uma concentração média de fósforo de até 0,011% e a de caldo de cana, de até 0,007%, ressaltando-se que essas concentrações, bem como dos diversos componentes da vinhaça, são bastante variáveis, podendo ser alteradas de acordo com as características regionais e condições da safra. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

Outros nutrientes estão presentes também na vinhaça, como carbono, nitrogênio, cálcio, magnésio e potássio, além de sulfato e demais materiais orgânicos, o que faz com que a vinhaça seja largamente utilizada como condicionador de solo, principalmente na própria cultura da cana-de-açúcar.

A aplicação de vinhaça no solo, enquanto material rico em nutrientes, deve levar em conta principalmente o volume a ser utilizado, uma vez que a incorporação de altas quantidades de nutrientes pelo solo pode favorecer suas perdas por lixiviação. Nesse aspecto, para substituição de 0,4 kg de fertilizante superfosfatado triplo, por exemplo, recomenda-se a utilização de 1 m³ de mosto de melaço ou de caldo. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

Nos efluentes dessas usinas, a presença de nutrientes, especialmente de fosfatos, relaciona-se também, de forma bastante significativa, com a utilização da água de lavagem da cana-de-açúcar e da água de lavagem de pisos e equipamentos. Assim, a presença de fósforo está relacionada, além do material orgânico, com a utilização de detergentes no processo de limpeza.

e) Cervejarias

Em cervejarias, a maioria dos resíduos líquidos tem origem em máquinas de lavar garrafas, dornas de fermentação e centrífugas, na lavagem dos panos do filtro prensa e nas descargas das máquinas de pasteurização. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

Outros resíduos também são identificados, como bagaço de cevada e lúpulo, resultantes do processo de cozimento, proteínas, leveduras, ácidos e gorduras, oriundas da lavagem dos tanques e fundo das cubas pertencentes aos processos de fermentação, decantação e maturação. São encontrados ainda, no processo de filtração e engarrafamento, restos de papéis dos rótulos de garrafa, fermento decantado ou centrifugado e pequenas quantidades da cerveja proveniente do fermento rejeitado e das garrafas que se quebraram durante a pasteurização. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

A complexidade das transformações ocorridas nos estágios relativos à fabricação da cerveja e a natureza diversa das matérias-primas utilizadas, promove a formação de efluentes de natureza química e microbiológica bastante variada entre as diferentes indústrias. As águas residuárias de cervejarias contém grandes quantidades de matéria orgânica e nutrientes, o que permite também a sua aplicação como condicionador de solo, alimento e medicamento.

Entretanto, a recuperação dos grãos de cevada, do lúpulo e do fermento presentes nos efluentes industriais de uma cervejaria, torna-se viável somente em instalações de grande porte, onde o volume dos despejos é grande o suficiente para viabilizar economicamente o processo e para reduzir de forma significativa o impacto do lançamento das concentrações desses produtos no sistema de esgotos. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

f) Curtumes

As águas residuárias de um curtume são compostas, de forma resumida, por cal e

sulfetos livres, cromo potencialmente tóxico, matéria orgânica, composta por sangue, soro, produtos de decomposição de proteínas e sólidos em suspensão, que corresponde aos pelos, graxas, fibras, proteínas e outros resíduos. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

Cerca de 65% do volume dos despejos de um curtume advém das operações relacionadas com o preparo da pele, denominadas operações de ribeira, tais como lavagem, depilagem, amolecimento, descarnagem, maceração e piquelagem. Esses processos apresentam como principais resíduos, os materiais orgânicos de refugo da descarnagem, além de sebo, gelatina e cola. Outros 35% são oriundos do processo de curtimento e lavagem final.

Em relação à DBO, cerca de 40% é devida às operações de ribeira e 60% ao curtimento do couro. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

Os resíduos líquidos e sólidos dos curtumes, devido à elevada DBO e presença de metais pesados, podem causar grandes impactos ao meio ambiente, requerendo um tratamento em grau elevado. Muitos dos dejetos de um curtume podem ser recuperados, frequentemente com vantagem econômica, como é o caso das aparas e carnaças que são utilizadas para extração de gordura e fabricação de sabão, para transformação em produtos comestíveis, como gelatinas e tripas artificiais para salsicharia, ração protéica e fabricação de cola industrial.

O lodo oriundo do processo de caleação, onde se promove a retirada dos pelos e da epiderme, é comumente misturado a outros resíduos sólidos do curtume e comercializado como condicionador de solo. A utilização desse tipo de material para adubação de hortas é restrita pela legislação sanitária brasileira. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

Grandes quantidades de colóides e detergentes também fazem parte dos efluentes de um curtume, visto que esses materiais são utilizados no processo de lavagem.

g) Indústrias químicas inorgânicas

BRAILE e CAVALCANTI (1979) classificam as indústrias químicas inorgânicas da seguinte forma:

- Álcalis e cloro – Indústrias que fabricam cloro, carbonato de sódio, hidróxido de sódio, hidróxido de potássio e bicarbonato de sódio.
- Gases industriais – Compreende os produtos acetileno, dióxido de carbono, argônio, hélio, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio e óxidos nitrosos.
- Pigmentos inorgânicos – Pigmentos à base de titânio, chumbo, sulfeto de zinco, óxido de zinco, cromo, óxido de ferro e citargírio.
- Produtos químicos não citados anteriormente – Incluem-se os sais de sódio, potássio, alumínio, cálcio, magnésio, níquel, estanho, compostos inorgânicos, compostos de amônia, bromo, iodo, fósforo e metais alcalinos.

Assim, os efluentes das indústrias químicas inorgânicas são variáveis qualitativa e quantitativamente de acordo com o tipo de produto fabricado.

De modo geral, os efluentes das indústrias químicas contêm teores bastante variáveis de sólidos em suspensão e em solução, contendo álcalis, ácidos, sais tóxicos e outros elementos que podem causar problemas de poluição, como fluoretos, fosfatos, sulfatos, solventes orgânicos, graxas, óleos, metais e água quente ou vapor.

No processamento da rocha fosfática, os efluentes incluem escória dos fornos elétricos, poeira carregada com os gases da exaustão e águas fosforosas. Como solução de tratamento, o fósforo contido nos efluentes líquidos são recuperados para reutilização e recirculação, cujo teor pode chegar a 0,05 mg/L. A quantidade remanescente é sedimentada e encaminhada para aterro sanitário; enterrar fósforo tem sido um procedimento bastante utilizado. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

Na Tabela 12, a seguir, encontram-se descritos os valores característicos de fósforo presente nos efluentes oriundos do processamento da rocha, por tonelada de produto, e o tipo de tratamento de efluente utilizado.

Tabela 12: Média de fósforo presente em um efluente típico de indústria para processamento da rocha fosfática, por tonelada de produto, e tipo de tratamento utilizado.

Produto	Qtdade (kg/ton)	Tratamento
Fósforo	5,4	Sedimentação - Aterro Sanitário
Fosfatos solúveis	4,9	Tratamento com cal, sedimentação, recirculação de água
Fluoretos	3,6	Tratamento com cal, sedimentação, recirculação de água
Fosfatos sólidos	52,0	Coleta a seco e reutilização

Fonte: Adaptado de BRAILE e CAVALCANTI, 1979.

A fabricação de ácido fosfórico apresenta como efluente o trióxido de arsênio (As_2O_3), cujo tratamento é efetuado em torres de lavagem.

h) Indústria petroquímica

A indústria petrolífera possui como divisões principais a produção, o transporte, o refino e a comercialização. A indústria petroquímica é considerada um segmento da indústria de produtos químicos inorgânicos, no qual o petróleo é utilizado como matéria-prima básica. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

A presença do fósforo na indústria petroquímica está relacionada principalmente com a polimerização e a alquilação, onde o ácido fosfórico é utilizado como catalisador. Relaciona-se também com outros processos diversos, como purgas da caldeira, que visa melhorar a eficiência térmica do sistema através da remoção da sílica depositada nas paredes por meio de injeção química de fosfato, e purgas do sistema de resfriamento.

A quantidade de fosfato em efluente da indústria petroquímica pode variar bastante em relação ao produto manufaturado. No caso da fabricação do náilon, a concentração de PO_4 pode chegar a 78 mg/L e, em relação à borracha sintética, a concentração fica na faixa de 19 a 22 mg/L. As concentrações de fosfato nos efluentes de alguns tipos de produtos manufaturados em uma indústria petroquímica podem ser visualizadas na Tabela 13.

Tabela 13: Concentração de fosfato em efluentes da indústria petroquímica, de acordo com diferentes produtos manufaturados.

Produto	PO₄ (mg/L)
Fabricação de náilon	5 - 78
Borracha sintética	19 - 22
Butadieno	38
Hidrocarbonetos clorados	-
Olefinas	10

Fonte: Adaptado de BRAILE e CAVALCANTI, 1979.

i) Indústria farmacêutica

Os efluentes da indústria farmacêutica são considerados despejos modestos e de fácil tratamento, dependendo do tipo de produto fabricado e da quantidade produzida.

De acordo com BRAILE e CAVALCANTI (1979), os efluentes de uma indústria farmacêutica podem ser denominados de “esgoto limpo”, uma vez que o problema não decorre do lançamento da matéria orgânica. O problema relaciona-se com o fato de que as substâncias presentes podem causar impactos no meio ambiente mesmo em pequenas quantidades, como é o caso dos hormônios esteróides e dos antibióticos.

A principal forma de geração de efluentes na fabricação de especialidades farmacêuticas, englobando desde a pesagem da matéria-prima até o acondicionamento do produto, surge basicamente das ações de limpeza:

- Lavagem e limpeza dos tanques misturadores;
- Lavagem da área de fabricação;
- Lavagem das áreas de pesagem e;
- Lavagem e limpeza das máquinas em geral.

Como na indústria farmacêutica o fósforo é utilizado como matéria-prima necessária à fabricação de diversos medicamentos e portanto, incorporado ao produto final, sua presença nos efluentes está relacionada com a utilização de detergentes sintéticos nos processos de limpeza e lavagem.

j) Indústria de produtos de limpeza e detergentes

Em indústrias de detergentes, o fósforo é bastante utilizado como aditivo, face a sua atuação no abrandamento de águas duras.

Em muitos países, fosfatos tem sido substituído por outras alternativas consideradas ambientalmente mais adequadas, como as zeólitas, uma vez que a presença em excesso nas águas superficiais está relacionada com o aumento da fertilização e a ocorrência de processos de eutrofização. Nas indústrias que ainda utilizam fosfatos, a concentração nos efluentes líquidos pode atingir cerca de 2000 mg/L do princípio ativo. Na grande maioria das indústrias, os fosfatos contidos nos detergentes são também detectados nos efluentes devido à sua utilização para limpeza em diversas etapas do processo produtivo. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

Os despejos contendo detergentes sintéticos causam importantes problemas no tratamento, principalmente em sistemas aerados, devido à formação de espumas provocada pela turbulência.

k) Indústrias de conservas alimentícias

Os fosfatos são utilizados em indústrias de conservas alimentícias com funções diversas, como para melhorar o valor nutritivo, controlar alterações de pH e contribuir com a preservação, emulsificação, estabilização e fermentação do alimento.

Os despejos das indústrias de conservas alimentícias são formados principalmente pela água resultante do processo de produção, pelos materiais resultantes da lavagem da matéria-prima, pela limpeza dos equipamentos e do solo. O processo bastante difundido, que já vem sendo utilizado em indústrias do segmento de conservas alimentícias desde a década de 1940 para tratamento dos seus efluentes, é a disposição no solo, principalmente através de irrigação ou escoamento, devido à presença de matéria orgânica e nutrientes. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

Além de efetuar o tratamento, a matéria orgânica e os nutrientes presentes nesse tipo de efluente podem ser disponibilizados para utilização no sistema solo-planta.

3.4.2.2. Esgotos domésticos

Nos esgotos domésticos, o fósforo aparece na forma de compostos orgânicos, como por exemplo, as proteínas, e em compostos minerais, principalmente polifosfatos e ortofosfatos, que tem origem em produtos sintetizados. Os polifosfatos representam, principalmente, os despejos com detergentes sintéticos.

Isto porque, além de sua origem orgânica, através do material fecal, rico em proteínas, o elemento químico fósforo tem aplicação bastante difundida como matéria-prima de diversos produtos industrializados que são consumidos ou utilizados domesticamente pelo homem, desde produtos farmacêuticos, até gêneros alimentícios e produtos de limpeza. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979; JORDÃO e PESSÔA, 1995; PIVELI e KATTO, 2005; FOSBRASIL, 2008)

Os esgotos domésticos possuem concentração de fósforo da ordem de 4 a 50 mg/L, a partir de uma produção diária de 1 a 3 g por pessoa. No Brasil, a contribuição per capita diária de fósforo nos esgotos domésticos é de 0,7 a 2,5 g e a concentração típica desse nutriente situa-se na faixa de 4 a 15 mg/L, sendo que a fração orgânica fica compreendida entre 1 a 6 mg/L e a fração inorgânica, de 3 a 9 mg/L. (METCALF e EDDY, 2003; VON SPERLING, 2005)

Considera-se que os esgotos domésticos sejam um dos principais fatores responsáveis pelo aumento nas concentrações de fosfato nos corpos d'água; em áreas bastante urbanizadas e com maiores densidades demográficas, é sensível o aumento das cargas de fósforo total nos corpos d'água. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979; JORDÃO e PESSÔA, 1995; PIVELI e KATTO, 2005; VON SPERLING, 2005)

ROCHA e BRANCO (1986), citando Sawyer (1944) ressaltam que na cidade de

Madison, nos Estados Unidos, os efluentes da Estação de Tratamento de Esgotos existente eram responsáveis por 88% do fósforo solúvel presente nas águas do Lago Wambesa.

De acordo com JACK (2008), dados da *Environmental Protection Agency* (EPA) indicam que nas áreas mais populosas da Europa cerca de 50 a 76% do fósforo nas águas tem origem nos esgotos domésticos.

No Reservatório Billings, estudos efetuados por OLIVEIRA DE JESUS (2006), revelaram que cerca de 73% da carga de fósforo total tem origem nas áreas com densidade populacional acima de 100 hab/ha. Nesse local, as regiões onde as cargas de fósforo são menores que 1 mg/L correspondem àquelas em que o número de habitantes é bastante reduzido e, até, inexistente. As contribuições aumentam de forma expressiva nos locais onde a ocupação populacional é mais intensa. Tal situação pode ser visualizada na Figura 15.

Figura 15: Cargas de fósforo total no Reservatório Billings, em kg/dia/km², e ocupação urbana.
Fonte: OLIVEIRA DE JESUS, 2006; SSE, 2008.

Na Figura 16, uma imagem aérea da área da Represa Billings demonstra o nível ocupação das margens da represa e o elevado grau de eutrofização das águas, inclusive indicando locais com intensas florações de algas.

Figura 16: Ocupação urbana das margens do Reservatório Billings e eutrofização.
Fonte: SSE, 2008.

A partir dessas questões, a situação da ocupação territorial e urbana da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), particularmente, demonstra ser preocupante.

Com uma população atualmente estimada em 20 milhões de habitantes, as previsões de crescimento elaboradas para o período de 2000 a 2025 estabelecem que as áreas que possuem uma densidade populacional maior que 2000 hab/ha, que é o caso dos municípios de São Paulo, Guarulhos, São Caetano do Sul, Santo André, por exemplo, apresentam uma tendência de crescimento negativa, enquanto as áreas periféricas, que hoje possuem relativamente menor densidade populacional, de até 500 hab/ha, apresentam um crescimento populacional estimado em até 5% ao ano, como é o caso dos municípios de Biritiba-Mirim, Salesópolis e Juquitiba. (SSE, 2008)

Assim, enquanto na RMSP como um todo o crescimento populacional está estimado em 1,6% ao ano, nas áreas de mananciais esse valor poderá atingir 4% ao ano.

O comparativo entre os atuais níveis de densidade populacional dos diferentes municípios que compõem a RMSP e a taxa de crescimento prevista até o ano de 2025 pode ser observada na Figura 17.

Figura 17: Densidade populacional e taxa de crescimento projetada para a RMSP.
 Fonte: FUNDAÇÃO SEADE, 2007; SSE, 2008.

Tal situação deverá afetar diretamente as condições de qualidade dos corpos d'água e contribuir para um aumento nos níveis de eutrofização.

Assim, se o crescimento populacional projetado não for acompanhado das medidas sanitárias e ambientais adequadas, deverão ser ampliados os impactos sobre a qualidade das águas, com sérios prejuízos à qualidade de vida, à saúde pública e ao meio ambiente.

3.4.3. Produtos de Uso Doméstico que contém Fósforo

No decorrer do século XX, a Europa liderou as pesquisas sobre a ciência da utilização do fósforo, apesar das descobertas mais importantes em relação à

utilização do nutriente terem ocorrido principalmente nos Estados Unidos e na antiga União Soviética.

A expansão dos conhecimentos sobre a química do fósforo ocorreu de forma paralela ao aumento das descobertas relativas aos campos de aplicação dos fosfatos, nas mais diversas atividades, principalmente em produtos utilizados domesticamente pelo homem. Com a evolução da indústria de conservas alimentícias, de produtos de limpeza e de bebidas, bem como, pela ampliação do mercado de produtos congelados e processados industrialmente, a evolução nos níveis de aplicação de fosfatos torna-se ainda mais importante.

Atualmente, os campos de utilização de fosfatos incluem: pastas de dente, detergentes e saponáceos, materiais elétricos, medicamentos, óleos lubrificantes, pesticidas, pigmentos, plásticos, alimentos congelados e embutidos, doces, massas, refrigerantes, sucos, geléias, bolos, fermentos e manteiga, dentre muitos outros. (DUTHIE, 1972; CORBRIDGE, et al., 1990; FOSBRASIL, 2008)

Nesses campos, o fósforo é bastante utilizado na forma de ácido fosfórico, sendo que os compostos inorgânicos como ortofosfatos e polifosfatos se destacam como os mais importantes. Os compostos orgânicos tornaram-se importantes desde meados dos anos 1940, com início de sua aplicação em plásticos e inseticidas, no entanto, essa utilização representa hoje menos de 5% dos produtos manufaturados à base de fósforo. Dentre os produtos de uso doméstico que contém fosfato inorgânico, os detergentes são os que correspondem à maior aplicação, seguido pelos alimentos. (CORBRIDGE, 1990)

3.4.3.1. Alimentos

Fosfatos estão presentes na maioria dos alimentos naturais, especialmente em carnes, leite, frutas e cereais.

A adição de fosfato nos alimentos processados industrialmente tem como principais objetivos promover um aumento no valor nutritivo, controlar a alteração de pH, promover a complexação de alguns íons de metais indesejáveis e contribuir com a preservação, emulsificação, estabilização e fermentação dos alimentos.

São utilizados, assim, como acidulantes, estabilizantes, reguladores de acidez, melhoradores de alimentos, agentes de firmeza, antiumectantes e antiaglutinantes, em diferentes concentrações, de acordo com cada finalidade. No caso de carnes defumadas, a adição de fosfatos pode ser utilizada, ainda, para inibir a formação de elementos carcinogênicos, as nitrosaminas, substância derivada dos nitritos. (CORBRIDGE, 1990; ANVISA, 2001a; ANVISA, 2001b)

Na preparação de manteigas, a adição de ácido fosfórico auxilia na estabilização do produto, sendo utilizado com peróxido de hidrogênio para remover óleos e gorduras. Nas carnes vermelhas e peixes, os fosfatos, principalmente nas formas de ortofosfato, pirofosfatos e polifosfatos, são utilizados como aditivos, num percentual de cerca de 0,5%, para melhorar a emulsificação e reduzir as perdas de nutrientes durante o cozimento, aumentando a maciez, a suculência e a estabilidade. Atua ainda, na melhoria da coloração do produto.

Em frutas e vegetais, que já contém naturalmente cerca de 2% de H_2PO_4 , é comum adicionar-se cerca de 0,1 a 0,2% de polifosfato de sódio para estabilização da cor e firmeza, principalmente de morangos, tomates, cerejas, dentre outros. No caso de enlatados ou alimentos congelados, fosfatos auxiliam a manter a coloração verde dos mais diversos vegetais e, em soluções de feijão e ervilha, auxiliam na redução do tempo de cozimento do produto.

Em bebidas, o ácido fosfórico é utilizado para fornecer acidez, sendo um composto mais barato que ácido cítrico ou ácido tartárico. Refrigerantes à base de cola, com pH entre 2,3 a 2,5, contém cerca de 0,05% de H_3PO_4 em relação ao peso do produto.

Na produção de bebidas alcoólicas, fosfatos são utilizados em larga escala devido a sua capacidade de formar complexos estáveis com ferro, cobre e cálcio e outros íons que precisam ser removidos. Auxilia na fermentação de vinhos e cervejas, prevenindo a turbidez e convertendo enzimas em etanol e dióxido de carbono. A

quantidade de fósforo presente em cervejas é de 0,5 g/L e, em vinhos, é de 0,2 a 1 g/L. (CORBRIDGE, 1990)

Em cereais, farinhas e pães, o fósforo atua não somente para melhoria de suas características nutricionais, mas também para auxílio no controle do pH e da ação de fermentação. Fosfatos de sódio e fosfatos de cálcio são componentes indispensáveis como fermentos para pães, farinhas, bolos e para os próprios fermentos em si. A mistura desses fosfatos com bicarbonato de sódio libera dióxido de carbono e água, o que torna a textura dos produtos mais suaves.

Atuam também nas interações com as proteínas presentes no alimento, oferecendo-lhe maior elasticidade e viscosidade. A adição de fosfatos de cálcio nas farinhas auxilia na absorção de água e nas propriedades de cozimento; em temperaturas úmidas e quentes, esses compostos retardam o desenvolvimento de bactérias nos pães. Fosfatos podem ser aplicados, também, para melhorar as propriedades de gelatinas, geléias, sobremesas cremosas e sorvetes. (CORBRIDGE, 1990)

No Brasil, as concentrações e limites de fósforo a serem utilizadas nos alimentos processados, conforme sua função, são estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Essas concentrações, bem como as funções estipuladas para o fosfato em cada tipo de alimento, estão descritas na Tabela 14, a seguir.

Tabela 14: Concentrações de fosfato nos produtos alimentícios processados industrialmente no Brasil e respectivas funções.

Produto	Funções	Limite Máximo (% como P ₂ O ₅)
Comidas Industrializadas - Congeladas ou Não	Acidulante Estabilizante Regulador de Acidez Antiumectante	3 a 10%
Aimentos a Base de Cereais	Antiumectante/Antiaglutinante Estabilizante	5%
Farinhas de Trigo	Antiumectante/Antiaglutinante Melhorador Acidulante Regulador de Acidez Fermento Químico	2,5 a 20%
Farinhas de Cereais	Antiumectante/Antiaglutinante	2,5%
Massas Alimentícias / Massas para Pizza	Estabilizante Melhorador	2 a 2,5%
Alimentos Congelados	Regulador de Acidez Agente de Firmeza Antiumectante/Antiaglutinante	2 a 10%
Pescados Congelados	Umectante	5%
Produtos Cárneos	Umectante	0,05%
Produtos Frescais Embutidos ou Não	Umectante	0,05%
Produtos Secos, Curados, Maturados Embutidos ou Não	Umectante	0,05%
Produtos Salgados Crus	Umectante	0,05%
Produtos Salgados Cozidos	Umectante	0,05%
Conservas Cárneas, Mistas e Semconsevas Cárneas	Umectante	0,05%
Bebidas Não Alcoólicas	Acidulante Regulador de Acidez Sequestrante Antiumectante/Antiaglutinante	0,07%
Pães	Acidulante Regulador de Acidez Melhorador Fermento Químico	0,15 a 2%
Biscoitos	Acidulante Regulador de Acidez Melhorador Fermento Químico Antiumectante/Antiaglutinante	0,15 a 2,5%
Bolos e Doces	Acidulante Regulador de Acidez Melhorador Fermento Químico Antiumectante/Antiaglutinante	0,15 a 2%

Fonte: ANVISA, 2001a; ANVISA, 2001b; ANVISA, 2007a; ANVISA, 2007b; ANVISA, 2007c.

3.4.3.2. Medicamentos

Algumas formas de fosfato inorgânico têm sido utilizadas para fins medicinais, como para fabricação de antiácidos estomacais, tônicos fortificantes, antioxidantes, diuréticos, laxantes, bem como para prevenção de cálculos renais e para o tratamento de hipercalcemia, ou seja, elevado nível de cálcio no sangue. (CORBRIDGE, 1990)

As ciclofosfamidas, que também são formas inorgânicas de fósforo, são utilizadas como antineoplásicos e imunossupressores no tratamento quimioterápico de leucemia e linfoma, bem como no tratamento de micoses fungóides e na profilaxia de rejeição no transplante de órgãos como rins, coração e fígado.

As formas orgânicas de fósforo para uso farmacêutico ou medicinal são bastante variadas, sendo que a grande maioria contém nitrogênio. Estão relacionadas com a fabricação de anti-artríticos, anti-reumáticos e antibióticos, voltados para o tratamento de infecção urinária, de câncer de próstata e de glaucoma. Relaciona-se também, com o tratamento e combate de alguns tipos de vírus, como os causadores da hanseníase. (CORBRIDGE, 1990)

Na forma de fosfolípídeos, como a fosfatidilcolina, tem função no tratamento de alterações hepáticas, como hepatite, doenças cardiovasculares e arteriosclerose. Também, tem sido bastante utilizado esteticamente na redução de gorduras localizadas, por sua atuação na liberação da gordura intracelular.

3.4.3.3. Produtos de Higiene Pessoal e Limpeza

Fosfatos são aplicados em detergentes líquidos, principalmente na forma de pirofosfatos, em detergentes em pó e saponáceos, em detergentes especiais, utilizados, por exemplo, na limpeza de carpetes e radiadores de carros, em alvejantes e branqueadores de roupas e em produtos de higiene pessoal, como espumas de barbear, pastas de dente e cosméticos diversos. São utilizados, também, em produtos comerciais para remoção e prevenção de ferrugem de metais e para remoção de graxas. (CORBRIDGE, 1990)

Em pastas de dente, a utilização do fósforo data da década de 1940, sendo aplicado como agente abrasivo, polidor e agente anti-cárie.

A utilização em detergentes em pó é a principal utilização doméstica de fosfatos,

correspondendo à segunda principal utilização dos derivados de fósforo, sendo precedido apenas pelos fertilizantes. (CORBRIDGE, 1990)

Nesses produtos, a forma mais importante de fósforo é a de tripolifosfato de sódio (STPP), que possui algumas características e vantagens técnicas e econômicas que merecem ser destacadas: não apresenta toxicidade, protege as cores das roupas de todos os tipos, não é inflamável nem corrosivo, não afetando o funcionamento das máquinas de lavar.

Apesar de ser removido em sistemas de tratamento de esgotos, esse processo é considerado complexo e oneroso, exigindo elevados investimentos. Pode-se citar como sua principal desvantagem, a capacidade de aumentar a produtividade biológica dos corpos d'água, acelerando os processos de eutrofização.

3.5. Fósforo nos Detergentes e Saponáceos

Detergentes ou surfactantes, por definição, são todos os produtos cuja finalidade é remover gorduras e graxas com eficiência.

Os primeiros detergentes inventados pelo homem foram os sabões. Há registros históricos da utilização de sabões desde antes da era cristã, porém sua utilização difundida como produto para limpeza e banho data do início do século XIX, a partir do reconhecimento da existência de microorganismos patogênicos e da importância da manutenção da higiene e limpeza para evitar sua proliferação.

A saponificação é um processo resultante da hidrólise de uma gordura por um álcali, sendo que os diversos tipos de sabões estão relacionados com o álcali utilizado na sua fabricação. Os sais de sódio de ácido graxos, ou sabões duros, encontram-se na maioria dos sabões em pedra para uso doméstico. Os sais de potássio, ou sabões moles, são usados em sabonetes, cremes de barbear e sabões líquidos. Os de lítio, devido ao maior caráter covalente, são adicionados a lubrificantes e graxas para motores com a finalidade de torná-los mais espessos, formando os “óleos detergentes”. (OSÓRIO e OLIVEIRA, 2001; SDA, 2008)

Os detergentes sintéticos surgiram durante a Primeira Guerra Mundial como uma solução tecnológica para alguns problemas apresentados pelos sabões nas lavagens em águas ácidas, como da indústria têxtil, por exemplo, ou em águas duras.

A produção de detergentes em larga escala, para uso doméstico, teve início nos Estados Unidos após a Segunda Guerra Mundial, estimulada pela escassez de óleos e gorduras e pela necessidade militar de agentes de limpeza que atuassem em água do mar, rica em sais minerais. (OSÓRIO e OLIVEIRA, 2001)

Surgiram assim, os detergentes derivados do petróleo, os alquilbenzenossulfonados ou ABS. Com custos bastante reduzidos, foram consumidos em larga escala, até que, na década de 1960, face aos problemas ambientais decorrentes das intensas formações de espuma, produtores de detergentes dos Estados Unidos e da Europa

concordaram em modificar suas formulações, substituindo-os pelos detergentes biodegradáveis. (OSÓRIO e OLIVEIRA, 2001)

Esses detergentes, denominados LAS, apresentam uma cadeia alquílica linear, os alquilsulfonados lineares, moléculas que são degradadas por microorganismos aeróbicos como a *Escherichia coli*.

De acordo com BRAILE e CAVALCANTI (1979), o consumo de detergentes sintéticos se expande de forma considerável. Os principais motivos para substituição dos sabões pelos detergentes residem no fato de que o sabão, sal de base forte, formado por ação de ácido graxo, é insolúvel na água e não pode ser utilizado em processos de limpeza cujo pH esteja muito abaixo de 8. Além disso, o sabão é incapaz de atuar em águas duras, somente produzindo espuma e exercendo a função de limpeza com o abrandamento da água. São 3 os tipos de detergentes conhecidos:

- **Aniônicos** – O radical orgânico tem carga negativa. Fazem parte desse grupo os sabões comuns e produtos sintéticos semelhantes ao sabão, como os álcoois sulfatados, os ABS e os LAS. A maioria dos detergentes sintéticos utilizados, cerca de 80%, pertencem à família dos aniônicos.
- **Catiônicos** – O radical orgânico possui carga positiva. São dotados de poder bactericida, tendo larga aplicação como desinfetantes em processo médico-cirúrgicos.
- **Não iônicos** – Não se ionizam na água e por formarem menor quantidade de espuma, tem menor aceitação comercial.

Se no passado o grau de desenvolvimento de uma nação era medida pela quantidade de ácido sulfúrico consumida, BRAILE e CAVALCANTI (1979) destacam que na atualidade essa comparação poderia ser atribuída aos detergentes.

Os detergentes domésticos são, geralmente, os mais difíceis de serem degradados. Justifica-se tal fato devido à concorrência de mercado, já que cada fabricante procura lançar o produto pelo menor preço e os não-biodegradáveis são os que possuem custo

mais reduzido. (GLENNIE et al., 2002)

CORBRIDGE (1990) destaca que, para uso doméstico, os detergentes e saponáceos podem ser classificados de acordo com a sua finalidade, em quatro áreas:

- Utilização em máquinas de lavar louças;
- Utilização em máquinas de lavar roupas;
- Limpeza de superfícies, como piso, parede e etc;
- Limpeza geral.

Os detergentes resultam da mistura de diversos componentes, sendo que o surfactante, ou agente tensoativo, é considerado o elemento mais importante, responsável pela limpeza propriamente dita em substituição ao sabão.

No caso dos detergentes em pó, apesar do agente tensoativo ser o componente responsável pela efetividade da ação proposta pelo produto, ele não é o mais abundante. Cerca de 10 a 32% do peso em massa do detergente corresponde ao agente surfactante, sendo o restante composto por outros compostos inorgânicos com funções diversas. De 10 a 35% é composto por sulfonato de sódio, que atua como carga, promovendo um aumento no volume do produto final e facilitando o escoamento do pó. Substâncias alcalinas são acrescentadas para auxílio na remoção de gorduras e substâncias oleosas; no caso do carbonato de sódio, podem ser utilizados teores de até 60%; no caso do silicato de sódio, são aplicados teores de 5 a 12%. São aplicados também, enzimas, corantes, perfumes e branqueadores ópticos. (OSÓRIO e OLIVEIRA, 2001)

Outro componente importante é o *builder*, que atua como agente sequestrante, formando complexos estáveis e solúveis com os cátions causadores da dureza na água, como o cálcio e o magnésio. Proporciona alcalinidade à solução, facilitando a ação do agente tensoativo, auxiliando na limpeza e na formação de espumas. Grandes quantidades de *builders* são utilizadas nos detergentes em pó, principalmente nos destinados ao uso doméstico para limpeza de roupas. (GLENNIE et al., 2002)

Diversos produtos podem ser utilizados como *builders*, como as zeólitas, o ácido policarboxílico, o citrato e o ácido nitrilotriacético (NTA), no entanto, os fosfatos, principalmente na forma de tripolifosfato de sódio (STPP), são considerados os mais importantes e de uso mais difundido, podendo chegar a concentrações de até 50% do peso total do produto. (BRANCO E ROCHA, 1987; CORBRIDGE, 1990; GLENNIE et al., 2002)

Na Tabela 15, a seguir, pode-se verificar a descrição dos principais *builders* utilizados em detergentes e seus impactos.

Tabela 15: Principais *builders* utilizados em detergentes e o resumo de seus impactos.

Nome	Sigla	Resumo dos Impactos
Tripolifosfato de Sódio	STPP	Contém 25% de fósforo, que é considerado a principal causa da eutrofização das águas superficiais.
Zeólitas (A, P, X e AX)	-	Não foram totalmente dimensionados seus efeitos no meio ambiente. Aumento da quantidade do lodo do esgoto. Utilizado como <i>co-builder</i> de outros agentes, principalmente PCA's.
Ácidos Policarboxílicos	PCA's	Pouco biodegradável, precipita no lodo do esgoto. Somente usado em conjunto com zeólitas.
Citratos	-	Tem atuação mais efetiva com íons de magnésio do que de cálcio. Contribui com a carga de DBO em sistemas de tratamento de esgotos. Utilizado especialmente em detergentes líquidos.
Ácido Nitrilotriacético	NTA	Não utilizado na Europa devido a possível potencial de auxiliar na dissolução de metais pesados, fato que não foi bem fundamentado.

Fonte: GLENNIE et al., 2002.

O NTA não é correntemente utilizado na União Européia, devido a indicativos de possível toxicidade e acumulação no meio ambiente, através da dissolução de metais pesados. Esse conceito, porém, tem sido combatido e ainda não pode ser confirmado nos estudos mais recentes. (GLENNIE et al., 2002)

Todos os *builders* atualmente utilizados são combinações de diferentes componentes para auxiliar no desempenho e eficiência do detergente. Nos casos em que o *builder* é o STPP, essas combinações não ocorrem, o que reduz o preço do produto final.

No final de década de 1960, a quantidade de detergente consumida nos Estados Unidos era, em média, de 2 kg/hab/ano, sendo que os rios apresentavam 12 mg/L desse produto. Na Inglaterra, para o mesmo período, o consumo de detergentes era

da ordem de 1,8 kg/hab/ano e a concentração do produto presente nos rios era de 5 mg/L. (BRANCO e ROCHA, 1987)

No caso do Brasil, o rio Tamanduateí, afluente do Tietê, localizado na RMSP, possuía concentrações de detergente da ordem de 2,3 mg/L em meados da década de 1970. Segundo BRANCO e ROCHA (1987), no ano de 1975, foram utilizadas 33 mil toneladas de detergentes sintéticos no Brasil, o que correspondia a 0,32 kg/hab/ano. Desse total, 15 mil toneladas, ou 55% do consumo, concentrava-se no Estado de São Paulo, sendo que 40% estava restrito na RMSP e 15% nas demais localidades. Naquela época, até os dias de hoje, o *builder* utilizado é o STPP.

3.5.1. Impactos na Saúde Humana e no Meio Ambiente

Os detergentes não possuem ação tóxica acentuada, no entanto seus efeitos secundários são considerados bastante graves.

Em relação à saúde pública, as normas internacionais para utilização das águas potáveis, estabelecidas pela Organização Mundial de Saúde (OMS), em 1972, determinam que a concentração máxima desejável de detergentes nas águas seja de 0,2 mg/L, e a concentração máxima permitida de 1 mg/L, salientando que acima desse limite, podem ocorrer efeitos adversos à saúde humana, principalmente pela presença de elementos potencialmente causadores de câncer, nos casos da utilização de detergentes do tipo ABS, não biodegradáveis. (YANES, 1973)

Num sistema de tratamento de água para abastecimento público, a presença de detergentes em concentrações acima de 5 mg/L pode acarretar prejuízos ao funcionamento dos filtros, diminuindo a sua eficiência. Outros efeitos em processos de tratamento de água relacionados com a presença de detergentes podem ser citados, como interferência na coagulação e produção de sabor e odor.

YANES (1973) destaca um caso histórico relacionado com a presença de detergentes

em águas para abastecimento público, ocorrido em 1957, na cidade de Ghanute, no Kansas, Estados Unidos. Durante um período de seca que durou cerca de 5 meses as elevadas concentrações de detergente nas águas de abastecimento não produziram efeitos tóxicos, porém a intensa formação de espuma nos tanques de recarbonatação e nos filtros durante os processos de lavagem acarretaram sérios problemas operacionais.

Nos esgotos domésticos, os detergentes possuem a capacidade de destruir as células dos microorganismos, não permitindo a oxidação da matéria biodegradável. Nos rios, reduzem a taxa de adsorção de oxigênio da água, retardando o processo de autodepuração.

Nas águas, quando sua concentração atinge cerca de 1 mg/L, os prejuízos de ordem estética causados pelo uso de detergentes, decorrentes das intensas formações de espuma, são bastante conhecidos e considerados os principais problemas relacionados com a presença de detergentes.

Como exemplo, pode-se citar o caso do município de Pirapora do Bom Jesus, situado às margens do Tietê, cerca de 50 km a jusante da RMSP. A existência de corredeiras e a presença da Barragem de Pirapora, a montante do município, contribuem para a formação de espumas que chegam a apresentar camadas de até 50 cm sobre o leito do rio. Sob a ação do vento, as espumas invadem as ruas e se espalham sobre a cidade. Destacam-se nesses casos as possibilidades de contaminação biológica, uma vez que as espumas podem carregar microorganismos patogênicos. (PIVELI e KATO, 2005)

Os episódios de formação de espumas no Tietê em Pirapora do Bom Jesus, ficaram tristemente conhecidos em todo o país, tornando-se um exemplo da necessidade de preservação dos corpos d'água e estimulando intensas mobilizações sociais relacionadas ao controle da poluição ambiental. (PAGANINI, 2007)

Na Figura 18, pode-se observar um desses episódios de formação de espumas registrados no município de Pirapora de Bom Jesus. A intensidade dessas ocorrências, por vezes, podem ser visualizadas e identificadas também através de imagens de satélite, conforme Figura 19.

Figura 18: Formação de espumas no município de Pirapora do Bom Jesus.
Fonte: PAGANINI, 2007.

Figura 19: Formação de espumas no município de Pirapora do Bom Jesus – Imagem do satélite.
Fonte: PAGANINI, 2007.

PIVELI e KATO (2005) reforçam os efeitos tóxicos dos detergentes nos ecossistemas aquáticos decorrentes da biodegradabilidade. Conforme já citado anteriormente, os detergentes ABS, derivados do petróleo, foram os primeiros a serem utilizados, e face aos problemas ambientais relacionados com a biodegradabilidade foram substituídos pelos detergentes LAS, cujas moléculas que são passíveis de degradação pelos microorganismos.

No entanto, muitas localidades ainda utilizam os detergentes ABS devido ao seu custo mais reduzido.

Em relação ao meio ambiente, a questão mais importante relacionada com a presença de detergentes nas águas, tem sido os impactos decorrentes da utilização de STPP e seu potencial de aumento nos níveis de trofia das águas.

Em áreas urbanizadas e com grandes concentrações populacionais, tem-se considerado que a intensidade da utilização doméstica de detergentes que contém STPP como *builder* seja o principal responsável pelas variações dos níveis de fosfato nas águas superficiais, com o consequente aumento da eutrofização e comprometimento dos seus usos múltiplos.

3.5.2. Teor de Fosfato nos Detergentes

Os detergentes contendo fosfatos inorgânicos como *builders* foram disponibilizados para uso comercial no ano de 1946, visando promover o abrandamento das águas duras e melhorar a eficiência do produto.

Inicialmente, a forma de fósforo mais utilizada foi a de pirofosfato de sódio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) e posteriormente, a de tripolifosfato de sódio ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), ou STPP, sendo que outras formas podem também ser citadas, como o tetrafosfato de sódio ($\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$) e o hexametáfosfato de sódio (NaPO_3)₆.

Durante muitos anos, a utilização de fosfatos como aditivos nos detergentes pareceu ser uma solução adequada, em decorrência dos baixos custos, da toxicidade praticamente nula, do fato de não serem corrosivos para metais e da ausência de efeitos negativos sobre fibras e tecidos.

Na Inglaterra, DEVEY e HARKNESS (1975) destacam que no ano de 1957 o teor de STPP presente nos detergentes situava-se na faixa de 8 a 30% do peso total do produto, enquanto cerca de 10 anos depois, no ano de 1969, esse percentual teve um aumento bastante significativo, passando para a faixa de 31 a 43%. Em termos mundiais, um comparativo efetuado indica que no ano de 1969, os Estados Unidos e o Canadá eram as localidades com maiores percentuais de aplicação de STPP nos detergentes, com percentuais da ordem de 40 a 60% do peso do produto, conforme se pode visualizar na Tabela 16.

Tabela 16: Concentrações de STPP nos detergentes em diversas localidades, para o ano de 1968.

Localidade	STPP (%)
Estados Unidos e Canadá	40 - 60
América Latina, Oriente Médio e África	20 - 40
Europa e Austrália	30 - 45

Fonte: DEVEY e HARKNESS, 1975.

Um detergente em pó de uso comercial típico que utiliza fosfato como *builder*, contém, em média, 50% de STPP, sendo o restante composto por surfactantes (14%), carga (10%), sais inorgânicos (7%), perfume (0,2%), branqueador óptico (0,3%), agentes antideposição (1%) e enzimas (0,8%). (DEVEY e HARKNESS, 1975)

GLENNIE et al. (2002) destacam que as formulações dos detergentes podem variar bastante de acordo com a marca e com o país de utilização, sendo que os fabricantes costumam ser bastante relutantes em divulgar as suas composições. Uma mudança de comportamento em relação à composição dos detergentes vem ocorrendo em diversos países, em decorrência das preocupações com os aspectos qualitativos da água. Em muitos locais, a utilização de STPP passou a ser restringida ou até banida.

3.5.3. Alternativas para Substituição dos Fosfatos nos Detergentes

Como já citado anteriormente, o papel dos fosfatos inorgânicos nos detergentes é promover o abrandamento das águas duras, ou seja, precipitar com cátions causadores da dureza formando complexos solúveis.

Não obstante, já existem no mercado, detergentes contendo “com baixo teor de fosfato” ou “sem fosfato”, que utilizam carbonatos ou silicatos como substitutos, conforme abordado no item 3.5 do presente trabalho.

Pode-se considerar, entretanto, que alguns desses componentes oferecem resultados menos efetivos. Os carbonatos precipitam cátions sob a forma de carbonatos ou hidróxidos que parecem ser prejudiciais a componentes das máquinas de lavar roupa. Além disso, o excesso de íon carbonato torna a solução fortemente alcalina, perigosa para o manuseio e agressiva para a pele e para os olhos, podendo ser altamente tóxico se ingerido por crianças. (OSÓRIO e OLIVEIRA, 2001)

A substituição dos fosfatos por sais sódicos dos ácidos nitrilotriacético é outra alternativa que vem sendo explorada. No entanto, seu uso também apresenta desvantagens técnicas, uma vez que estudos efetuados, ainda não confirmados, indicam capacidade de complexar com íons tóxicos como o mercúrio e o chumbo, inserindo-os na cadeia alimentar. Além disso, são verificadas algumas desvantagens econômicas, pois seu custo de produção é bastante elevado, aumentando o preço do produto final.

OSÓRIO e OLIVEIRA (2001) destacam que os substitutos mais promissores para os fosfatos são as zeólitas, aluminossilicatos cristalinos substitutos dos cátions causadores da dureza por cátions de sódio. As zeólitas já são atualmente aplicadas em trocadores iônicos, peneiras moleculares, adsorventes, secantes e catalisadores, sendo que sua utilização em detergentes tem aumentado de forma significativa o seu consumo.

Estudos sobre a utilização de zeólitas em substituição ao STPP são efetuados desde a

década de 1970. Além de ser um elemento que não apresenta toxicidade, não contribui para o aumento do nível de trofia das águas superficiais. Nos países onde sua utilização foi implementada, o produto demonstra possuir uma relação custo-benefício adequada, considerando as questões sócio-econômica, de saúde pública e ambiental. (GLENNIE et al., 2002)

3.5.4. Panorama Mundial da Utilização de Fosfatos em Detergentes

Nos países da Europa e nos Estados Unidos, a questão do uso de STPP em detergentes teve alterações significativas principalmente a partir do início da década de 1970. Datam desse período os primeiros relatos referentes ao comprometimento da qualidade das águas superficiais resultantes da eutrofização e do reconhecimento de sua relação com a utilização de detergentes fosfatados.

Estimou-se que nos locais onde o STPP era utilizado como *builder* em detergentes, cerca de 50% da quantidade de fosfato presente nos esgotos tinha origem nessa fonte, estimando-se que a redução da sua utilização poderia contribuir para a melhoria da qualidade das águas. O banimento do STPP nas formulações dos detergentes poderia reduzir em até 40% a quantidade de fosfato presente nas águas devido ao lançamento de esgotos domésticos. Essa medida, aliada à implantação e melhoria dos sistemas de tratamento de esgotos resultariam numa redução de até 70% das taxas do nutriente lançadas nas águas superficiais. (GLENNIE et al., 2002)

Na Europa, a questão da eutrofização dos corpos d'água e sua relação com as elevadas concentrações de fósforo e com a utilização de detergentes tiveram início na década de 1960. No ano de 1962, foi criada na Suíça, a “Comissão dos Detergentes”, com o objetivo de discutir esse assunto. Na Itália, as análises quanto às condições qualitativas das águas do Lago Endine tiveram início no ano de 1973, quando o mesmo se apresentava hipereutrófico.

GLENNIE et al. (2002) relatam que as discussões a respeito dos dados sobre a contribuição do STPP presente nos detergentes para o aumento do nível trófico das águas, iniciadas nas décadas de 1960 e 1970, embasaram a implementação de ações mitigadoras e medidas de controle nos diversos países da Europa, dentre as quais podem ser destacadas, em ordem cronológica:

- **1981 - Suíça:** Estabelecidos limites para as concentrações de fósforo nos detergentes. Em 1985, a presença de STPP nesses produtos foi totalmente proibida.
- **1981 - Itália:** Decretado limite de fósforo nos detergentes em 5% e imposta a obrigatoriedade de inclusão de informação sobre a concentração de fósforo nos rótulos dos produtos pelos fabricantes. Em 1989, alterado o limite anteriormente estabelecido para 1%, exceto para os detergentes de máquinas de lavar pratos.
- **1984 - Alemanha:** A partir da implementação do *Phosphate-öchstmengenverordnung*, foi estabelecida a redução de 50% na concentração de fosfatos em detergentes, de forma gradativa. Essa medida promoveu a diminuição da quantidade de STPP lançada nos rios de 185.900 t. em 1984, para 13.000 t. em 1990 e 0 t. em 1998. Desde 1986 os consumidores decidiram em favor dos detergentes livres de fosfato e, a partir de então, os fabricantes deixaram de utilizá-lo sistematicamente.
- **1987 - Hungria:** Foram introduzidos pelo *Standard for Pulverous Synthetic Detergents* limites para as quantidades de fósforo presentes nos detergentes. Determinado um plano de ação em favor do rio Danúbio, considerando-se diversos cenários de concentração de STPP nos detergentes e crescimento populacional. Acordos voluntários entre Governo e fabricantes estabeleceram uma redução de 50% na quantidade presente nos detergentes.
- **1988 - Bélgica:** Acordo entre o Governo e a *Belgian Association of Soap Manufacturers*, definiu pela introdução de detergentes livres de fosfato no

mercado, em preços, qualidade e quantidades compatíveis com a necessidade da população. Em 6 meses, a quantidade de detergentes fosfatados foi reduzida em mais de 50%. No ano de 2001, menos de 2% dos detergentes disponíveis continham STPP em suas formulações.

- **1990 – França:** Acordo entre o Governo e a *Association des Industries des Savons et des Détergents* (AISD) reduziu e limitou a concentração de STPP nos detergentes em pó. Fabricantes concordaram em publicar um aviso nos rótulos quanto às quantidades utilizadas do produto em regiões onde a dureza da água é mais elevada, de forma a orientar os usuários. Reduzida em 30% a quantidade de STPP nos detergentes de 1990 a 1996. No *Lac Du Bourget*, o maior lago natural da França, a quantidade de fósforo presente nas águas entre os anos de 1974 e 1996 foi reduzida em 300%.
- **1991 - Holanda:** Efetuado um acordo com produtores de detergentes, denominado *Voluntary Plan of Action – Laundry and Cleanning Products for Households*. Em 1992, a partir da introdução do rótulo ambiental para produtos comercializados, estabeleceu-se o critério da presença de fosfatos para o caso da rotulação dos detergentes. Atualmente todos os detergentes comercializados na Holanda são compostos por zeólitas.

De acordo com dados da *European Chemical Industry Council* (CEFIC), a implementação dessas medidas refletiram diretamente na quantidade de STPP consumida nos países da União Européia, nos países em adesão (República Tcheca, Polônia e Hungria) e na Suíça. Com a introdução desse novo modelo de comportamento, o consumo de STPP foi alterado drasticamente, sendo reduzido em 77% no período de 1984 a 2000.

Na Tabela 17, a seguir, encontra-se descrita a evolução e redução do consumo de STPP nesses países, desde 1985 até 2000. Encontram-se descritas também, de forma sumária, as ações de cada país que resultaram nesse processo.

Tabela 17: Redução no consumo de STPP na União Européia, no período de 1984 a 2000, e iniciativas para sua redução.

País	Legislação	Acordos Voluntários	Consumo Estimado de STPP (mil ton.)								Redução (%)
			1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	2000	
Austria	Limite de 24%, em 1985, e de 20% em 1987.	-	17,3	18,7	16,9	13,8	13,1	11,4	10	0	100%
Bélgica	Utilização proibida desde 2001.	Acordo entre governo e fabricantes de detergentes estipulou que 100% dos detergentes estariam livres de STPP até 1995.	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	15,3	12,2	0	100%
Dinamarca	-	Em 1992, recomendação para utilização de detergentes sem STPP em áreas sem sistemas de tratamento de esgotos. Estabeleceu-se que 50% dos detergentes conteriam STPP.	18,8	18,8	18,8	15,9	17,	16,9	13,9	2	90%
Finlândia	-	Acordo não escrito estabeleceu a redução de 20% na quantidade de P presente nos esgotos domésticos entre 1990 e 1992.	13,2	11,8	10,7	8,7	8,3	6,7	6,3	1	95%
França	Em 1990, estabelecido limite de 25% de STPP nos detergentes e de 20% para os novos produtos.	-	180,4	180,4	175,1	154,1	137,8	132,5	127,3	74	60%
Alemanha	Em 1984, estabelecida a redução de 50% na quantidade de STPP presente nos detergentes, de forma gradativa.	Detergentes livres de STPP foram introduzidos em 1986 devido à pressão de mercado e pela opinião pública. Desde 1986, os consumidores passaram a optar por detergentes não fosfatados.	192,5	185,9	104,0	71,3	52,4	32,8	13,1	0	100%
Grécia	-	-	27,1	24,2	21,8	17,9	17	13,7	12,9	9	66%
Irlanda	-	Em 2002, membros do Irish Detergent Industry Association (IDAPA) decidiram eliminar o STPP dos seus produtos, representando 90% do mercado de detergentes do país.	9,4	8,4	7,6	6,2	5,9	4,8	4,5	0	100%
Itália	Em 1981, um Decreto estabeleceu limite de 5% de P nos detergentes domésticos. Em 1994, esse limite passou para 1%.	Primeiros acordos iniciaram nos anos 1970, quando os Lagos Alpinos e a costa do Adriático foram afetados pela eutrofização.	117,5	111,8	75,7	52,2	50,5	13,2	9,7	0	100%
Luxemburgo	-	-	1,1	0,9	0,9	0,7	0,7	0,5	0,5	N/D	N/D
Holanda	-	Acordo com produtores de detergentes em 1991 resultou que quase todos os produtos comercializados são livres de fosfato. A quantidade de fosfato nos esgotos foi reduzida em 50%.	38,2	32	32	5,1	2	1,6	1,6	0	100%
Portugal	-	-	17,9	16,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	8	50%
Espanha	-	-	113,9	111,9	101,3	96,2	97,4	88,4	92,3	38	65%
Suécia	-	Estabelecido que os detergentes em pó deveriam conter no máximo 0,75 g.P/kg (20% de STPP).	22,8	19,9	19,9	17,9	16,4	11,6	10,9	2	90%
Reino Unido	-	Sugestão de limites para fósforo datam de 1998.	127,6	122,3	133,4	123,4	130,5	125,2	127,6	71	40%
União Européia			923,2	889,4	758,5	623,8	590,2	489,5	457,7	205	77%
República Tcheca	-	Acordo para redução gradual dos impactos dos detergentes domésticos, limitando a quantidade de P em 5,5%.	26,7	23,8	21,5	17,6	16,7	13,5	12,7	3	N/D
Polónia	-	-	99,8	89,1	80,5	65,8	62,5	50,6	47,5	77	15%
Hungria	Em 1987, estudados os limites de P nos detergentes	Menos de 50% dos detergentes de uso doméstico possuem STPP. Convenção do Danúbio determinou restrições para o uso de STPP nos detergentes em pó	26,3	23,5	21,2	17,4	16,5	13,3	12,5	7	50%
Países em Adesão à União Européia			152,8	136,4	123,2	100,8	95,7	77,4	72,7	87	N/D
Suíça	Utilização de fosfatos nos detergentes proibida desde 1986	-	24	21,9	9,8	4,4	4,4	3,3	2,2	N/D	N/D

ND: Não determinado

Fonte: GLENNIE et al., 2002.

Pode-se apontar também algumas iniciativas que foram adotadas em outros países, visando reduzir a quantidade de fosfato presente nos detergentes e melhorar as condições dos corpos d'água:

- **Austrália** – Acordos voluntários para desenvolvimento tecnológico promoveram a introdução de detergentes concentrados, com a redução das quantidades de fosfato utilizadas. O processo foi combinado a trabalhos de educação comunitária a respeito dos nutrientes nas águas.
- **Japão** – Áreas próximas a grandes lagos baniram completamente o uso de detergentes a base de STPP. Não há legislação específica, mas os detergentes fosfatados não são mais comercializados.
- **Canadá** – A legislação proibindo o uso de detergentes contendo mais de 2,2% de STPP é datada de 1973.
- **Estados Unidos** – Desde 1971 os estados americanos passaram a restringir o uso de STPP nos detergentes, sendo que atualmente, 27 estados baniram de forma parcial ou completa a sua utilização. Esses estados são aqueles situados principalmente na costa leste e ao redor dos Grandes Lagos.

É importante destacar que em diversos países, foi introduzido o *ecolabel* para os detergentes livres de fosfato, o que corresponde a uma espécie de “selo verde”. Essa rotulação busca auxiliar os consumidores a identificar os produtos que causam menor dano ao meio ambiente, oferecendo-lhes a oportunidade de optar por sua compra. Como resultado, os fabricantes são estimulados a desenvolver produtos e processos de produção mais adequados à proteção do meio ambiente.

Dentre esses “selos”, pode-se citar o *Nordic White Swan*, utilizado na Suécia, Finlândia, Dinamarca, Islândia e Noruega e o *Eco-label*, utilizado nos países da União Européia. (GLENNIE et al., 2002)

3.5.5. Situação Atual no Brasil

No Brasil, somente no ano de 2000 o segmento de sabões e detergentes movimentou U\$ 2,4 bilhões, de um total de U\$ 4,3 bilhões movimentado pelo setor de produtos de limpeza, de acordo com informações da Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Limpeza e Afins (ABILPLA). (ALONSO, 2002)

Isso significa dizer que, do atual mercado de produtos de limpeza no Brasil, cerca de 56% é ocupado pela comercialização de detergentes e saponáceos.

Estudos efetuados pela Associação Brasileira de Indústrias Químicas (ABIQUM) colocou o fosfato em 6º lugar de importância nas vendas internas dentro da categoria de produtos inorgânicos. Estima-se que, no ano de 1998, das 65.649 toneladas de STPP produzidas no Brasil, 96%, ou cerca de 60 mil toneladas, foram destinadas à indústria de detergente. (OSÓRIO e OLIVEIRA, 2001)

Nesse segmento, o STPP é o *builder* sistematicamente empregado, porém não há referências sobre a sua presença ou concentração nos rótulos dos produtos comercializados. Somente na RMSP, onde a dureza das águas tratadas oscila em torno de 60 microgramas/litro, estima-se que a contribuição do STPP nos esgotos domésticos chegue a até 25 toneladas diárias por conta da utilização de detergentes. (QUÍMICA E DERIVADOS, 2005)

No ano de 1978, através da Resolução Normativa nº 01, o Ministério da Saúde estabeleceu que os detergentes poderiam conter um limite de 15% em peso de P_2O_5 nas suas formulações, o que corresponde a cerca de 26,5% de STPP. No ano de 2005, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) editou a Resolução nº 359, que define o limite de 10,99% em peso de P_2O_5 por formulação de detergente a partir do ano de 2008. A partir de tal alteração pretende-se promover uma redução média de 30% na quantidade de STPP lançada nos rios. (ANVISA, 1978; CONAMA, 2005a)

Maior detalhamento a respeito da legislação que regulamenta o assunto será discutido no item 3.7.1.3. do presente trabalho.

Paralelamente à legislação vigente, entretanto, no Brasil algumas entidades oferecem orientadores para as pessoas interessadas em fabricar e vender detergentes, como forma de aumentar o rendimento familiar. Nesse caso, o assunto é abordado como “idéias de negócios” ou “oportunidades de negócios”.

A Associação Empresa Brasil, organização não governamental fundada no ano de 2003 com o objetivo de oferecer orientação profissional e ferramentas para inclusão social e geração de trabalho e renda, disponibiliza em seu sítio na *internet* uma proposta de formulação de detergentes. (EMPREGA BRASIL, 2009)

As quantidades de fosfato indicadas na formulação desses produtos são variáveis de acordo com a finalidade proposta, conforme se pode observar no resumo a seguir:

- **Detergente Abrasivo Líquido:** 20% de Ácido fosfórico e 4% de difosfato de sódio;
- **Detergente Abrasivo em Pó:** 20% de STPP e 25% de tetrapirofosfato de sódio;
- **Detergente em Pó para uso Doméstico:** De 37% a 40% de STPP.

A partir dessas informações, pode-se notar um descompasso entre os termos definidos na legislação vigente e o nível de conscientização dos usuários e da população em geral.

3.5.6. Uso de Detergentes e Concentração de Fósforo nos Esgotos

Apesar dos detergentes serem amplamente utilizados nas indústrias, na etapa de limpeza de diversas linhas de produção, o consumo doméstico supera, e em muito, o industrial.

Estima-se que o consumo mensal de detergente para limpeza em uma residência seja de 1 litro, no mínimo, sendo observado um considerável incremento nesse hábito conforme se aumenta o poder aquisitivo e se altera os padrões de comportamento e consumo da população. Essas mudanças nas formas de consumo de detergentes refletem diretamente na quantidade de fósforo presente nos esgotos. Antes do surgimento dos detergentes, a quantidade de fósforo nos esgotos variava entre 2 e 3 mg/L e atualmente, esse teor pode chegar a até 20 mg/L. Com o desenvolvimento e a utilização em larga escala dos detergentes sintéticos, calcula-se que o impacto dos lançamentos dos efluentes sobre as concentrações de fósforo nos corpos d'água tenha se tornado ainda mais expressiva, e, em casos de elevadas concentrações populacionais, esse fator é determinante para as condições quali-quantitativas das águas. (BRAILE e CAVALCANTI, 1979)

De forma geral, nos locais onde há utilização doméstica ou em lavanderias de detergentes compostos por STPP, considera-se que 50% do fósforo presente nos esgotos tem essa origem. (CHORUS e BARTRAN, 1999; GLENNIE et al., 2002)

No entanto, estudos efetuados no decorrer dos anos demonstram que essa concentração pode chegar a até 80%, de acordo com as características regionais. ESTEVES (1988), citando Ambühl (1978), destaca que para a porção central da Europa, naquele período, a estimativa é de que cada habitante fosse responsável pela eliminação de 4,3 g/dia de fosfato, dos quais, 2,7 g tem origem nos produtos de limpeza, o que corresponde a cerca de 63%.

Ao citar Wagner (1967), ESTEVES (1988) acrescenta que o aporte de fosfato de origem doméstica no Lago Constance, situado entre a Alemanha e a Suíça, era da ordem de 0,71 toneladas diárias, dos quais 20% tinham origem nos excrementos humanos e 80% advinham dos detergentes. No rio Reno, cerca de 60% do fosfato presente nas águas encontrava-se sob a forma de polifosfatos, originado principalmente nos detergentes.

Segundo DEVEY e HARKNESS (1975), estimativas feitas no ano de 1957 a respeito da presença de fósforo nos esgotos domésticos da Inglaterra, indicaram que cerca de 21% poderia ser atribuída à utilização de detergentes sintéticos. Em 1971, os mesmos

estudos indicaram que o percentual teria sido alterado para 46%, ou seja, de 3,26 g/pessoa/dia de fósforo lançada nos esgotos, 1,92 g/pessoa/dia tinha origem na utilização de detergentes sintéticos.

Para o Lago Eire, situado entre os Estados Unidos e o Canadá, estudos efetuados por Burs & Ross (1972), apresentados por ESTEVES (1988), indicaram que das fontes artificiais de fósforo de que dispunha o lago, a principal era decorrente dos produtos de limpeza, particularmente dos detergentes sintéticos. A representação esquemática da situação do Lago Eire pode ser observada na Figura 20, a seguir.

Figura 20: Principais fontes de fosfato para o Lago Eire (EUA-Canadá)
Fonte: ESTEVES, 1988.

PIVELI e KATO (2005) acrescentam que a quantidade de fósforo presente nos esgotos pode ser considerada um fator determinante das condições sócio-econômicas, devido à sua estreita relação com o emprego doméstico dos detergentes sintéticos.

3.6. Remoção de Fósforo em Sistemas de Tratamento de Esgotos

O tratamento de esgotos, de acordo com o grau de remoção de poluentes que se deseja atingir, pode ser dividido em 4 níveis: preliminar, primário, secundário e terciário.

O tratamento preliminar normalmente precede as demais etapas do tratamento de esgotos. Suas operações mais comuns destinam-se à remoção dos denominados sólidos grosseiros e areia, constituintes que podem causar problemas operacionais no sistema de tratamento. O tratamento preliminar pode ser efetuado através de gradeamento e desarenadores.

No tratamento primário, remove-se uma parcela da matéria orgânica e dos sólidos em suspensão, geralmente por sedimentação ou peneiramento. O efluente do tratamento primário ainda possui grande concentração de matéria orgânica carbonácea e sua maior aplicação é como antecessor do tratamento secundário, também denominado convencional. O tratamento secundário destina-se principalmente à remoção de orgânicos biodegradáveis e sólidos em suspensão, sendo normalmente utilizados os processos biológicos por lodos ativados, sistemas de lagoas e filtros biológicos, dentre outros. (METALF e EDDY, 1991; JORDÃO e PESSÔA, 1995; PAGANINI, 2007)

O tratamento terciário ou avançado é utilizado para remoção de nutrientes, compostos tóxicos e microorganismos, além da matéria orgânica e sólidos em suspensão não removidos no tratamento secundário. Para tanto, podem ser utilizados processos como coagulação química, floculação ou sedimentação seguida de filtração, desinfecção, troca iônica, membrana e osmose reversa.

A remoção de fósforo dos esgotos se dá através dos processos de tratamento denominados terciários ou avançados, podendo ocorrer por meio de processos físico-químicos ou biológicos.

Dentre os processos físico-químicos podem ser destacadas as precipitações químicas

com sulfato de alumínio ou com cloreto férrico, casos em que o fósforo é precipitado nas formas de fosfato de alumínio ou de ferro. Apesar da elevada remoção, que pode chegar a 85%, PIVELI e KATO (2005) destacam que, nesse caso, a precipitação exige dosagens consideráveis de coagulante e gera grandes quantidades de lodo, podendo tornar o processo oneroso. No caso da precipitação com cal hidratada, onde o fósforo é precipitado na forma de hidróxi-apatita, o processo de tratamento é mais barato, porém menos eficiente.

METCALF e EDDY (2003), comparando a eficiência da aplicação de processos físico-químicos para remoção de fósforo dos esgotos sanitários, destacam que a precipitação química corresponde ao processo onde são verificadas as menores concentrações de fósforo no efluente final, apresentando, porém, os maiores custos econômicos e operacionais, estes relacionados principalmente com a grande quantidade de lodo gerada. Em processos de tratamento com precipitação química, a quantidade de lodo gerada é cerca de 7 vezes maior comparativamente aos processos onde a precipitação não é aplicada.

Os processos biológicos correspondem à remoção através do metabolismo dos microorganismos presentes no meio, promovido pela alternância entre as condições aeróbias e anaeróbias, sendo que esse processo é denominado desfosfatação. (METCALF e EDDY, 2003; VON SPERLING, 2005)

As principais vantagens de um processo biológico para remoção de fósforo, comparativamente ao processo físico-químico, referem-se à diminuição dos custos, devido à redução da utilização de produtos químicos e da quantidade de lodo produzida.

Segundo PIVELI e KATO (2005) a remoção significativa de fósforo somente ocorre em residuais abaixo de 1 mg/L, com tratamento físico-químico associado ao biológico, com a aplicação de sais de ferro ou alumínio aos efluentes e precipitação de fosfato nos processos de coagulação e floculação.

Outro método de tratamento que pode ser adotado é a adsorção, principalmente através da utilização de produtos químicos derivados do alumínio. A vantagem desse processo é que o fósforo aderido ao material adsorvente pode ser reutilizado após

passar por um processo de dessorção, colaborando com a ciclagem do nutriente. (CHAO, 2006)

Nesse sentido, deve-se citar também os sistemas de disposição de esgotos no solo, onde a retirada do fósforo é efetuada pelas plantas, que o utilizam em seus processos metabólicos. Ao invés da aplicação de fertilizantes, os nutrientes necessários ao crescimento vegetal são supridos em partes pelos esgotos. (VON SPERLING, 2005)

De acordo com PAGANINI (2001), a disposição de esgotos no solo vem se apresentando como uma importante alternativa de tratamento e reúso, devido à sua capacidade de “polimento” de efluentes, à possibilidade de reciclagem de recursos cada vez mais escassos e obtenção de sub-produtos, como por exemplo carvão, bem como, pela importante atuação na recarga de aquíferos.

CHORUS e BARTRAN (1999) acrescentam que o reúso agrícola é uma forma de contribuir com a redução da poluição por nutrientes, além de auxiliar no fechamento do seu ciclo natural, apresentando-se, desta forma, como uma alternativa ambientalmente viável e sustentável.

A concentração de fósforo no efluente de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) é variável de acordo com o processo de tratamento adotado.

De acordo com HELMER e HESPANHOL (1997), a seleção da tecnologia a ser adotada para tratamento dos esgotos depende, basicamente, das características do efluente a ser tratado, do tamanho da comunidade a ser atendida e da qualidade de efluente desejada ou requerida de acordo com os usos previstos para o corpo d’água receptor.

Os esgotos domésticos possuem concentração de fósforo da ordem de 4 mg/L a 50 mg/L, a partir de uma produção diária de 1 g a 3 g por pessoa. No Brasil, em média, a contribuição per capita diária de fósforo nos esgotos domésticos é de 2,5 g, sendo que a concentração típica desse nutriente é de 14 mg/L. Considerando-se a capacidade de remoção de fósforo pelos diferentes níveis de tratamento de esgotos, a concentração de fósforo no efluente de sistema de tratamento primário é da ordem de 11,2 mg/L a 12,6 mg/L. Em um sistema de tratamento secundário, os efluentes possuem cerca de 5,6 mg/L a 11,2 mg/L e em um sistema terciário, a concentração

de fósforo é de cerca de 0,1 mg/L a 2 mg/L. (HELMER e HESPANHOL, 1997; METCALF e EDDY, 2003; VON SPERLING, 2005)

A eficiência na remoção de fósforo pelos diversos sistemas de tratamento de esgotos pode ser observada na Tabela 18, abaixo.

Tabela 18: Eficiência dos diferentes processos de tratamento de esgotos na remoção de fósforo.

Processo	Concentração Média P efluente (mg/L)	Eficiência Média Remoção de P (%)
Tratamento Primário - Tanques sépticos	> 4	< 35
Tratamento primário convencional	> 4	< 35
Tratamento primário avançado (a)	< 2	75 - 90
Lagoa facultativa	> 4	< 35
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	> 4	< 35
Lagoa aerada facultativa	> 4	< 35
Lagoa aerada mistura completa - lagoa de sedimentação	> 4	< 35
Lagoa anaeróbia + lagoa facultat. + lagoa maturação	< 4	> 50
Lagoa anaeróbia + lagoa facultat. + lagoa alta taxa	3 - 4	50 - 60
Lagoa anaeróbia + lagoa facultat. + remoção algas	> 4	< 35
Infiltração lenta	< 1	> 85
Infiltração rápida	< 4	> 50
Escoamento superficial	> 4	< 35
Terras úmidas construídas (wetlands)	> 4	< 35
Tanque séptico + filtro anaeróbio	> 4	< 35
Tanque séptico + infiltração	< 4	> 50
Reator UASB	> 4	< 35
UASB + lodos ativados	> 4	< 35
UASB + biofiltro aerado submerso	> 4	< 35
UASB + filtro anaeróbio	> 4	< 35
UASB + filtro anaeróbio percolador de alta carga	> 4	< 35
UASB + flotação por ar dissolvido	1 - 2	75 - 88
UASB + lagoas de polimento	< 4	> 50
UASB + lagoa aerada facultativa	> 4	< 35
UASB + lagoa aerada mist. Completa + lagoa decant.	> 4	< 35
UASB + escoamento superficial	> 4	< 35
Lodos ativados convencional	> 4	< 35
Lodos ativados - aeração prolongada	> 4	< 35
Lodos ativados - batelada (aeração prolongada)	> 4	< 35
Lodos ativados convenc. com remoção biológica N	> 4	< 35
Lodos ativados convenc. com remoção biológica N/P	1 - 2	75 - 88
Lodos ativados convencional + filtração terciária	3 - 4	50 - 60
Filtro biológico percolador de baixa carga	> 4	< 35
Filtro biológico percolados de alta carga	> 4	< 35
Biofiltro aerado submerso com nitrificação	> 4	< 35
Biofiltro aerado submerso com remoção biol. de N	> 4	< 35
Biodisco	> 4	< 35

(a) Tratamento primário avançado: eficiência variável de acordo com a dosagem do coagulante

Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 2005.

CHORUS e BARTRAN (1999) destacam que em municípios com menor densidade populacional, onde a vazão do corpo receptor ou a capacidade de retenção de fósforo pelo solo é alta, a implantação de sistemas de tratamento de esgotos para remoção do nutriente pode ser desnecessária. Desta forma, a implantação de sistemas de tratamento mais avançados e onerosos ficariam restritos às regiões densamente povoadas, com corpos d'água mais suscetíveis ou sensíveis à eutrofização.

Além disso, é importante observar os impactos econômicos e financeiros. Tendo em

vista que sistemas avançados de tratamento de esgotos são mais complexos e onerosos, sua implantação de forma linear pode inviabilizar investimentos na ampliação da extensão de redes coletoras e sistemas de tratamento mais simplificados, voltados para a melhoria das condições de saúde pública.

Na Europa e nos Estados Unidos a questão da remoção de fósforo em sistemas de tratamento de esgotos tem evoluído bastante desde a década de 1990, de forma que foram estabelecidos critérios de prioridades para direcionamento dos investimentos.

A Comunidade Européia, através da *Council Directive* nº 271, de 21 de maio de 1991, estabeleceu uma progressividade dos prazos para implantação de sistemas de tratamento de esgotos com base na localização dos pontos de lançamento dos efluentes e seus impactos nas áreas consideradas mais sensíveis à eutrofização. Como regra, somente as áreas com mais de 2 mil habitantes ou lançamentos com esse valor equivalente em esgotos, o que é denominado equivalente populacional, estão sujeitos a essa legislação. Considera-se o porte do município ou o equivalente populacional do lançamento, da seguinte forma (EC, 1991; EUROPA, 2007):

- Aglomerações com mais de 10 mil habitantes, com despejos em zonas consideradas sensíveis: prazo para adequação até 31/12/98.
- Aglomerações com mais de 15 mil habitantes que não lançam efluentes em zonas consideradas sensíveis: prazo para adequação até 31/12/00;
- Aglomerações entre 2 e 10 mil habitantes com despejos em áreas sensíveis ou estuários; aglomerações entre 10 e 15 mil habitantes que não lancem seus efluentes em áreas sensíveis ou estuários: prazo para adequação até 31/12/05.

Enquadram-se como áreas sensíveis as águas doces, os estuários em condições eutróficas ou que podem se tornar eutróficos, os corpos d'água superficiais que podem ser utilizados para abastecimento público e outras áreas onde a implantação mais rápida de um sistema de tratamento é necessária para melhorar as condições de pesca, turismo e lazer, bem como para manutenção da fauna e flora.

Estabelece-se que nas aglomerações com população entre 2 e 10 mil habitantes que lançam efluentes em zonas sensíveis, bem como as aglomerações que não lançam efluentes em zonas sensíveis, podem ser implantados sistemas de tratamento secundários. A Diretiva permite que, quando não justificada a instalação de um sistema tratamento mais avançado, quer pela inexistência de interesse ou motivação ambiental, quer porque os seus custos são excessivos, podem ser implantados sistemas de tratamento de esgotos em nível secundário. Com um total de 37.625 municípios e mais de 492 milhões de habitantes, a Comunidade Européia dimensiona investimentos da ordem de €35 bilhões (EC, 1991; EUROPA, 2007)

Para os despejos em águas com condições eutróficas, com origem em aglomerações com população entre 10 mil e 100 mil habitantes, a concentração máxima de fósforo permitida nos efluentes é de 2 mg/L. Para locais com mais de 100 mil habitantes, a concentração máxima estipulada é de 1 mg/L. (HELMER e HESPAHOL, 1997)

Como resultado, o 4º Relatório de Acompanhamento da Implementação da Diretiva, publicado no ano de 2007, indica que, apesar dos avanços obtidos, somente a Dinamarca, a Alemanha e a Áustria atingiram plenamente os objetivos propostos.

Nas áreas designadas como sensíveis, cerca de 10,3% dos lançamentos permanecem sem o tratamento adequado, o que corresponde a um equivalente populacional de 48,4 milhões de pessoas. Nas áreas denominadas normais, ou não sensíveis, cerca de 8,9% dos lançamentos são considerados irregulares, um equivalente populacional de 42 milhões de pessoas, sendo que 17 cidades com mais de 150 mil habitantes permanecem sem qualquer tipo de tratamento de esgotos. Entretanto, alguns resultados positivos foram destacados, caso do rio Reno, que atravessa 8 países (Áustria, Bélgica, França, Alemanha, Luxemburgo, Holanda, Liechtenstein e Suíça – estes 2 últimos que não pertencem à Comunidade Européia) e do rio Elba, localizado entre a República Tcheca e a Alemanha, por apresentarem sensível melhoria na qualidade da água, refletindo no aumento da diversidade de espécies aquáticas. (EUROPA, 2007)

Nos Estados Unidos, desde o *Clean Water Act* (CWA) e do *National Pollutant Discharge Elimination System* (NPDES), programa federal criado em 1972 com

objetivo de proteger e recuperar as condições físicas, químicas e biológicas das águas, o número de estações de tratamento de esgotos foi ampliado mais de 20%, com alterações significativas nos níveis de tratamento. (GLENNIE et al., 2002)

Em cerca de 20 anos, o número de sistemas primários de tratamento de esgotos caiu de 50% para 0%, enquanto o número de sistemas terciários foi ampliado de 0% para 25%. Desde a década de 1970, os setores público e privado investiram mais de U\$ 500 bilhões na melhoria da qualidade das águas através da implantação de sistemas de tratamento de esgotos e, atualmente, 82% das estações de tratamento americanas removem matéria carbonácea.

Através do *Permit Compliance Systems* (PCS), instituído em 1997, dos 16 mil pontos de lançamento de efluentes domésticos monitorados pelo NPDES, 15,3% passaram a ter os níveis de fósforo monitorados e controlados e 7,3% passaram a obedecer limites de fósforo da ordem de 0,5 mg/L a 1,5 mg/L. A maior parte desses pontos situa-se na Costa Leste e na região dos Grandes Lagos. (GLENNIE et al., 2002)

3.7. Monitoramento e Controle das Fontes

A necessidade de controle dos níveis de fósforo presente nos corpos d'água tem se mostrado crescente. Nesse processo, a redução da eutrofização e a melhoria da qualidade das águas aparecem conectadas à questão da sustentabilidade das reservas exploráveis de fosfato, uma vez que a eutrofização das águas demonstra ser o resultado da aceleração das taxas de retirada do nutriente para utilização em produtos industrializados, utilizados e descartados pelo homem, lançados nos seus efluentes.

STUMM e MORGAN (1981) estimam que a quantidade de fosfato lançada nos rios e oceanos seja atualmente 100 vezes superior à capacidade anual de utilização pelo fitoplâncton e outros organismos aquáticos. Assim, a quantidade que não pode ser processada biologicamente permanece retida no sedimento, sem possibilidade de retorno ao ciclo natural.

Por outro lado, a remoção do fósforo presente nos efluentes domésticos e industriais, apesar de reduzir os níveis de lançamento do nutriente no corpo d'água, também não permite o seu retorno ao ciclo, uma vez que o material retirado é normalmente encaminhado para incineração ou para disposição final em aterros.

Nesse sentido, diversos países da Europa orientam municípios com menos de 20 mil habitantes a viabilizar sistemas de disposição dos esgotos no solo, buscando, assim, diminuir o nível de eutrofização das águas paralelamente à redução da utilização de fertilizantes e da exploração das rochas fosfáticas, garantindo um aumento das taxas de retorno do nutriente ao meio ambiente, processo que tem sido denominado por *closing the loop* ou fechamento do ciclo. (LLOYD, 2007; CORDELL, 2008; CEEP, 2008)

O estabelecimento de padrões de qualidade para os corpos receptores e de limites para lançamento de efluentes domésticos e industriais também tem sido largamente discutidos, juntamente com a busca por ferramentas adequadas para controle das fontes e racionalização nos níveis de utilização do nutriente, buscando-se atuar no

sentido da adoção de medidas corretivas e preventivas.

Na questão do fósforo, XAVIER et al. (2005), destaca que as medidas preventivas são as mais desejadas devido à maior eficácia e ao menor custo, no entanto, sugere que essas medidas sejam acompanhadas pelo controle das fontes no âmbito da bacia de drenagem, tendo em vista que o maior objetivo de qualquer programa de controle e prevenção é a redução da entrada de nutrientes. Para tanto, são recomendadas as seguintes ações:

- Regulamentação da composição de produtos, especialmente detergentes, para reduzir a liberação de fósforo;
- Desvio das contribuições de rios ou efluentes na bacia afetada;
- Monitoramento dos lançamentos de efluentes industriais;
- Tratamento dos rios tributários, com utilização de métodos para controle de nutrientes, como bacias de sedimentação, precipitação química, canais de aeração e controle biológico das florações;
- Tratamento dos esgotos domésticos por processos terciários;
- Zoneamento do uso do solo através de reflorestamentos;
- Restrição ao uso de fertilizantes, disciplinando as atividades agrícolas, industriais e urbanas;
- Retenção das águas do escoamento urbano, evitando-se “picos” de enxurrada;
- Educação ambiental, como forma de reduzir a geração de lixo e disciplinar o uso de fertilizantes e detergentes;
- Adoção de práticas agrícolas conservacionistas visando o controle da erosão;
- Controle das concentrações de fósforo na dieta dos animais;
- Realização de testes de solo e esterco para planejamento da dosagem adequada de fertilizante fosfatado e;
- Manutenção ou recomposição da vegetação ciliar.

VON SPERLING (2005) acrescenta que as estratégias para controle dos níveis de

fósforo nas águas devem ser avaliadas, dando ênfase para as ações preventivas, principalmente através da adequação e fiscalização das fontes antrópicas, decorrentes das atividades urbana, industrial e agrícola.

Deve-se observar ainda, a importância da adequação da legislação frente às mudanças de comportamento impostas pela evolução nos estudos relacionados com a disponibilidade do fósforo e sua presença nas águas. A aplicabilidade da legislação, aliada à efetividade dos trabalhos de fiscalização e monitoramento de seu cumprimento, são aspectos de fundamental importância. Desta forma, o controle do aporte de fósforo e a busca pela melhoria da qualidade das águas relacionam-se de forma bastante direta com a questão do enquadramento.

PORTO (2009) destaca que o processo de enquadramento deve buscar o planejamento do uso da água através do zoneamento das atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica, ações consideradas fundamentais para a gestão da qualidade das águas e para o aumento de sua disponibilidade, obedecendo as seguintes etapas:

- Identificação dos usos;
- Identificação dos impactos;
- Seleção dos parâmetros mais importantes, dentro do conceito de “poluente principal”, ou seja, parâmetros cujo controle pode ser considerado mais relevante face aos impactos detectados, bem como levando-se em conta os usos existentes e pretendidos.

Para implementação do processo de enquadramento, deve-se considerar os usos atuais e previstos, a viabilidade técnica e o nível de investimento estimado, sendo de grande importância a adoção de metas progressivas, a serem estabelecidas de acordo com o estado de degradação da bacia e o nível de investimento requerido. Trata-se, portanto, do planejamento por etapas, através da busca de uma meta final de qualidade através do estabelecimento de etapas intermediárias.

3.7.1. O Fósforo na Legislação Brasileira e do Estado de São Paulo

No Brasil, a questão do aporte de fósforo nas águas tem sido atualmente conduzida no sentido de estabelecer limites para os corpos d'água receptores de efluentes, de acordo com seus usos preponderantes.

A Resolução nº 357, de 29/04/2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), prevê limites de concentração de fósforo de acordo com a classe de enquadramento estabelecida para os corpos d'água, sendo que não há legislação específica em relação à concentração desse nutriente nos efluentes domésticos e industriais.

A legislação paulista que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente, Decreto nº 8.468, de 08/09/1976, também não define limites de lançamento para o fósforo.

Recentemente, o estabelecimento de padrões de lançamento de nutrientes foi tema de discussões durante a elaboração da Resolução CONAMA nº 397, de 03/04/2008, onde se estabeleceu que o parâmetro nitrogênio amoniacal total não restasse aplicado aos sistemas de tratamento de esgotos sanitários. Na oportunidade, salientou-se que os investimentos a serem efetuados para adequação dos sistemas de tratamento e atendimento aos limites propostos seriam elevados e levariam à produção de um efluente final com alta qualidade, muitas vezes incompatível com a situação dos corpos receptores, em função da diluição e do enquadramento dos mesmos. Tal situação é semelhante ao que se verificaria no caso de estabelecimento de limites muito restritivos para o fósforo.

Outro aspecto importante a ser considerado nesse processo, é a questão tecnológica. Alternativas de menor custo e mais adequadas às condições climáticas, geográficas e meteorológicas do país poderão oferecer meios para se buscar a universalização dos serviços de saneamento e a recuperação da qualidade dos recursos hídricos, levando-se em conta as diversidades e as condições regionais de cada Estado. Tal situação

encontra-se abordada na Lei Federal do Saneamento (Lei nº 11.445, de 05/01/2007), que considera a necessidade de otimização da aplicação dos recursos disponíveis para a universalização dos serviços e consequentemente, para a melhoria das condições ambientais e de saúde pública.

Em relação à concentração de fosfato nos detergentes em pó, no ano de 2005, o CONAMA editou a Resolução nº 359, 29/04/2005, que estabelece os critérios para a utilização de fósforo na formulação de detergentes em pó de uso nacional, visando a redução e eventual eliminação do aporte de fósforo dessa fonte nos corpos de água. Essa iniciativa vai de encontro às ações já adotadas por outros países visando tornar mais restritiva a utilização de fosfato como aditivo em detergentes.

No que refere à potabilidade das águas, a Portaria nº 518, de 25/03/2004, do Ministério da Saúde, não estabelece limites para fósforo para as águas destinadas ao abastecimento público, visto que esse nutriente por si só não apresenta problemas de ordem sanitária. Entretanto, a presença do fósforo nas águas a serem utilizadas para consumo humano está relacionada com os limites previstos para cianotoxinas, que estão ligadas à produtividade biológica do ecossistema e ao nível de trofia das águas.

Dentre essas cianotoxinas, encontra-se previsto o monitoramento das microcistinas, que são inibidoras de proteínas fosfatases e causadoras de tumores, cilindrospermopsinas, inibidoras da síntese protéica e causadoras de efeitos hepatotóxicos e citotóxicos em rins, baço, coração e outros órgãos, e saxitoxinas (STX), que são neurotóxicas e possuem efeito de inibição da condução nervosa por bloqueio dos canais de sódio. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004)

3.7.1.1 Resolução CONAMA nº 357/2005

A Resolução CONAMA nº 357, datada de 17 de março de 2005, atualiza a

Resolução nº 20/1986 e “*Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*”. (CONAMA, 2005a)

Através dessa Resolução, as águas doces brasileiras foram divididas em 4 classes, em função dos seus usos previstos, conforme detalhado abaixo:

I – Classe Especial

- a) abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
- c) preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - Classe 1

- a) abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) proteção das comunidades aquáticas;
- c) recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - Classe 2

- a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) proteção das comunidades aquáticas;
- c) recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274/2000;
- d) 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; e
- e) aquicultura e à atividade de pesca.

IV - Classe 3

- a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;

- b) irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) pesca amadora;
- d) recreação de contato secundário; e
- e) dessedentação de animais.

V - Classe 4

- a) navegação; e
- b) harmonia paisagística.

Para cada uma das classes determinou-se os padrões de qualidade de forma a garantir os seus usos preponderantes. No que se refere ao fósforo, foram estabelecidos limites para as águas doces, águas salobras e águas salinas, conforme as diferentes classes de corpos d'água e de acordo com cada tipo de ambiente: lótico, lântico e intermediário. Os limites de fósforo estabelecidos para as águas doces, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05, encontram-se descritos na Tabela 19.

Tabela 19: Limites de fósforo para águas doces previstos na Resolução CONAMA nº 357/05.

Ambiente	Limites - Fósforo Total (mg/L)			
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Lântico	0,02	0,03	0,05	-
Intermediário	0,025	0,05	0,075	-
Lótico	0,10	-	0,15	-

Fonte: CONAMA, 2005a.

Esta Resolução não define padrões de fósforo para emissão de efluentes, sendo dispostas somente diretrizes para a questão, visando promover a gestão da qualidade da água do corpo receptor conforme seu enquadramento, o que está preconizado no Art. 28: *“Os efluentes não poderão conferir ao corpo de água características em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento”*.

3.7.1.2 Decreto Estadual nº 8468/1979

O Decreto Estadual nº 8468, editado em 08 de setembro de 1976, “*Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente*”. (SÃO PAULO, 1976)

Define o tipo de despejo a ser lançado num corpo d’água do Estado de São Paulo de forma a não acarretarem alterações de suas características e classificação, definida conforme abaixo:

- **Classe 1** - águas destinadas ao abastecimento doméstico, sem tratamento prévio ou com simples desinfecção;
- **Classe 2** - águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas e à recreação de contato primário (natação, esqui-aquático e mergulho);
- **Classe 3** - águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à preservação de peixes em geral e de outros elementos da fauna e da flora e à dessedentação de animais;
- **Classe 4** - águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento avançado, ou à navegação, à harmonia paisagística, ao abastecimento industrial, à irrigação e a usos menos exigentes.

Embora o monitoramento feito pela CETESB indique que a maioria dos corpos d’água de São Paulo apresenta valores de fósforo acima dos padrões de qualidade estabelecidos e processos bastante avançados de eutrofização de mananciais, esse Decreto não estabelece padrão de emissão de fósforo. (CHAO, 2006)

É importante ressaltar que em outros estados brasileiros a legislação adotada é mais restritiva em relação à presença de fósforo, comparativamente à de São Paulo:

- Santa Catarina (Decreto Estadual 14.250, de 05/06/1981) - Estabelece em seu Art. 19, item VIII, que nos lançamentos em trechos contribuintes de lagoas, lagunas ou estuários, a concentração de Fósforo Total seja de até 1 mg/L.
- Pernambuco (Lei 9.860, de 12/08/96) - Determina em seu Art. 21 que a definição das cargas máximas de fósforo em mananciais com tendência à eutrofização seja efetuada pela Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH).

3.7.1.3 Resolução CONAMA nº 359/2005

A Resolução CONAMA nº 359, datada de 29 de abril de 2005, *“Dispõe sobre a regulamentação do teor de fósforo em detergentes em pó para uso em todo o território nacional e dá outras providências”*. (CONAMA, 2005b)

O objetivo, de acordo com o Art. 1º, é *“Estabelecer os critérios para a utilização de fósforo na formulação de detergentes em pó para o uso no mercado nacional, visando a redução e eventual eliminação do aporte de fósforo dessa fonte nos corpos de água”*.

Através dessa Resolução, as quantidades de fósforo oriundas dos detergentes em pó são controladas através do estabelecimento de limites, ou concentração máxima por produto, bem como da média ponderada do elemento pelo grupo fabricante/importador (GFI).

Entende-se como GFI, a empresa ou grupo de empresas pertencentes a um mesmo conglomerado empresarial independentemente do número de inscrição no Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ), responsável por fabricar, importar ou contratar fabricação de detergentes em pó para uso no território nacional.

A média ponderada corresponde à soma da multiplicação da quantidade em massa

(tonelagem) de cada detergente em pó para uso no país, pelo seu respectivo teor de fósforo, dividido pela soma das quantidades em massa de detergente em pó, conforme fórmula abaixo:

$$MP = \frac{\Sigma (mi \times \%P)}{\Sigma mi}$$

Onde:

MP = Média Ponderada

mi = Massa (tonelagem) de cada detergente em pó

% P = teor de fósforo

Através dessa formulação, estabelece-se uma redução gradual dos níveis de fósforo nas fórmulas dos detergentes em pó em até 1,5%, no período de 3 anos, chegando a teores de 10,99% de P_2O_5 e 4,8% de P por formulação ao final de 36 meses.

De acordo com os estudos preliminares efetuados, isso deverá corresponder a uma redução de 30% na quantidade de STPP lançada nos rios do país, alterando das atuais 64 toneladas/dia para 46 toneladas/dia. (QUÍMICA E DERIVADOS, 2005)

Com as novas regras, passam a valer dois parâmetros de controle de produção: um teto máximo para os produtos e uma média ponderada por fabricante, a partir da qual cada indústria terá de equilibrar a composição de fósforo utilizada entre todos os seus produtos. (CONAMA, 2005b)

Na Tabela 20, encontram-se descritos os limites estabelecidos, de acordo com a redução gradativa proposta pela Resolução CONAMA n° 359/05.

Tabela 20: Limites de fósforo para os detergentes previstos na Resolução CONAMA n° 359/05.

Prazo de adequação a partir da publicação desta Resolução	Limite máximo de P_2O_5 por formulação (%)	Limite máximo de P por formulação (%)	Média ponderada máxima de P por GFI (%)	Média ponderada máxima de STPP por GFI (%)
6 meses	12,71	5,55	3,91	15,5
18 meses	12,14	5,3	3,41	13,5
36 meses	10,99	4,8	3,16	12,5

Fonte: CONAMA, 2005b.

As informações relativas às concentrações empregadas deverão ser disponibilizadas pelo GFI ao Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA), devendo esses dados ser disponibilizados ao público em até 30 dias após a entrega dos dados, conforme previsto em seu no Art. 5º, § 6.

É importante destacar, que as informações são disponibilizadas em meio digital pelo IBAMA somente para as empresas cadastradas, sendo a consulta efetuada diretamente através do sítio do Instituto na *internet*. O público em geral ou pessoas interessadas em acompanhar o andamento desse processo são orientadas a efetuar contato direto com as empresas do setor para verificação da existência de cadastro e do encaminhamento dos dados, conforme previsto nessa legislação.

Estabelece-se ainda, conforme Art. 7º, a previsão de revisão do conteúdo da Resolução em um período de 12 meses após a implementação da última redução, de forma a serem considerados dados sobre a evolução da redução dos níveis de fósforo nas águas e a avaliação dos métodos de controle empregados. Assim, nova revisão deverá ser efetuada a partir do mês de abril/2009.

3.7.1.4 Lei Federal nº 11.445/2007

A Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007, estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. (BRASIL, 2007)

Essa lei estabelece como alguns dos princípios fundamentais da prestação dos serviços de saneamento básico, conforme Art. 2º, a universalização do acesso de forma a atender as peculiaridades locais e regionais, buscando a eficiência e sustentabilidade econômica, através da utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e buscando a adoção de soluções graduais e progressivas.

A questão da progressividade no atendimento, em busca da universalização dos

serviços, é tratada também no Art. 19, itens II e III, onde se determina que para atendimento dos objetivos e metas de curto, médio e longo prazos serão admitidas soluções graduais e progressivas, observando a compatibilidade com os demais planos setoriais, com os respectivos planos plurianuais e com outros planos governamentais correlatos, identificando possíveis fontes de financiamento.

Para tanto, o Art 29, § 1, estabelece como duas das diretrizes para aplicação das taxas e dos recursos para os serviços de saneamento, a priorização do atendimento das funções essenciais relacionadas à saúde pública e a ampliação do acesso dos cidadãos e localidades de baixa renda aos serviços.

O Art. 44 determina que o licenciamento ambiental de unidades de tratamento de esgotos sanitários e de efluentes gerados nos processos de tratamento de água considerará as etapas de eficiência planejadas, a fim de alcançar progressivamente os padrões estabelecidos pela legislação ambiental, em função da capacidade de pagamento dos usuários. Para tanto, conforme § 2, a autoridade ambiental deverá estabelecer metas progressivas levando em conta o atendimento aos padrões das classes dos corpos hídricos e ao seu enquadramento, de forma alinhada à capacidade de pagamento das populações e usuários envolvidos.

3.7.2. Monitoramento dos Corpos d'Água: O Papel da CETESB

Considerando-se que o estabelecimento de limites e parâmetros é de grande importância para gestão e preservação da qualidade das águas, a efetividade de seus resultados depende da realização dos trabalhos de monitoramento ao longo do tempo, de forma que possam ser analisados tanto o atendimento à legislação, como a evolução dos indicadores e os seus impactos.

Necessita-se também, do estabelecimento de ferramentas para controle e fiscalização, a fim de que tais requisitos sejam cumpridos, de acordo com os diferentes usos

previstos para a água. As atividades de controle e monitoramento são, portanto, imprescindíveis não somente para a obtenção de informações técnicas a respeito da qualidade das águas, mas também para o estabelecimento de ações corretivas e preventivas. (VON SPERLING, 2005; PIVELI e KATO, 2006)

No Estado de São Paulo, a agência responsável pelo controle e monitoramento ambiental da qualidade das águas é a CETESB, criada em 24 de julho de 1968, pelo Decreto nº 50.079. Desde o ano de 1974, a CETESB opera a denominada Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo, que foi fundamentada na Lei Estadual nº 118, de 29 de junho de 1973 e tem como objetivo:

- Avaliar a evolução da qualidade das águas interiores do Estado;
- Permitir identificar áreas prioritárias para controle da poluição das águas;
- Apoiar o diagnóstico e controle da qualidade das águas doces utilizadas para abastecimento público, bem como para outros usos;
- Oferecer elementos técnicos para elaboração dos Planos de Bacia, Relatórios de Situação e Plano Estadual de Recursos Hídricos;
- Identificar trechos de rios nos quais a qualidade da água esteja degradada, permitindo o planejamento de ações para prevenção ou correção.

Os resultados obtidos com esse trabalho são publicados anualmente através do Relatório de Qualidade das Águas Interiores. Para monitoramento regular, a CETESB selecionou um conjunto de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos que estão descritos na Figura 21. No ano de 2003, foram incluídos índices de comunidades biológicas e contagem de algas cianofíceas. De acordo com o PERH (2005), essas inclusões visam aprimorar a atividade de monitoramento da qualidade dos corpos hídricos de São Paulo, tornando essa ferramenta mais completa e diferenciada.

Temperatura da água	Fósforo total	Bário
Temperatura do ar	Ortofosfato solúvel	Cádmio
pH	Resíduo total	Chumbo
Oxigênio Dissolvido (OD)	Resíduo não filtrável	Cobre
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Condutividade específica	Cromo total
Coliformes totais	Turbidez	Níquel
Coliformes termotolerantes	Coloração da água	Mercúrio
Nitrogênio total	Surfactantes	Zinco
Nitrato	Fenóis	
Nitrito	Cloreto	
Nitrogênio amoniacal	Ferro total	
Nitrogênio Kjeldhal	Manganês	

Figura 21: Parâmetros regularmente monitorados pela CETESB através da Rede de Monitoramento das Águas Interiores.

Fonte: PERH, 2005.

A avaliação da qualidade das águas nos relatórios emitidos pela CETESB está estruturada segundo a divisão em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs), estabelecida pela Lei 9.034/94, que instituiu o PERH. Essa Lei, também, classifica as UGRHs de acordo com sua vocação econômica, conforme se pode observar na Figura 22. (CETESB, 2007)

Figura 22: Classificação das UGRHs do Estado de São Paulo.

Fonte: CETESB, 2007.

Essa divisão tem como base a região geográfica e física da bacia hidrográfica, no entanto, leva em consideração também, os aspectos políticos e de desenvolvimento socioeconômico, tornando-se um marco na gestão dos recursos hídricos no Estado de São Paulo. (FOLEGATTI, 2005; PAGANINI, 2007)

As informações disponibilizadas pela CETESB através da Rede de Monitoramento de Qualidade das Águas Interiores permitem uma avaliação da evolução da qualidade das águas dos rios e reservatórios do Estado e possibilitam o levantamento de áreas onde se necessita o estabelecimento de ferramentas que permitam um efetivo controle da poluição das águas, de forma a disponibilizar um diagnóstico da qualidade das águas doces em seus diversos usos, oferecendo subsídios para a definição de ações preventivas, punitivas e de controle ambiental.

3.7.3. Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores e Pontos de Amostragem Operados pela CETESB

A Rede de Monitoramento operada pela CETESB possui hoje, 323 estações manuais de monitoramento das águas, 13 estações automáticas, que geram dados em tempo real, 25 pontos de análise de sedimento dos corpos d'água e 34 estações de avaliação de balneabilidade, totalizando 395 pontos de monitoramento de qualidade de água superficial. (CETESB, 2007)

O objetivo desse trabalho é fornecer subsídios para o estabelecimento de ações voltadas para o controle e a melhoria dos recursos hídricos do Estado de São Paulo, através das Redes Básica, de Monitoramento Regional, do Sedimento, de Balneabilidade dos Lagos e de Monitoramento Automático.

Dados sobre os objetivos específicos de cada uma dessas redes de monitoramento, o início da operação, bem como a frequência das análises e as variáveis estudadas

podem ser verificados na Tabela 21, a seguir.

Tabela 21: Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores, CETESB.

Monitoramento CETESB	Objetivos	Início da Operação	Pontos de Monitoramento	Frequência	Variáveis
Rede Básica	Fornecer um diagnóstico dos recursos hídricos do Estado de São Paulo	1974	167	Bimestral	Físicas, Químicas e Biológicas
Monitoramento Regional	Identificar problemas específicos de uma determinada região	2000	156	Bimestral e Semestral	Físicas, Químicas e Biológicas
Rede de Sedimento	Complementar o diagnóstico da coluna d'água	2002	25	Anual	Físicas, Químicas e Biológicas
Baleabilidade de Lagos	Informar as condições de banho à população	1994	34	Semanal	Biológicas
Monitoramento Automático	Controle de fontes poluidoras domésticas e indústrias, bem como controle da qualidade da água destinada ao abastecimento público	1998	13	Horária	Físicas e Químicas

Fonte: CETESB, 2007.

A Rede Básica é considerada a mais abrangente, possuindo o maior número de pontos de monitoramento. Do total dos 167 pontos dessa rede, 63%, ou seja, 106 pontos, localizam-se nas URGHI's classificadas como "industriais", sendo 16 no Paraíba do Sul, 24 no Piracicaba/Capivari/Jundiaí, 44 no Alto Tietê, 7 na Baixada Santista e 15 no Tietê/Sorocaba. Nelas situam-se as 3 maiores regiões metropolitanas do país (Santos, São Paulo e Campinas) e residem mais de 29 milhões de pessoas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Definição da Área de Estudo

Conforme levantado do decorrer deste trabalho, a presença de fósforo nas águas possui relação direta com a intensidade das ações antrópicas, principalmente em decorrência do lançamento de esgotos domésticos e industriais, da utilização doméstica de detergentes em pó e da ocorrência de processos erosivos nas áreas ocupadas pela atividade agrícola.

Visando avaliar os impactos dessas atividades sobre a ciclagem do nutriente, verificando a sua dinâmica no meio ambiente e oferecendo hipóteses quanto às suas principais fontes nas águas, de forma a visualizar essa questão a partir da realidade experimentada pelo Estado de São Paulo, a área definida para este estudo abrange a bacia hidrográfica do rio Tietê.

Justifica-se a escolha do Tietê como estudo de caso devido a alguns fatores que lhe conferem características particulares, como a diversidade de formas de uso e ocupação da bacia, decorrentes da elevada extensão territorial, e os contrastes relacionados com a qualidade das águas, principalmente após a RMSP.

Justifica-se ainda, pela existência de uma sequência de grandes represas ao longo do seu curso, característica que lhe altera o regime hídrico, contribuindo para a redução da velocidade das águas e favorecendo a precipitação do nutriente.

4.1.1. O Rio Tietê

O Tietê é o rio mais importante do Estado de São Paulo. Localizado geograficamente no centro do Estado, cruzando-o no sentido leste-oeste, atravessa 1.136 km, desde sua nascente, no município de Salesópolis, até desaguar no rio Paraná.

Assim, apesar de sua nascente estar localizada na Serra do Mar, distante apenas 22 km do Oceano Atlântico, o Tietê corre no sentido inverso, em direção ao interior. Nesse trajeto, atravessa os terrenos planos da bacia sedimentar de São Paulo e o solo acidentado do embasamento cristalino até a depressão periférica e a bacia sedimentar do Paraná. Anteriormente caracterizado por meandros, corredeiras e quedas d'água, o Tietê é hoje composto por trechos retificados na RMSP e pela existência de grandes lagos, formados pelos Reservatórios das Usinas Hidrelétricas, principalmente após a região do Médio Tietê. (PAGANINI, 2007)

Observa-se na Figura 23, a localização do rio Tietê no Estado de São Paulo, com a identificação da sua nascente e foz.

Figura 23: Localização do Rio Tietê no Estado de São Paulo.
Fonte: Adaptado de PAGANINI, 2007.

A bacia hidrográfica do rio Tietê ocupa uma área total de 71.381 km² e abrange 233 municípios. Trata-se da maior bacia hidrográfica do Estado, em termos territoriais, correspondendo a 28,7% da área total. (PAGANINI, 2007)

4.1.2. Panorama dos Usos e da Qualidade das Águas

O Tietê sempre foi considerado um rio bastante estratégico para o Estado de São Paulo e para o país.

Serviu de fonte de alimento e sustento para as mais diversas populações que se instalaram às suas margens, desde os tempos mais antigos. Participou ativamente do processo de colonização, transportando bandeirantes e jesuítas do litoral rumo ao interior, principalmente para os estados de Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul. Além disso, foi cenário de grandes eventos esportivos, na cidade de São Paulo. (ROCHA, 1991; PAGANINI, 2007)

Com o passar dos anos, a necessidade de suporte ao crescimento econômico e desenvolvimento urbano da capital do Estado, São Paulo, e sua região metropolitana, transformou o rio gradativamente e seus usos foram direcionados basicamente à geração de energia elétrica e ao recebimento de efluentes domésticos e industriais.

A implantação de usinas hidrelétricas no Tietê, a partir do início do século XX o colocam como um importante agente na condução dos processos de desenvolvimento do Estado e até do país e hoje, conforme cita PAGANINI (2007), o rio está transformado em um “complexo fluvial de grandes lagos”, onde cada lago representa um ecossistema singular, que propicia a exploração e utilização múltipla dos recursos naturais, tendo papel relevante na economia da macro-região onde se encontra inserido.

No que se refere à qualidade das águas, no entanto, a priorização do uso do Tietê para geração de energia elétrica resultou em um impacto negativo. Além das profundas alterações em seu regime hídrico causadas pela construção das represas, que transformaram o antigo ambiente lótico em ambientes lênticos, suas características físico-químicas também foram alteradas.

Conforme descreve ROCHA (1991), a história do rio Tietê traduz uma situação que pode ser considerada como de “inadimplência ambiental”, na qual, no decorrer de

muitas décadas em que a sua exploração econômica sobrepujou os demais usos, os aspectos qualitativos da água e a importância da garantia de suas condições sanitárias e ambientais foram relegadas a um plano inferior, o que resultou numa situação de deterioração e contaminação, principalmente em seu trajeto na RMSP.

Todas as iniciativas, desde aquelas planejadas pelo sanitarista Saturnino de Brito, datadas do início do século, bem como os diversos planos de ação elaborados para a gestão dos usos do Tietê durante o século XX, tais como o Plano Metropolitano de Desenvolvimento Integrado (PMDI) e o Saneamento da Grande São Paulo (SANEGRAN), ambos da década de 1970, foram modificados ou apenas parcialmente desenvolvidos. (PAGANINI, 2007)

Atualmente, depois das ações implementadas pelo Programa de Despoluição do Rio Tietê, conhecido como “Projeto Tietê”, criado em 1992, surgem resultados positivos na questão da qualidade das águas a jusante da capital. Após atravessar a RMSP e atingir as águas calmas das grandes represas situadas a partir do Médio Tietê, há um processo de gradativa recuperação, com a consequente ampliação dos seus usos. Apesar da situação complexa existente na RMSP, inúmeros municípios situados no interior do Estado convivem com um Tietê em condições apropriadas para os mais diversos usos, desde a exploração para atividades de lazer e turismo, até a pesca e o planejamento futuro do abastecimento público. Nas Figuras 24 e 25, imagens do Tietê no interior do Estado, proporcionada pela melhoria da qualidade das águas.

Figura 24: Lazer às margens do Tietê, na cidade de Sabino. Reservatório de Promissão.
Fonte: PAGANINI, 2007.

Figura 25: Pesca no Tietê, na cidade de Itapuí. Reservatório de Bariri.
Fonte: PAGANINI, 2007.

Essa evolução é ratificada pelos dados relativos à qualidade das águas, que compõem a Rede de Monitoramento de Qualidade das Águas Interiores, executada pela CETESB e publicada anualmente através do Relatório de Qualidade das Águas Interiores, desde 1974.

A esse respeito, PAGANINI (2007) acrescenta que os ecossistemas formados pelos grandes lagos construídos ao longo do caudal do Tietê associados à ampliação das ações voltadas ao tratamento dos esgotos domésticos na bacia e à autodepuração, processo proporcionado pela exposição dos espelhos d'água e pela simbiose entre algas e bactérias, contribuem para a melhoria da qualidade do rio após a RMSP.

A construção de barragens no Tietê teve início em 1901, com a construção da Usina de Santana de Parnaíba. No entanto, a era das grandes represas iniciou-se somente em 1963, quando foi construída a Usina de Barra Bonita.

A bacia hidrográfica do Tietê possui hoje mais de 35 reservatórios e barragens, utilizados não somente para geração de energia elétrica, mas também para abastecimento público, contenção de cheias, irrigação, lazer ou piscicultura. (PAGANINI, 2007)

Além das alterações no regime hídrico, a diminuição da velocidade das águas e o aumento do tempo de detenção podem contribuir para a precipitação de elementos químicos, muitos dos quais podem ser tóxicos, bem como para o processo natural de autodepuração.

Informações relativas à extensão das áreas inundadas, o volume útil e as vazões dos principais reservatórios implantados no Tietê podem ser visualizadas na Tabela 22.

Tabela 22: Principais reservatórios do rio Tietê.

Reservatório	Município	Ano de Operação	Área de Inundação (km ²)	Vazão Média (m ³ /s)	Vazão Regular (m ³ /s)	Volume Útil (m ³)
Ponte Nova	Salesópolis	1972	28,1	9,9	7,3	296,0
Penha	São Paulo	1984	*	*	-	*
Edgard Souza	Santana de Parnaíba	1955	5,1	90,0	50,9	6,5
Pirapora	Pirapora do Bom Jesus	1956	14,3	10,3	10,3	61,0
Rasgão	Pirapora do Bom Jesus	1925	1,3	17,0	3,1	1,2
Porto Góes	Salto	1928	*	132,0	-	0,5
Barra Bonita	Barra Bonita / Igaracú Tietê	1963	310	290,0	222,0	2.566,0
Álvaro Souza Lima	Bariri / Boracéia	1965	62,5	327,0	238,0	62,0
Ibitinga	Ibitinga / Iacanga	1969	113,6	403,0	286,0	52,0
Mário Lopes Leão	Promissão / Ubarana	1975	530	516,0	382,0	2.128,0
Nova Avanhandava	Buritama / Brejo Alegre	1982	210	562,0	405,0	725,0
Três Irmãos	Andradina / Pereira Barreto	1991	817	606,0	386,2	3.440,0

Fonte: Adaptado de PAGANINI, 2007.

4.1.3. O Projeto Tietê

O Projeto Tietê teve início no ano de 1992, sendo o principal resultado das mobilizações sociais ocorridas no período, inclusive com coleta da assinatura de 1,2 milhões de pessoas favoráveis às ações para sua recuperação e despoluição. Seu objetivo é ampliar os índices de atendimento com coleta, afastamento e tratamento de esgotos na RMSP, oferecendo uma melhoria nas condições sanitárias e ambientais da região. (PAGANINI, 2007; SSE, 2008)

As obras Projeto Tietê estão sob responsabilidade e coordenação da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), e foram divididas em etapas. A **1ª etapa** foi realizada no período de 1992 a 1998, com a aplicação de recursos da ordem de U\$ 1,1 bilhão. O objetivo dessa etapa foi atuar nas bacias do Tietê e do Tamanduateí, com a construção de 3 Estações de Tratamento de Esgotos (ETE São Miguel, ETE Parque Novo Mundo e ETE ABC), implantação de 1,5 mil km de redes

coletoras, 315 km de coletores-tronco, 37 km de interceptores e execução de 250 mil ligações.

A **2ª etapa** foi realizada no período de 2000 a 2008, com investimentos da ordem de U\$ 500 milhões. Executados 33 km de interceptores, 110 km de coletores-tronco, 960 km de redes coletoras e 290 mil ligações de esgoto, além de melhorias na ETE Barueri. As **3ª e 4ª etapas** estão planejadas para o período de 2009 a 2016, com investimentos estimados em R\$ 1,6 bilhões. Serão executados 1250 km de redes coletoras, 549 km de coletores-tronco e interceptores e ampliação da capacidade de vazão das ETE's em 5,9 m³/s. (SSE, 2008)

Os resultados obtidos até o presente momento indicam uma evolução de 14% em relação à coleta de esgotos e de 46% quanto ao tratamento dos esgotos coletados, comparativamente aos dados do ano de 1990. Isso representa que, no período de 18 anos, mais de 5 milhões de pessoas passaram a contar com serviço de coleta de esgotos e mais de 8,5 milhões, com tratamento dos esgotos coletados. A evolução desses números pode ser observada na Figura 26.

Figura 26: Evolução do atendimento com coleta e tratamento de esgotos na RMSP: Projeto Tietê.
Fonte: SSE, 2008.

4.1.4. As Bacias do Tietê

Conforme estabelecido pela Lei 9.034/94, que instituiu o Plano Estadual de Recursos Hídricos, a bacia do Tietê está dividida em seis Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHI's), sendo: Alto Tietê (AT) - UGRHI 6, Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ) - UGRHI 5, Tietê/Sorocaba (TS) - UGRHI 10, Tietê/Jacaré (TJ) - UGRHI 13, Tietê/Batalha (TB) - UGRHI 16 e Baixo Tietê (BT) - UGRHI 19.

A área a ser estudada através do presente trabalho abrange os 233 municípios que compõem as 6 UGRHI's que formam a bacia do rio Tietê, que são:

- **Alto Tietê (AT):** Arujá, Barueri, Biritiba-Mirim, Caieiras, Cajamar, Carapicuíba, Cotia, Diadema, Embu, Embu-Guaçú, Ferraz de Vasconcelos, Francisco Morato, Franco da Rocha, Guarulhos, Itapecerica da Serra, Itapevi, Itaquaquecetuba, Jandira, Mairiporã, Mauá, Mogi das Cruzes, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Poá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Salesópolis, Santana do Parnaíba, Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, São Paulo, Suzano e Taboão da Serra;
- **Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ):** Águas de São Pedro, Americana, Amparo, Analândia, Artur Nogueira, Atibaia, Bom Jesus dos Perdoes, Bragança Paulista, Campinas, Campo Limpo Paulista, Capivari, Charqueada, Cordeirópolis, Corumbataí, Cosmópolis, Elias Fausto, Holambra, Hortolândia, Indaiatuba, Ipeúna, Iracemápolis, Itatiba, Itupeva, Jaguariúna, Jarinu, Joanópolis, Jundiaí, Limeira, Louveira, Mombuca, Monte Alegre do Sul, Monte Mor, Morungaba, Nazaré Paulista, Nova Odessa, Paulínia, Pedra Bela, Pedreira, Pinhalzinho, Piracaia, Piracicaba, Rafard, Rio Claro, Rio das Pedras, Saltinho, Salto, Santa Bárbara d'Oeste, Santa Gertrudes, Santa Maria da Serra, Santo Antônio da Posse, São Pedro, Sumaré, Tuiuti, Valinhos, Vargem, Várzea Paulista e Vinhedo;

- **Tietê/Sorocaba (TS):** Alambari, Alumínio, Anhembi, Araçariguama, Araçoiaba da Serra, Bofete, Boituva, Botucatu, Cabreúva, Capela do Alto, Cerquilha, Cesário Lange, Conchas, Ibiúna, Iperó, Itu, Jumirim, Laranjal Paulista, Mairinque, Pereiras, Piedade, Porangaba, Porto Feliz, Quadra, Salto de Pirapora, São Roque, Sarapuí, Sorocaba, Tatuí, Tietê, Torre de Pedra, Vargem Grande Paulista e Votorantim;
- **Tietê/Jacaré (TJ):** Agudos, Araraquara, Arealva, Areiópolis, Bariri, Barra Bonita, Bauru, Boa Esperança do Sul, Bocaina, Boracéia, Borebi, Brotas, Dois Córregos, Dourado, Gavião Peixoto, Iacanga, Ibaté, Ibitinga, Igarçu do Tietê, Itajú, Itapuí, Itirapina, Jaú, Lençóis Paulista, Macatuba, Mineiros do Tietê, Nova Europa, Pederneiras, Ribeirão Bonito, São Carlos, São Manuel, Tabatinga, Torrinha e Trabiju;
- **Tietê/Batalha (TB):** Adolfo, Avaí, Bady Bassit, Balbinos, Borborema, Cafelândia, Dobrada, Elisiário, Guaíçara, Guarantã, Ibirá, Irapuã, Itajobí, Itápolis, Jaci, Lins, Marapoama, Matão, Mendonça, Nova Aliança, Novo Horizonte, Pirajuí, Piratininga, Pongaí, Potirendaba, Presidente Alves, Reginópolis, Sabino, Sales, Santa Ernestina, Taquaratinga, Urú e Urupês;
- **Baixo Tietê (BT):** Alto Alegre, Andradina, Araçatuba, Avandava, Barbosa, Bento de Abreu, Bilac, Birigui, Braúna, Brejo Alegre, Buritama, Castilho, Coroados, Gastão Vidigal, Glicério, Guaraçaí, Guararapes, Itapura, José Bonifácio, Lavínia, Lurdes, Macaubal, Magda, Mirandópolis, Monções, Murutinga do Sul, Nipoã, Nova Castilho, Nova Luzitânia, Penápolis, Pereira Barreto, Planalto, Poloni, Promissão, Rubiacéia, Santo Antonio do Aracanguá, Sud Menucci, Turiúba, Ubarana, União Paulista, Valparaíso e Zacarias.

Ainda conforme preconizado na Lei 9.034/94, as UGRHI's foram caracterizadas de acordo com sua vocação econômica, sendo que as Unidades de Gerenciamento Alto Tietê, Piracicaba/Capivari/Jundiaí e Tietê/Sorocaba foram classificadas como de

vocação industrial, a Unidade Tietê/Jacaré está classificada como “em industrialização” e Tietê/Batalha e Baixo Tietê são classificadas como de vocação agropecuária. A localização das UGRHI's do Tietê, a classificação das bacias e suas principais características físicas e geográficas estão descritas na Figura 27 e Tabela 23, a seguir.

Figura 27: Localização das UGRHI's do Tietê.

Fonte: Adaptado de PAGANINI, 2007.

Tabela 23: Caracterização das bacias do rio Tietê.

Bacia	Código UGRHI	Classificação	Nº Municípios	Área Drenagem (Km ²)	Abrangência
Alto Tietê (AT)	6	Industrial	34	5.868	Bacia do rio Tietê, das cabeceiras à barragem de Rasgão
Piracicaba/Capivari/Jundiá (PCJ)	5	Industrial	57	14.178	Bacia do rio Piracicaba, da divisa de Minas Gerais à sua foz no rio Tietê, mais as bacias dos rios Capivari e Jundiá
Tietê/Sorocaba (TS)	10	Industrial	33	11.829	Bacia do rio Tietê entre as barragens de Rasgão e Barra Bonita, menos as bacias dos rios Capivari, Jundiá e Piracicaba
Tietê/Jacaré (TJ)	13	Em industrialização	34	11.779	Bacia do rio Tietê entre as barragens de Barra Bonita e Ibitinga
Tietê/Batalha (TB)	16	Agropecuária	33	13.149	Bacias d rio Tietê entre as barragens de Ibitinga e Promissão
Baixo Tietê (BT)	19	Agropecuária	42	15.588	Bacia do rio Tietê entre a barragem de Promissão e a sua foz, mais a vertente paulista do rio Paraná até a bacia do córrego Pendenga

FONTE: CETESB, 2005; PERH, 2005; PAGANINI, 2007.

Na bacia do rio Tietê encontram-se inseridas importantes áreas metropolitanas do Estado e outras regiões de alta concentração demográfica. Possui também, importantes pólos industriais e pólos de desenvolvimento no interior do Estado, caracterizados pela intensa atividade agropecuária. Em decorrência dessa situação, pode-se observar a multiplicidade dos usos das águas e uma grande diversidade de ações antrópicas sobre os recursos hídricos, gerando impactos consideráveis nos aspectos quali-quantitativos.

Nesse sentido, a comparação das quantidades de água captadas para utilização urbana e industrial nas diferentes UGRHI's do Tietê indica que o maior volume é utilizado no Alto Tietê e o menor volume, no Tietê Batalha. Em relação ao Alto Tietê, é importante destacar o alto volume captado para abastecimento público, de cerca de 69,23 m³/s, que pode ser explicado pela elevada densidade populacional da região. Em relação a essa UGRHI, ainda, destaca-se que há uma importação de significativo volume de água para abastecimento público, oriunda do Piracicaba/Capivari/Jundiaí, conforme será detalhado no item 4.1.4.1 a seguir.

A comparação entre os volumes de água captados para utilização urbana ou industrial nas diferentes UGRHI's do Tietê pode ser visualizada na Tabela 24.

Tabela 24: Volumes de água captados para uso urbano e industrial nas UGRHI's do rio Tietê.

UGRHI	Volume Captado (m ³ /s)		
	Urbano	Industrial	Total
Alto Tietê (AT)	69,23	31,56	100,79
Piracicaba-Capivari-Jundiaí (PCJ)	14,90	17,30	32,20
Tietê-Sorocaba (TS)	2,99	4,09	7,08
Tietê-Jacaré (TJ)	5,27	2,12	7,39
Tietê-Batalha (TB)	0,25	1,38	1,63
Baixo-Tietê (BT)	0,86	1,37	2,23
Total das Bacias do Tietê	93,50	57,82	151,32
Total do Estado de São Paulo	150,86	136,94	287,80

FONTE: PERH, 2005.

Apesar do volume captado no Alto Tietê corresponder a cerca de 67% do total da bacia do Tietê, a área de drenagem as vazões médias observadas nessa UGRHI são as mais baixas, comparando-se com o total da bacia. As maiores vazões encontram-se no Piracicaba/Capivari/Jundiaí e a maior área de drenagem, no Baixo Tietê. É importante ressaltar que na vazão média estipulada para o PCJ, está contabilizado o volume exportado para o Alto Tietê, de cerca de 31,5 m³/s.

A comparação com os dados referentes ao Estado de São Paulo, demonstra que a bacia do Tietê possui 29% das áreas de drenagem e 21,5% das vazões. O comparativo das áreas de drenagem e vazões médias da bacia do rio Tietê e do total do Estado, pode ser visualizado na Tabela 25.

Tabela 25: Áreas de drenagem e vazões médias nas UGRHI's do rio Tietê e no Estado.

UGRHI	Área de Drenagem		Vazão Média	
	Total (km²)	% da Bacia	Total (m³/s)	% da Bacia
Alto Tietê (AT)	5.868	8,1%	84	12,5%
Piracicaba-Capivari-Jundiaí (PCJ)	14.178	19,6%	172	25,6%
Tietê-Sorocaba (TS)	11.829	16,3%	107	15,9%
Tietê-Jacaré (TJ)	11.779	16,3%	97	14,5%
Tietê-Batalha (TB)	13.149	18,2%	98	14,6%
Baixo-Tietê (BT)	15.588	21,5%	113	16,8%
Total das Bacias do Tietê	72.391	-	671	-
Total do Estado	248.209	-	3.120	-

Fonte: PERH, 2005; PAGANINI, 2007.

4.1.4.1. Alto Tietê (AT)

A UGRHI Alto Tietê possui uma área de 5.985 km² e um total de 19,3 milhões de habitantes, o que corresponde a quase a metade da população do Estado, sendo que a cidade de São Paulo, com mais de 10,8 milhões de habitantes e 56,3% da população total da UGRHI, contribui de maneira fundamental para essa aglutinação populacional. A somatória da população de apenas 5 municípios (São Paulo, Guarulhos, São Bernardo do Campo, Osasco, Santo André) responde por 76% da população da UGRHI. (PERH, 2005; FUNDAÇÃO SEADE, 2007; PAGANINI, 2007)

Desse total, estima-se que cerca de 2 milhões de pessoas residem em favelas, aproximadamente 19% da população total da UGRHI, o que ilustra fortes desigualdades sociais.

O território abrangido por essa UGRHI ocupa grande parte da RMSP, sendo que dos municípios metropolitanos, apenas Guararema, Santa Isabel e Juquitiba não integram a mesma. Embora as áreas desses municípios sejam relativamente grandes, suas populações respectivas correspondem a cerca de 0,5% do total metropolitano. Portanto, cerca de 99,5% da população da RMSP (com 8.051 km² e 39 municípios) estão localizados na área da UGRHI do Alto Tietê, o que na prática acaba por resultar em uma similaridade para fins de tendências demográficas, sociais e econômicas.

Assim, embora os contornos territoriais sejam diferentes, pode-se afirmar que a RMSP e a UGRHI Alto Tietê possuem a mesma dinâmica econômica, porque ambas são compostas pelos municípios mais representativos em termos de atividades econômicas. (PERH, 2005)

É composta por 34 municípios, considerando-se somente os que possuem sede na área da UGRHI. Na Figura 28, pode-se visualizar o mapa de localização da Unidade de Gerenciamento no Estado e a delimitação dos municípios que a compõem, inclusive daqueles que possuem sede fora da UGRHI.

Figura 28: Localização e municípios pertencentes à UGRHI Alto Tietê.
Fonte: PERH, 2005.

A estrutura econômica da UGRHI 6 é bastante complexa, pois nela são desenvolvidas atividades que se entrelaçam entre os setores industrial, comercial e de serviços, tornando-se difícil apontar uma atividade econômica preponderante. Considerada metrópole global, a RMSP sofre influência da crescente internacionalização dos fluxos de bens, serviços e informações que vêm ocorrendo no Brasil desde início da década de 1990.

A indústria, considerada historicamente a principal atividade econômica metropolitana, aos poucos cede espaço para as atividades terciárias. Nessa tendência que vem se consolidando, a região tem vocação para abrigar, ao invés dos parques produtivos, centros de decisão da economia nacional.

Assim, muitas das indústrias deslocaram sua infra-estrutura produtiva para o interior ou para outras regiões do país, mantendo seu centro administrativo na capital. Essa

mudança das indústrias para o interior paulista, revelou um movimento de transformação da característica econômica da RMSP, com a troca dos ramos industriais pelos segmentos de serviços com maior teor tecnológico, mantendo-a como o principal centro do dinamismo econômico do país. (PERH, 2005)

a) Águas superficiais

Os principais cursos d'água da UGRHI Alto Tietê são os rios Tietê, Claro, Paraitinga, Biritiba-Mirim, Jundiaí, Taiaçupeba-Mirim, Embu-Guaçu, Embu-Mirim, Cotia, Baquirivu-Guaçu, Cabuçu de Cima, Tamanduateí, Pinheiros e Juqueri, bem como os córregos Aricanduva e Cabuçu de Baixo.

A precipitação pluviométrica média anual na UGRHI Alto Tietê é de 1.400 mm, com maiores intensidades registradas na área próxima a Serra do Mar; na sub bacia Billings, a média anual chega a 2.500 mm.

A UGRHI possui uma vazão média de 84 m³/s e vazão mínima de 20 m³/s, com grandes diferenças nos diversos pontos do caudal do Tietê. Enquanto na Barragem de Ponte Nova, a vazão média é de 8,8 m³/s, na Barragem de Pirapora, já próximo do limite geográfico com a UGRHI Tietê/Sorocaba, a vazão média é de 102,4 m³/s. As vazões médias importadas da Bacia Piracicaba/Capivari/Jundiaí são da ordem de 31,5 m³/s, através do Sistema Cantareira e, da Baixada Santista para o Sistema Guarapiranga, são importados cerca de 1 m³/s. Em ambos os casos a utilização é destinada ao abastecimento público. A título de exportação, a UGRHI Alto Tietê encaminha cerca de 20,6 m³/s para a Baixada Santista, para fins de aproveitamento hidrelétrico. (PERH, 2005)

Essa exportação ocorre através da reversão do rio Tietê ao longo do canal do rio Pinheiros, com bombeamento para a Represa Billings e geração de energia na Usina Henry Borden, localizada no município Cubatão. Implantado como Projeto Serra, em 1927, esse sistema é hoje conhecido como Tietê-Billings. Devido aos impactos da qualidade das águas da Represa Billings, desde o ano de 1992, as manobras de reversão são controladas e efetuadas somente em casos excepcionais, como por

exemplo, para controle de cheias. (PAGANINI, 2007)

A Tabela 26, a seguir, descreve as áreas de drenagem e vazões médias aproximadas ao longo do rio Tietê na UGRHI Alto Tietê.

Tabela 26: Áreas de drenagem e vazões características aproximadas ao longo do Tietê, na UGRHI Alto Tietê.

Trechos	Área de Drenagem (km ²)	Vazão Média (m ³ /s)
Rio Tietê, em Ponte Nova	320	8,80
Rio Tietê, jusante da foz rio Paraitinga	593	13,20
Rio Tietê, jusante da foz do rio Biritiba	715	16,30
Rio Tietê, jusante da foz do rio Jundiá	1.083	23,90
Rio Tietê, jusante da foz do rio Taiacupeba	1.325	29,00
Rio Tietê, montante da Penha	1.906	32,20
Rio Tietê, foz do rio Pinheiros	4.652	85,80
Rio Tietê, em Edgard Souza	4.818	89,30
Rio Tietê, na Barragem de Pirapora	5.833	102,40

FONTE: PERH, 2005.

Cabe ressaltar que, por se tratar de uma bacia altamente regularizada e controlada por uma diversidade de obras hidráulicas, como barramentos, sistemas de recalque e controle de cheias, torna-se indiferente definir um regime fluviométrico natural de vazões mínimas, médias e máximas para esta UGRHI. Os efeitos das complexas operações de transferências de vazões inter e intrabacia geram um regime de vazões bastante peculiar. (PERH, 2005)

Além disso, as características das vazões dos cursos d'água da RMSP foram sendo alteradas gradualmente devido ao processo de urbanização, à implantação do sistema Tietê-Billings e ao lançamento de grandes quantidades de esgotos. O recobrimento do solo permeável alterou a dinâmica do escoamento artificial.

A UGRHI Alto Tietê é caracterizada pela expressiva presença de reservatórios, com utilização destinada ao abastecimento público ou à geração de energia elétrica. Os principais reservatórios instalados nessa UGRHI, bem como dados a respeito das vazões, áreas e volume de cada um deles encontram-se descritos na Tabela 27.

Tabela 27: Principais reservatórios localizados na UGRHI Alto Tietê.

Reservatório	Rio	Área de Drenagem (km ²)	Área Inundada (km ²)	Volume Útil (10 ⁶ m ³)	Vazão Regularizada (m ³ /s)
Águas Claras	Águas Claras	26,0	0,2	0,8	0,3
Biritiba	Biritiba Mirim	75,0	9,0	34,4	1,8
Pedro Beicht	Cotia	64,0	2,1	14,1	0,9
Billings (Rio Grande)	Grande	183,0	20,7	153,1	
Billings (Pedreira)	Grande	377,0	106,8	995,0	
Guarapiranga	Guarapiranga	630,0	33,9	182,2	9,5
Jundiaí	Jundiaí	116,0	15,7	60,0	2,1
Paiva Castro	Juqueri	314,0	5,3	10,1	1,3
Paraitinga	Paraitinga	182,0	5,2	35,0	2,0
Ribeirão do Campo	Ribeirão do Campo	12,0	2,0	13,8	1,0
Taiapuêba	Taiapuêba	224,0	18,0	82,0	3,0
Ponte Nova	Tietê	320,0	25,7	296,0	7,3
Edgard souza	Tietê	3.354,0	4,0	9,8	50,9
Pirapora	Tietê	5.649,0	11,4	53,0	10,3
Rasgão	Tietê	5.810,0	0,9	3,1	3,1

Fonte: Adaptado de PERH, 2005.

Ressalta-se que, em relação ao Reservatório de Biritiba, as obras estão concluídas e o reservatório encontra-se em fase de formação.

Os reservatórios Jundiaí, Taiapuêba, Biritiba e Paraitinga fazem parte do Sistema Produtor Alto Tietê, que abastecem a RMSP em conjunto com o Reservatório Ponte Nova, localizado junto ao município de Salesópolis.

Diante do nível de descaracterização dos recursos hídricos dessa bacia, tanto sob o aspecto sanitário quanto hidrológico, o nível de recarregamento do lençol freático é praticamente inexistente, sendo que atualmente os rios ou canais são alimentados durante os períodos de seca pelo lançamento de esgotos, e na época de chuvas, pelo deflúvio oriundo das bacias impermeabilizadas, inclusive, às vezes, acima da sua capacidade máxima, causando inundações.

Do volume total de água utilizado nessa UGRHI, 79% é destinada ao uso urbano, 17% ao uso industrial e 4% à irrigação. (CETESB, 2007)

O comparativo dos usos, em termos percentuais, pode ser visualizado na Figura 29.

Figura 29: Usos da água na UGRHI Alto Tietê.
Fonte: PERH, 2005; CETESB, 2007.

Além da utilização da água para abastecimento público e industrial, e para a irrigação de plantações, registram-se usos significativos para geração de energia elétrica. Os usos voltados para a produção agrícola são destinados principalmente à produção de hortifrutigranjeiros na região próxima à nascente. Em relação ao uso industrial, destacam-se os municípios de Santo André, São Bernardo, São Caetano, Diadema, Mauá e Guarulhos.

São registrados também, de forma bastante expressiva, usos da água para recepção de efluentes domésticos e industriais, sendo que, neste último caso, esses efluentes têm origem principalmente em metalúrgicas, indústrias farmacêuticas, automobilísticas, químicas, têxteis, dentre outras. (PAGANINI, 2007)

b) Uso e ocupação do solo

Sob o aspecto geomorfológico, a UGRHI está completamente inserida no Planalto Atlântico, que se caracteriza como uma região de terras altas, constituída predominantemente por rochas cristalinas. Em relação à questão de vegetação e uso do solo, possui uma estreita faixa de florestas contínuas ou com menor nível de fragmentação nas porções leste/sudeste, junto à escarpa da Serra do Mar e

sul/sudoeste e ao norte, em áreas da Serra da Cantareira.

Na área urbana de São Paulo e demais cidades conurbadas, a distribuição das manchas de vegetação nativa é bastante irregular, estando restritas basicamente a locais como o Parque Fontes do Ipiranga, Parque da Serra da Cantareira, Pico do Jaraguá, e Serra do Itapeti. (PERH, 2005; CETESB, 2007)

A utilização do solo é bastante diversificada. Na região da nascente do rio, predominam as atividades agrícolas e a mineração de não metálicos para a construção civil. Na RMSP, é intensa a ocupação urbana. (PAGANINI, 2007)

A UGRHI Alto Tietê é constituída, em geral, por áreas de baixa suscetibilidade a erosão em relação aos aspectos do meio físico, sendo que a alta criticidade verificada em algumas áreas desta bacia se deve aos fatores de uso e ocupação inadequados do solo. Principalmente no município de São Paulo, constata-se a ocupação irregular de margens de córregos, geralmente por favelas, com a construção de aterros expostos à ação erosiva das águas dos córregos, sem qualquer tipo de proteção.

As áreas com muito alto potencial natural à erosão são encontradas em solos do embasamento cristalino em relevos de serras e escarpas, em declividades superiores a 30%, com predominâncias de solos rasos, nas denominadas associações cambissolos/podzólicos e litólicos/cambissolos, que favorecem a ocorrência de processos erosivos. Ocorrem principalmente nas serras da Cantareira e Jaraguá. As áreas consideradas com alta suscetibilidade são descritas em pontos do embasamento cristalino em relevos de morros com declividades superiores a 20%. Ocorrem na Serra da Cantareira, na região de Cajamar, a nordeste de Guarulhos, em Ferraz de Vasconcelos, Mauá, Ribeirão Pires e Salesópolis. (PERH, 2005)

A vegetação natural corresponde a 27,2% da área total, com ocorrência principalmente na porção sul, sudeste, centro-norte e sudoeste, destacando-se os municípios de São Paulo, São Bernardo, Mogi das Cruzes, Cotia e Salesópolis. (CETESB, 2007)

4.1.4.2. Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ)

A UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí possui uma área de drenagem de 15.414 km², dos quais, 14.178 km² estão em área do Estado de São Paulo. É constituída pelas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, estes com locais de escoamento independentes no rio Tietê. A bacia hidrográfica do rio Piracicaba, dentro do Estado de São Paulo, apresenta uma área de drenagem superior a 76% em relação ao total da UGRHI. (PERH, 2005)

Nesta Unidade de Gerenciamento está situada a Região Metropolitana de Campinas (RMC) que integra 19 municípios, sendo que somente 4 municípios (Campinas, Limeira, Piracicaba e Jundiaí), concentram cerca de 43% da população total da UGRHI. A população de Campinas representa, por si só, aproximadamente, 22% desse total.

A UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí é a segunda mais populosa do Estado de São Paulo. As cidades próximas ao entorno de Campinas e Jundiaí encontram-se num estágio avançado de conurbação, fenômeno induzido pela relativa proximidade da capital e pela boa qualidade da malha viária existente. Mesmo estando com um porte demográfico considerável, a dinâmica econômica que vem apresentando essa região nas últimas décadas do século passado, leva a crer que haverá um crescimento populacional acima da média do Estado. (PERH, 2005)

As principais indústrias da região se situam no município de Campinas e nos municípios em seu entorno, principalmente em Paulínia, Indaiatuba, Sumaré, Americana e Santa Bárbara d'Oeste, seguidas pelos municípios de Piracicaba, Limeira e Jundiaí. O município de Campinas caracteriza-se, também, por possuir um setor terciário expressivo.

É composta por 57 municípios que possuem sua sede na área da UGRHI. Na Figura 30, pode-se visualizar o mapa de localização da UGRHI no Estado e delimitação dos municípios que a compõem, inclusive daquelas cuja sede está fora da bacia.

Figura 30: Localização e municípios pertencentes à UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí.

Fonte: PERH, 2005.

A região abrangida pela UGRHI é a segunda de maior importância econômica do Estado; somados os valores adicionados e a população de todos os seus municípios, chega-se a um resultado que só é superado pela UGRHI Alto Tietê. Alguns de seus municípios fazem parte do Complexo Metropolitano Expandido (CME) que reúne regiões metropolitanas e aglomerações urbanas que se articulam fortemente com a RMSP. O parque produtivo é bastante diversificado, destacando-se indústrias com acentuado conteúdo tecnológico produtoras de componentes para os setores de telecomunicação e informática, além de montadoras de automóveis, refinaria de petróleo, fábricas de papel e celulose, indústrias alimentícias e usinas sucroalcooleiras. (PERH, 2005)

Essa UGRHI foi a pioneira em organização de Comitê de Bacias, sendo que atualmente, além do Plano de Bacias, já conta com a cobrança pelo uso das águas. (PAGANINI, 2007)

a) Águas superficiais

Os principais cursos d'água da UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí são os rios Capivari, Capivari-Mirim e Jundiaí, este que deságua na margem direita do rio Tietê, junto à Barragem de Porto Góes, bem como os rios Jundiaí-Mirim, Piraí, Atibaia, Corumbataí, Jaguari e Piracicaba, cuja foz encontra-se no Reservatório da Usina de Barra Bonita. (CETESB, 2005)

A precipitação pluviométrica média anual nesta UGRHI varia entre 1.200 e 1.800 mm anuais, sendo que nos trechos das cabeceiras dos cursos formadores do rio Piracicaba, na região da Mantiqueira, ocorrem as maiores precipitações pluviométricas, cujos índices superam os 2.000 mm anuais. Tais índices caem para 1.400 e 1.200 mm nos cursos médios e baixos, respectivamente. (PERH, 2005)

A UGRHI possui uma vazão média de 172 m³/s e vazão mínima estimada de 43 m³/s. Desse total, porém, em particular as vazões da bacia do Piracicaba não se encontram totalmente à disposição para uso nessa bacia, pois cerca de 31,5 m³ são exportados para a RMSP, via Sistema Cantareira. Para efetuar tal derivação, foram implantados três reservatórios nas cabeceiras na bacia do Piracicaba (Jaguari-Jacareí, Atibainha e Cachoeira). Simultaneamente ao atendimento da RMSP, esses reservatórios fornecem uma vazão de 15 m³/s para o rio Atibaia em Paulínia e 40 m³/s para o rio Piracicaba na cidade do mesmo nome. (PERH, 2005; CETESB, 2007)

Dados da CETESB para o ano de 2005 apontam que nos trechos dos rios Atibaia, Capivari, Jundiaí e Piracicaba, que se encontram em regiões de alta densidade populacional, os usos são conflitantes e a eutrofização de seus mananciais se encontra em estágio avançado. (CETESB, 2005; PERH, 2005)

Do volume total de água utilizado nessa UGRHI, 43% é destinado ao uso urbano, 37% ao uso industrial e 20% à irrigação. (CETESB, 2007).

O comparativo dos usos, em termos percentuais pode ser visualizado na Figura 31.

Figura 31: Usos da água na UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí.
Fonte: PERH, 2005; CETESB, 2007.

Além da utilização da água para abastecimento público e industrial, e para a irrigação de plantações, registram-se usos para geração de energia elétrica e recreação, além da quantidade exportada para utilização na UGRHI Alto Tietê.

São registrados também, usos da água para afastamento dos efluentes domésticos e industriais, sendo que, neste último caso, esses efluentes têm origem principalmente em indústrias químicas, têxteis, eletrônicas, metalúrgicas e agroindústria. (CETESB, 2005; PAGANINI, 2007)

b) Uso e ocupação do solo

A geomorfologia da UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí é caracterizada por zonas de Planalto Atlântico, na parte leste, sendo constituído por relevo montanhoso, com morros, alcançando altitudes superiores a 1.200 m, e vales chegando a cotas altimétricas entre 750 e 850 m. Na parte central, encontram-se zonas da Depressão Periférica, que apresenta topografia colinosa e localiza-se em uma faixa de aproximadamente 50 km. Na parte nordeste, localizam-se as Cuestas Basálticas, constituídas por relevo escarpado desenvolvido sobre rochas basálticas.

A utilização do solo é bastante diversificada, sendo predominante a utilização pela

atividade rural. Da área total de 14.178 km² correspondente a essa UGRHI, somente 691,5 km² são ocupados por áreas urbanas ou industriais, que equivale a 4,9%. Na sub bacia do rio Camanduacaia, inclusive, a porcentagem da área destinada à agricultura chega a 98,6%. A bacia do rio Jundiá é a que possui área urbana mais extensa, correspondendo a 10,2% da área total da UGRHI. (PERH, 2005)

Na Tabela 28, encontram-se descritas as distribuições das áreas das bacias e sub bacias da UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiá conforme as classes de uso do solo, de acordo com estudo efetuado pelo Plano de Bacias do período de 2000 a 2003 e publicado no Plano Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo para o período de 2004 a 2007.

Tabela 28: Distribuição das áreas da UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiá de acordo com as classes de uso do solo, em km².

Bacia	Sub Bacia	Área de Drenagem (km ²)	Agricultura		Cobertura Vegetal Natural	Reflorestamentos	Pastagens e Campos Antrópicos	Áreas Urbanas e Industriais	% da Área	
			Temporária	Perene					Urbana	Rural
Piracicaba	Camanduacaia	860,0	7,0	78,0	38,7	43,9	680,1	12,3	1,4	98,6
	Jaguari	2.180,0	424,6	385,8	74,4	63,2	1.182,3	49,8	2,3	97,7
	Atibaia	2.820,0	117,3	68,9	343,0	123,9	2.017,6	149,8	5,3	94,7
	Corumbataí	1.690,0	372,6	35,5	126,0	87,5	1.027,5	41,0	2,4	97,6
	Piracicaba	3.908,0	1.412,5	209,9	162,0	35,9	1.720,9	229,8	6,1	93,9
	Sub Total	11.458,0	2.334,0	778,1	744,1	354,4	6.628,4	482,7	4,3	95,7
Capivari		1.570,0	733,0	21,8	35,2	35,6	652,7	91,7	5,8	94,2
Jundiá		1.150,0	72,9	20,1	146,9	64,8	727,8	117,5	10,2	89,8
Total da UGRHI		14.178,0	3.139,9	820,0	926,2	454,8	8.008,9	691,9	4,9	95,1

Fonte: Adaptado de PERH, 2005.

No que se refere à atividade agrícola, a distribuição na UGRHI ocorre de forma bastante irregular: na porção superior da bacia do Piracicaba predominam pastagens e agricultura tradicional; na região média destacam-se a citricultura ao norte, a hortifruticultura no entorno da cidade de Campinas e o reflorestamento ao sul. Na porção inferior da bacia do Piracicaba e na bacia do Capivari predomina a agricultura canavieira. (PERH, 2005)

Vegetação remanescente da Floresta Estacional Semidecídua e Cerrado encontra-se fragmentada, cobrindo cerca de 7,2% da área total da UGRHI, onde localizam-se 2 Unidades de Conservação de Proteção Integral, 15 Unidades de Uso Sustentável e 7 Áreas Especialmente Protegidas. (CETESB, 2007)

Quanto à erodibilidade do terreno, a UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí é constituída, em geral, por áreas de média suscetibilidade a erosão em relação aos aspectos do meio físico. Cerca de 76% da área total está localizado em pontos de média criticidade à erosão, 16% de alta criticidade e 10% de baixa criticidade.

Em relação aos movimentos do solo, a área da UGRHI é também considerada de média criticidade, estando associados mais às atividades antrópicas do que às condições naturais do relevo. (PERH, 2005)

4.1.4.3. Tietê/Sorocaba (TS)

A UGRHI Tietê/Sorocaba possui uma área de drenagem de 11.829 km², sendo constituída por uma série de bacias hidrográficas de cursos d'água que desembocam no rio Tietê desde a barragem de Rasgão até a de Barra Bonita.

Na década de 1990, esta UGRHI registrou um dos crescimentos demográficos mais expressivos do Estado, de cerca de 2,8 % a.a. Até o ano de 2025, a estimativa é que o número de habitantes deverá aumentar em quase 1 milhão de habitantes, o que representa cerca de 60% da população atual, quando o grau de urbanização deverá atingir 94,3%. Os municípios mais populosos são Sorocaba, Itu e Botucatu. Sorocaba, como pólo regional, concentra cerca de 31% da população total desta Unidade de Gerenciamento. A densidade demográfica de 132,03 hab/km² está num patamar mediano em relação às densidades registradas entre as demais UGRHI's do Estado. (PERH, 2005)

É composta por 34 municípios. Na Figura 32 pode-se visualizar o mapa de localização da UGRHI no Estado e delimitação dos municípios que a compõem, inclusive daqueles que possuem sede fora dos limites da bacia.

Figura 32: Localização e municípios pertencentes à UGRHI Tietê/Sorocaba.
 Fonte: PERH, 2005.

O município de Sorocaba é o centro de maior destaque na atividade industrial dessa UGRHI, sendo que nos municípios vizinhos, Votorantim e Alumínio, também localizam-se empreendimentos de grande porte no ramo da indústria de transformação. Na década de 1980, esta região foi o destino de boa parte das indústrias que deslocaram suas instalações da RMSP para o interior do Estado, intensificando o processo de industrialização iniciado nos anos de 1970. A disponibilidade de boa infra-estrutura viária e de matéria-prima agrícola e mineral são os principais fatores, apontados como indutores do seu desenvolvimento industrial, que colocaram Sorocaba como um dos principais pólos econômicos regionais do Estado. (PERH, 2005)

Na atividade industrial destacam-se as indústrias têxteis, alimentícias, química, mecânica, eletrônica e agroindústrias. (PAGANINI, 2007)

Na atividade agrícola, as lavouras de cana-de-açúcar, milho e olericultura predominam, sendo que há também extensas áreas de reflorestamento de pinus e eucaliptos. No setor terciário merecem destaque os municípios de Botucatu e Itu, importantes centros de ensino universitário. (CETESB, 2005, PERH, 2005)

a) Águas superficiais

Dentre os cursos d'água dessa UGRHI, o mais importante é o rio Sorocaba, cuja bacia possui uma área de drenagem que atinge 6.830 km². Outros constituintes relevantes dessa UGRHI são os rios Pirajibú, Ipanema, Tatuí e Sarapuí. Além disso, outros três afluentes importantes desse trecho do Tietê fazem parte da UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí e são os rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. (CETESB, 2005; PERH, 2005)

A precipitação pluviométrica média anual nesta UGRHI é de 1.270 mm ao ano, com período mais chuvoso compreendido entre os meses de outubro a março, sendo agosto o mês mais seco.

A UGRHI possui uma vazão média de 107 m³/s e vazão mínima de 22 m³/s. Destaca-se nessa Unidade de Gerenciamento, a existência de 8 reservatórios utilizados principalmente para geração de energia elétrica, controle de cheias e abastecimento público, sendo que, dentre eles, pode-se citar os Reservatórios de Itupararanga, Barra Bonita e Porto Góes. Dados a respeito das vazões, áreas e volume desses reservatórios encontram-se descritos na Tabela 29.

Tabela 29: Principais reservatórios da UGRHI Tietê/Sorocaba.

Reservatório	Rio	Área de Drenagem (km ²)	Volume Útil (10 ⁶ m ³)
Itupararanga	Sorocaba	851,0	165,6
Porto Góes	Tietê	826,5	0,55
Barra Bonita	Tietê	813,0	2.566,0

Fonte: Adaptado de PERH, 2005.

O Reservatório de Itupararanga, utilizado atualmente para gerar energia para a Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), destaca-se pela capacidade de alterar todo o comportamento hidráulico do rio Sorocaba, em função de sua localização, nas cabeceiras, seu expressivo volume de armazenamento e sua área de drenagem, que chega a controlar cerca de 1/6 da bacia. (PERH, 2005)

Do volume total de água utilizado nessa UGRHI, 29% é destinada ao uso urbano, 24% ao uso industrial e 47% à irrigação. O comparativo dos usos, em termos percentuais pode ser visualizado na Figura 33.

Figura 33: Usos da água na UGRHI Tietê/Sorocaba.
Fonte: PERH, 2005; CETESB, 2007.

Além da utilização da água para abastecimento público, industrial e irrigação de plantações, registram-se usos para geração de energia elétrica, navegação, recreação e afastamento dos efluentes domésticos e industriais.

Registra-se nesta UGRHI, também, transferências de recursos hídricos entre bacias. São importados cerca de 0,32 m³/s da bacia do rio Pardo para abastecimento da cidade de Botucatu e 0,04 m³/s do rio Cotia para abastecimento de Vargem Grande Paulista. (PERH, 2005)

No que se refere à qualidade das águas, registra-se os impactos causados pela exportação de poluentes da UGRHI Alto Tietê, situação agravada pela contribuição dos rios Jundiá, Capivari e Piracicaba. (PAGANINI, 2007)

b) Uso e ocupação do solo

A geomorfologia da UGRHI Tietê/Sorocaba relaciona-se à ocupação de terrenos de Planalto Atlântico, Depressão Periférica e Cuestas Basálticas. O rio Tietê, entre Pirapora e a Usina de Porto Góes, está situado no Planalto Atlântico, em seguida percorre a depressão periférica e atravessa as Cuestas Basálticas até a barragem de Barra Bonita. (PERH, 2005)

O trecho superior da bacia apresenta uma grande concentração da atividade mineral, destacando-se pela importância econômica, a argila para a indústria de cerâmica vermelha para revestimento e areia para construção civil.

A cobertura vegetal da UGRHI ocupa cerca de 15% da sua área total, destacando-se as formações florestais, cerrados e regiões denominadas de Tensão Ecológica, localizadas entre florestas e cerrados. Em relação à erodibilidade do terreno, a UGRHI Tietê/Sorocaba é constituída, em geral, por áreas de média suscetibilidade a erosão em relação aos aspectos do meio físico. Cerca de 55% da área total está localizada em pontos de média criticidade, 23% de alta criticidade e 22% de baixa criticidade. (PERH, 2005)

4.1.4.4. Tietê/Jacaré (TJ)

A UGRHI Tietê/Jacaré possui uma área de drenagem de 11.779 km², estando localizada na porção central do Estado.

Os municípios com maior número de habitantes são Bauru, Araraquara, São Carlos e Jaú, sendo que o município de Bauru, com mais de 300 mil habitantes, figura entre os 20 municípios com maior população do Estado, sendo considerado o pólo regional principal da UGRHI. É importante destacar também, os municípios de São Carlos e

Araraquara, que apresentam grande influência na região devido à concentração de importantes centros de formação universitária. (PERH, 2005)

É composta por 34 municípios, sendo que na Figura 34, pode-se visualizar o mapa de localização da UGRHI no Estado e delimitação dos municípios que a compõem.

Figura 34: Localização e municípios pertencentes à UGRHI Tietê/Jacaré.
Fonte: PERH, 2005.

A agroindústria tem importante participação econômica na UGRHI, principalmente pelas grandes usinas de açúcar e álcool instaladas próximas aos municípios de Araraquara e Jaú. A agricultura e pecuária também são atividades relevantes, merecendo destaque a estreita interação entre a produção do setor primário e secundário, que ocorre através das lavouras de cana-de-açúcar e laranja fornecedoras de insumo básico para as usinas sucroalcooleiras e pelos rebanhos de gado de corte que suprem frigoríficos e curtumes, muito comuns na região. (CETESB, 2005, PERH, 2005)

As principais culturas dessa região são a cana-de-açúcar, a laranja, pastagens e reflorestamento, além da silvicultura e da fruticultura, que também tem presença marcante na UGRHI. (PAGANINI, 2007)

a) Águas superficiais

Os principais afluentes no rio Tietê na UGRHI Tietê/Jacaré são os rios Jacaré-Guaçú, Jacaré-Pepira, Claro, Lençóis, Bauru e Jaú.

A precipitação pluviométrica média anual nesta UGRHI situa-se na faixa de 1.200 a 1.600 mm ao ano, sendo os maiores volumes registrados na região de São Carlos e os menores no entorno de Pederneiras. A UGRHI possui uma vazão média de 97 m³/s e vazão mínima de 40 m³/s, sendo considerada crítica em termos de disponibilidade hídrica superficial, principalmente devido às elevadas demandas decorrentes das atividades de irrigação. (PERH, 2005; PAGANINI, 2007)

Os principais reservatórios existentes na UGRHI e dados a respeito das respectivas vazões, áreas e volume encontram-se descritos na Tabela 30.

Tabela 30: Principais reservatórios da UGRHI Tietê/Jacaré.

Reservatório	Rio	Área de Drenagem (km ²)	Área Inundada (km ²)	Volume Útil (10 ⁶ m ³)	Vazão Média (m ³ /s)
Lobo	Tietê	32.330,0	310,0	2.566,0	222,0
Souza Lima (Bariri)	Tietê	35.430,0	62,5	62,0	238,0
Ibitinga	Tietê	43.500,0	113,6	53,0	286,0

Fonte: Adaptado de PERH, 2005.

Entre os diversos usos da água, destaca-se sua utilização para abastecimento público e industrial, geração de energia elétrica, recepção de efluentes domésticos e industriais, recreação, irrigação e navegação, uma vez que nessa UGRHI encontra-se um trecho de 140 km da hidrovia Tietê-Paraná. (PAGANINI, 2007)

Do volume total de água utilizado nessa UGRHI, 20% é destinada ao uso urbano, 33% ao uso industrial e 47% à irrigação. (CETESB, 2007)

O comparativo dos usos, em termos percentuais pode ser visualizado na Figura 35.

Figura 35: Usos da água na UGRHI Tietê/Jacaré.
Fonte: PERH, 2005; CETESB, 2007.

Registra-se nesta UGRHI, a importação de 0,480 m³/s da UGRHI Tietê/Batalha (480 l/s) a partir do Rio Batalha, visando ao abastecimento da cidade de Bauru. (PERH, 2005)

b) Uso e ocupação do solo

A cobertura vegetal original da área dessa UGRHI é constituída por cerrados, cerradões, matas ciliares e formações vegetais associadas aos banhados. Essa cobertura vem sofrendo impactos dos desmatamentos, inicialmente devido à expansão cafeeira, e mais recentemente, em função da cultura da cana-de-açúcar e da pecuária extensiva.

Apesar desse fato, diversas áreas ainda apresentam cobertura vegetal natural de grande importância, associada, em geral, às escarpas das Cuestas Basálticas e a fundos de vales e planícies fluviais, além dos remanescentes de matas mesófilas

localizadas em colinas suaves. A vegetação natural remanescente cobre 7,1% do total da área da UGRHI. (PERH, 2005; CETESB, 2007)

Em relação à situação natural do terreno quanto aos efeitos da erosão, a área da UGRHI Tietê/Jacaré encontra-se composta, em geral, por áreas de média suscetibilidade, que corresponde a cerca de 65% da área total. As áreas com altas suscetibilidades respondem por 11% da área total da UGRHI e as áreas com baixa suscetibilidade, correspondem a 24%. (PERH, 2005)

4.1.4.5. Tietê/Batalha (TB)

Localizada na porção centro-oeste do Estado, a UGRHI Tietê/Batalha possui uma área de drenagem de 13.149 km², sendo composta por uma série de cursos d'água que desembocam no reservatório formado no rio Tietê pela barragem da Usina de Promissão. O estirão desse reservatório é de aproximadamente 100 km e atinge, no extremo de montante, a barragem da Usina de Ibitinga. (PERH, 2005; PAGANINI, 2007)

É composta por 33 municípios, sendo que os principais são Matão, Lins e Taquaritinga que, em conjunto, respondem por cerca de 41% da sua população total. A população da maioria dos municípios que formam essa UGRHI não atinge 10 mil habitantes.

O mapa de localização da UGRHI no Estado e delimitação dos municípios que a compõem, inclusive daqueles que possuem sede em outra bacia, pode ser visualizado na Figura 36.

Figura 36: Localização e municípios pertencentes à UGRHI Tietê/Batalha.

Fonte: PERH, 2005.

A economia da UGRHI Tietê/Batalha é predominantemente agrícola e, ao contrário das demais UGRHI's anteriormente apresentadas, não possui problemas latentes de disponibilidade hídrica superficial. Nesse caso, entretanto, ressalvas podem ser feitas à região do ribeirão dos Bagres, devido à irrigação, e ao ribeirão Três Pontes, em decorrência do uso industrial. (PAGANINI, 2007)

Diversas áreas localizadas no entorno do reservatório da Usina de Promissão foram desenvolvidas para abrigar atividades de esportes náuticos, pesca e navegação. Além de alternativas de recreação e lazer para a população, esses locais acabam por se tornar pólos turísticos no interior, trazendo desenvolvimento e crescimento econômico para a região onde a UGRHI está inserida.

a) Águas superficiais

O principal recurso hídrico da UGRHI Tietê/Batalha é o rio Tietê, destacando-se também os rios Batalha, Dourado e São Lourenço.

A precipitação pluviométrica média anual nesta UGRHI é de 1.232 mm ao ano, sendo os períodos de estiagem registrados nos meses de maio a setembro. A UGRHI possui uma vazão média de 98 m³/s e vazão mínima é de 31 m³/s. Estão localizadas em sua área as Usinas Hidrelétricas Mário Leão, em Promissão, e Reynado Gonçalves, em Catanduva. (PERH, 2005; CETESB, 2007)

O Reservatório da Usina Hidrelétrica de Promissão, localizado no rio Tietê, possui uma área de 530 km², um volume útil de 2.128 m³ e uma vazão regular de 382 m³/s. (PERH, 2005)

Do volume total de água utilizado nessa UGRHI, 11% é destinada ao uso urbano, 15% ao uso industrial e 74% à irrigação. (CETESB, 2007)

O comparativo dos usos, em termos percentuais pode ser visualizado na Figura 37.

Figura 37: Usos da água na UGRHI Tietê/Batalha.
Fonte: PERH, 2005; CETESB, 2007.

Além da utilização para abastecimento público, industrial e irrigação, destaca-se nessa UGRHI utilização para recepção de efluentes domésticos e industriais, recreação, irrigação e navegação. Os efluentes industriais são oriundos principalmente das indústrias alimentícias e curtumes. (PAGANINI, 2007)

b) Uso e ocupação do solo

A área da UGRHI é composta por rochas sedimentares e depósitos vulcânicos da Bacia do Paraná (Formação Serra Geral), além dos depósitos Cenozóicos, sendo composto basicamente por areias e argilas, arenitos de granulação muito fina, fina a grossa, basaltos e arenitos.

Possui grandes áreas de potencialidades ao desenvolvimento de processos erosivos, sendo que 68% da sua área localiza-se em pontos de alta suscetibilidade à erosão. Ainda, 28% da área situa-se em pontos com média suscetibilidade à erosão e apenas 4% em locais com baixa suscetibilidade. (PERH, 2005)

Das bacias do rio Tietê, a UGRHI Tietê/Batalha é a que apresenta maior potencialidade de desenvolvimento de processos erosivos e movimentação de massas. Em relação à vegetação, apenas cerca de 5,7% da área total da bacia é coberta pela vegetação nativa, conforme se pode observar na Tabela 31, a seguir.

Tabela 31: Tipos de utilização do solo e respectivas áreas na UGRHI Tietê/Batalha.

Tipo de Uso do Solo	Área (km²)	% da Área Total
Vegetação natural	750	5,7%
Culturas perenes	2.325	17,8%
Cuturas temporárias	1.275	9,8%
Outras utilizações	8.694	66,7%
Total	13.044	100,0%

Fonte: Adaptado de PERH, 2005.

A cobertura vegetal natural é representada pelas florestas tropicais subcaducifólia, cerrados e vegetação de várzea. Como exemplo de cultura perene na UGRHI cita-se o café e o citrus. As culturas temporárias são representadas, principalmente, pela cana-de-açúcar.

4.1.4.6. Baixo Tietê (BT)

Situada na região noroeste do Estado, a UGRHI Baixo Tietê possui uma área de drenagem de 15.588 km², sendo definida, basicamente, pelas bacias hidrográficas de vários cursos d'água afluentes ao rio Tietê, desde a barragem da Usina Mário Lopes Leão, em Promissão, até a sua foz no reservatório de Jupiaá no rio Paraná, numa extensão de cerca de 200 km. (PERH, 2005; PAGANINI, 2007)

É composta por 42 municípios, sendo que os principais são Araçatuba, Birigui, Andradina e Penápolis que, em conjunto, concentram cerca de 55% da população total da UGRHI. O mapa de localização da UGRHI no Estado e delimitação dos municípios que a compõem, inclusive daqueles que possuem sede fora da área da bacia pode ser visualizado na Figura 38.

Figura 38: Localização e municípios pertencentes à UGRHI Baixo Tietê.

Fonte: PERH, 2005.

Em relação às atividades econômicas, a agroindústria tem forte presença na UGRHI, sendo determinante para grande parte da produção agrícola, perceptível pelas extensas áreas das lavouras de cana-de-açúcar que abastecem as usinas de açúcar e álcool localizadas principalmente em Araçatuba, Mirandópolis, Andradina e Penápolis. A pecuária regional também se articula com as atividades industriais, fornecendo couro para as fábricas de calçado e carne para frigoríficos e indústrias alimentícias. (PERH, 2005; PAGANINI, 2007)

Nesta UGRHI, a Hidrovia Tietê-Paraná possui 310 km de extensão, entre as barragens de Promissão, no rio Tietê, e Castilho, no rio Paraná. (PAGANINI, 2007)

Assim como na UGRHI Tietê/Batalha, existem nessa Unidade de Gerenciamento muitas áreas de atração para esportes náuticos, pesca e navegação possibilitando o desenvolvimento e o aproveitamento das áreas marginais das represas. Assim a população dispõe de excelentes alternativas de recreação e lazer que, aproveitadas, criam pólos turísticos no interior, trazendo desenvolvimento e crescimento econômico para a região.

a) Águas superficiais

O principal recurso hídrico da UGRHI Tietê/Batalha é o rio Tietê, desde a barragem da Usina de Promissão até a sua foz no rio Paraná.

A precipitação pluviométrica média anual nesta UGRHI é da ordem de 1.000 a 1.300 mm ao ano, com período chuvoso no período de outubro a abril. (PERH, 2005)

A UGRHI possui uma vazão média de 112,5 m³/s e vazão mínima é de 26,3 m³/s. Estão localizadas em sua área as Usinas Hidrelétricas Souza Dias, Nova Avanhandava e Três Irmãos, estas últimas localizadas no rio Tietê. A Usina Souza Dias (Jupiá) localiza-se no rio Paraná.

Dados a respeito das vazões, áreas e volume dos reservatórios pertencentes a essas Usinas encontram-se descritos na Tabela 32.

Tabela 32: Principais reservatórios da UGRHI Baixo Tietê.

Reservatório	Rio	Área de Drenagem (km ²)	Área Inundada (km ²)	Volume Útil (10 ⁶ m ³)	Vazão Regularizada (m ³ /s)
Souza Dias (Jupiá)	Paraná	470.000,0	544,0	903,0	4440,0
Nova Avanhandava	Tietê	62.300,0	210,0	380,0	405,0
Três Irmãos	Tietê	70.600,0	817,0	3.448,0	417,0

Fonte: Adaptado de PERH, 2005.

Entre os diversos usos da água, destaca-se sua utilização para abastecimento público e industrial, geração de energia elétrica, recepção de efluentes domésticos e industriais, recreação, irrigação e navegação. Os efluentes industriais são oriundos principalmente das indústrias alimentícias e de calçados.

Do volume total de água utilizado nessa UGRHI, 10% é destinada ao uso urbano, 14% ao uso industrial e 76% à irrigação. (CETESB, 2007)

O comparativo dos usos, em termos percentuais pode ser visualizado na Figura 39.

Figura 39: Usos da água na UGRHI Baixo Tietê.
Fonte: PERH, 2005; CETESB, 2007.

Apesar de se tratar da UGRHI com maior disponibilidade hídrica entre as bacias do rio Tietê, considera-se que a mesma seja insuficiente para atender de forma adequada o uso para abastecimento público, devido às altas vazões utilizadas na irrigação. O comprometimento atinge 50% da disponibilidade de água, o que a torna crítica em termos de recursos hídricos superficiais. (PAGANINI, 2007)

b) Uso e ocupação do solo

O relevo da UGRHI Baixo Tietê apresenta formas bastante suavizadas, sendo composta por Colinas Amplas e Colinas Médias. As principais unidades geológicas desta UGRHI são a Formação Serra Geral, Formação Santo Anastácio, Formação Adamantina e Depósitos Aluviais, com solos predominantemente do tipo areias e argilas, arenitos médios, finos a muito finos, basaltos e arenitos. (PERH, 2005)

Com uma área total de 16,7 mil km², a cobertura vegetal natural representa apenas 2,55% do total da área ocupada pela UGRHI, sendo que as formações florestais de mata foram devastadas em quase sua totalidade e substituídas pela agropecuária, cujas áreas são predominantes na UGRHI, correspondendo a uma taxa de 77,4%.

As formas de uso do solo no Baixo Tietê e suas respectivas áreas encontram-se descritas na Tabela 33.

Tabela 33: Tipos de utilização do solo e respectivas áreas na UGRHI Baixo Tietê.

Tipo de Uso do Solo	Área (km²)	% da Área Total
Vegetação natural	395	2,4%
Reflorestamento	17	0,1%
Cuturas perenes	1.234	7,4%
Culturas temporárias	979	5,9%
Cana-de-açúcar	1.085	6,5%
Pastagens	12.924	77,4%
Áreas urbanas e sistema rodo-ferroviário	65	0,4%
Total	16.699	100,0%

Fonte: Adaptado de PERH, 2005.

Em relação à tendência natural do solo para ocorrência de processos erosivos, apesar do número reduzido de ocorrências, a UGRHI apresenta, de forma geral, alta suscetibilidade à erosão, sendo que da sua área total, cerca de 50% corresponde a locais com alta suscetibilidade. Ainda, 45% dos solos possuem média suscetibilidade e apenas 5%, baixa suscetibilidade aos processos erosivos. (PERH, 2005)

4.2. Variáveis Estudadas

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de dados secundários, levantados para um período de 22 anos, compreendido entre 1986 e 2007.

Para avaliar as possíveis fontes de fósforo na bacia do rio Tietê, foram levantadas informações sobre as principais fontes antrópicas desse nutriente nas águas, decorrentes das atividades urbana e agrícola.

No que se refere à atividade urbana, foram consideradas informações sobre concentração populacional total e urbana e número de indústrias por ramo de atividade e, para a atividade agrícola, considerou-se a extensão das áreas agricultáveis de acordo com os diferentes tipos de cultura.

As informações relativas à concentração de fósforo na coluna d'água e no sedimento foram fundamentadas a partir de dados secundários oriundos da Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo operacionalizada pela CETESB, registrados e disponibilizados anualmente nos Relatórios de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo.

De acordo com VON SPERLING (2005), citando Mota (1988), a efetivação de um trabalho de quantificação das cargas poluidoras em uma bacia hidrográfica deve levar em conta também outros levantamentos que abrangem dados físicos e comportamento hidráulico, tais como geologia, precipitação pluviométrica, escoamento, variações climáticas, temperatura, evaporação, vazões, volume de reservatório, profundidade, etc.

No caso do presente trabalho, tais informações não serão estudadas, devendo-se considerar que as condições físicas e hidráulicas das bacias permaneceram numa média constante durante o período a ser analisado. Além disso, conforme citam MEYBECK et al. (1996), a análise básica das medidas necessárias para melhoria da qualidade de determinada água consiste em avaliar, identificar e delimitar espacialmente os impactos sofridos.

4.2.1. Atividade Urbana

No que se refere à atividade urbana, foram compilados os dados sobre população total e urbana, por município, disponibilizados pela Fundação Sistema Nacional de Análise de Dados (SEADE) através do sistema de Informações dos Municípios Paulistas (IMP). O período levantado é de 22 anos, compreendido entre os anos de 1986 e 2007.

Vale ressaltar que as informações censitárias estão disponibilizadas até o ano de 2000, sendo que no período de 2001 a 2007, os dados sobre população total e urbana referem-se a projeções disponibilizadas pela própria Fundação Seade.

Em relação ao número de indústrias por ramo de atividade, os dados foram obtidos junto à CETESB através do Sistema de Informações sobre Fontes de Poluição (SIPOL) para os anos 1995 e 2008. O SIPOL contém o cadastro das emissões das licenças de instalação e funcionamento de um empreendimento, bem como das inspeções realizadas nas indústrias pela CETESB.

Para complementação dos dados relativos à atividade industrial e avaliação das possíveis cargas de fósforo lançadas no rio Tietê a partir dessa fonte, buscou-se levantar as vazões de acordo com o ramo de atividade. Esses dados, entretanto, não se encontram disponibilizados ou compilados através do SIPOL.

4.2.2. Atividade Agrícola

Para verificação da atividade agrícola, foram utilizadas as informações disponibilizadas pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) através do Levantamento das Unidades de Produção Agropecuária (LUPA), trabalho que apresenta as condições de uso agrícola do solo paulista de acordo com as diferentes

culturas, efetuado nos anos de 1998 e 2008.

Anteriormente a esse período, a título de complementação do trabalho, são apresentados os dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) através Censo Agropecuário. Essas informações foram obtidas através do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) - 2004 a 2007.

Vale ressaltar que a metodologia adotada pelo IBGE é bastante diferente da aplicada pela CATI, visto que esta efetua um levantamento individualizado por unidade agrícola, utilizando critérios de classificação dos tipos de uso de solo, de acordo com a cultura (cultura perene, cultura temporária, cultura anual, pastagens e vegetação nativa), conforme abordado no item 3.4.1 do presente trabalho.

Apesar de se considerar que o levantamento apresentado pela CATI através do projeto LUPA possui informações que oferecem maiores contribuições para a elaboração do presente trabalho, os dados do IBGE também serão apresentados como forma de se avaliar a evolução da extensão das áreas irrigadas entre os anos de 1985 e 1995.

4.2.3. Dados sobre Fósforo na Coluna d'Água e no Sedimento

Os dados secundários sobre as concentrações de fósforo na coluna d'água e no sedimento foram compilados a partir das informações fornecidas anualmente pela CETESB, através da Rede de Monitoramento de Águas Interiores, apresentadas no Relatório de Qualidade das Águas Interiores. Além de ser o sistema oficial de controle e monitoramento da qualidade das águas do Estado de São Paulo, a utilização dos dados dessa rede de monitoramento permitirá uma análise da evolução histórica das concentrações desse nutriente no rio, uma vez que as localizações dos pontos de amostragem permanecem inalteradas.

Cabe ressaltar que somente em 2002 passou a ser operada pela CETESB a Rede de Monitoramento do Sedimento, sendo que a análise de fósforo total foi efetuada nos anos de 2004 e 2005.

Embora seja um levantamento mais recente e com menor disponibilidade de dados, a avaliação do comportamento do fósforo no sedimento é de grande importância, considerando-se a elevada capacidade de redução desse nutriente através da precipitação.

4.3. Identificação e Localização dos Pontos de Amostragem da CETESB

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados os dados referentes ao fósforo na coluna d'água e no sedimento nos pontos de monitoramento operados pela CETESB no caudal do rio Tietê. A análise a partir do caudal do rio visa restringir a amplitude dos dados, dada a grande extensão da bacia e o elevado número de pontos monitorados. Além disso, entende-se que a análise das informações no caudal do rio resume o conjunto das ações antrópicas ocorridas em toda a extensão da bacia hidrográfica.

A Rede de Monitoramento operada pela CETESB possui 222 pontos de amostragem nas bacias do Tietê, dos quais, 104 pertencem à rede básica, sendo 22 localizados no caudal do rio Tietê, ao longo das diferentes UGRHI's, assim distribuídos:

- Alto Tietê - 9 pontos: TIET 02050, TIET 02090, TIET 03120, TIET 04150, TIET 04170, TIET 04180, TIET 04200, TIES 04900 e TIPI 04900;
- Piracicaba/Capivari/Jundiaí não são monitorados pela CETESB pontos no caudal do rio Tietê, visto que neste ponto, o caudal do rio encontra-se inserido totalmente na UGRHI Tietê/Sorocaba;
- Tietê/Sorocaba - 07 pontos: TIRG 02900, TIET 02350, TIET 02400, TIET 02450, TIBT 02500, TIBB 02100 e TIBB 02700;
- Tietê/Jacaré - 1 ponto: TIET 0250;
- Tietê/Batalha - 2 pontos : TIET 02600 e TIPR 02990;
- Baixo Tietê - 3 pontos: TIET 02700, TITR 02100 e TITR 02800.

A identificação dos pontos e detalhamento de suas características principais, como localização, distância da nascente e enquadramento de acordo com a classificação prevista na legislação vigente (Decreto Estadual 10.755/77), encontra-se descrita na Tabela 34, a seguir.

Tabela 34: Localização e características dos pontos de amostragem da CETESB na coluna d'água.

Código do Ponto	UGRHI	Localização	Distância a partir da nascente (km)	Classe Corpo D'Água
TIET02050	Alto Tietê	Ponte na rodovia que liga Mogi das Cruzes a Salesópolis, município de Biritiba-Mirim.	0	02
TIET02090	Alto Tietê	Na captação principal do município de Mogi das Cruzes.	20	02
TIET03120	Alto Tietê	A jusante da ETE de Suzano, município de Suzano.	35	03
TIET04150	Alto Tietê	Ponte na Rodovia Ayrton Senna, a montante do Parque Ecológico, antes da saída 19 - Aeroporto Guarulhos.	77	04
TIET04170	Alto Tietê	Ponte na Av. Aricanduva, município de São Paulo.	102	04
TIET04180	Alto Tietê	Ponte das Bandeiras, na Av. Santos Dumont, município de S Paulo.	112	04
TIET04200	Alto Tietê	Ponte dos Remédios, na Av. Marginal e Rodovia Presidente Castelo Branco, município de São Paulo.	120	04
TIES04900	Alto Tietê	Aproximadamente 0,5 km da comporta do reservatório de Pirapora, no município de Pirapora do Bom Jesus.	160	04
TIPI04900	Alto Tietê	Próximo às comportas da barragem do Reservatório de Pirapora, no município de Pirapora do Bom Jesus.	201	04
TIRG02900	Tietê/Sorocaba	Próximo das comportas do Reservatório de Rasgão, município de Pirapora do Bom Jesus.	273	02
TIET02350	Tietê/Sorocaba	A cerca de 300 m da ponte da Rodovia do Açúcar (SP-308), na Fazenda Santa Isabel, município de Laranjal Paulista.	396	02
TIET02400	Tietê/Sorocaba	Ponte na rodovia SP-113, que liga Tietê a Capivari, em Tietê.	443	02
TIET02450	Tietê/Sorocaba	Ponte na estrada para a fazenda Santo Olegário, em Laranjal Pta.	463	02
TIBT02500	Tietê/Sorocaba	Ponte na rodovia SP-191 que liga Santa Maria da Serra a São Manuel, município de Botucatu.	568	02
TIBB02100	Tietê/Sorocaba	No meio do corpo central, a jusante da confluência dos rios Tietê e Piracicaba, no município de Botucatu.	598	02
TIBB02700	Tietê/Sorocaba	No meio do corpo central, na direção do Córrego Araquazinho, município de São Manuel.	602	02
TIET02500	Tietê/Jacaré	Ponte na rodovia SP-255 que liga São Manuel a Jaú, a jusante do Reservatório de Barra Bonita, município de Lencois Paulista.	607	02
TIET02600	Tietê/Batalha	Margem direita, jusante do canal de fuga da casa de força da Usina Hidrelétrica de Ibitinga, no município de Reginópolis.	705	02
TIPR02990	Tietê/Batalha	A montante da barragem de Promissão, próximo do vertedouro, no município de Promissão.	800	02
TIET02700	Baixo Tietê	Ponte na rod. BR-153, no trecho que liga Lins a José Bonifácio, a jusante da barragem de Promissão.	865	02
TITR02100	Baixo Tietê	Ponte na rodovia SP-463, no trecho que liga Araçatuba a Jales, no município de Araçatuba.	945	02
TITR02800	Baixo Tietê	Ponte na rodovia SP-563, no trecho que liga Pereira Barreto a Andradina, município de Pereira Barreto.	1065	02

Fonte: SÃO PAULO, 1977; CETESB, 2007; PAGANINI, 2007.

Em relação à rede de monitoramento sedimento, conforme já citado, a análise da variável fósforo total foi efetuada somente nos anos de 2004 e 2005. Em 2004, as análises foram efetuadas nos pontos TIET 02050 e TIPI 04850; em 2005, os pontos foram TIBB 02100, TIET 02050 e TITR 02100. A descrição dos pontos e de suas características principais encontra-se descrita na Tabela 35, a seguir.

Tabela 35: Localização e características dos pontos de amostragem da CETESB no sedimento.

Código do Ponto	UGRHI	Localização	Distância a partir da nascente (km)
TIET02050	Alto Tietê	Na captação da SABESP no município de Biritiba-Mirim.	0
TIBB02100	Tietê/Sorocaba	No corpo central do Reservatório de Barra Bonita, a jusante da confluência dos Rios Tietê e Piracicaba.	598
TIPI04850	Tietê/Sorocaba	Aproximadamente 0,5 Km da comporta do Reservatório.	605
TITR02100	Baixo Tietê	No Reservatório 3 Irmãos, em frente a captação de Araçatuba.	945

Fonte: CETESB, 2004; CETESB, 2005.

A representação esquemática da localização dos pontos monitorados pela CETESB na coluna d'água e sedimento localizados no caudal do Tietê, que serão avaliados no presente trabalho, pode ser visualizada na Figura 40.

Figura 40: Representação esquemática da localização dos pontos de amostragem operados pela CETESB no caudal do Tietê – coluna d’água e sedimento.
 Fonte: Adaptado de CETESB, 2007.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Evolução das Variáveis

Para verificação das variáveis, foram levantados os dados disponíveis sobre concentração populacional total e urbana, número de indústrias por ramo de atividade e extensão das áreas agricultáveis.

As informações demográficas são anuais, abrangendo o período de 1986 a 2007, enquanto os dados sobre indústrias e áreas agricultáveis correspondem aos anos de 1995 e 2008, e 1998 e 2008, respectivamente.

5.1.1. Concentração Populacional Total e Urbana

A bacia do rio Tietê possui atualmente mais de 28 milhões de habitantes, valor que corresponde a 70,6% da população total do Estado de São Paulo. Esse percentual permanece praticamente inalterado nos últimos 22 anos, uma vez que em 1986 essa bacia possuía 70,4% da população total do Estado.

Em relação à população urbana, a bacia do Tietê possui atualmente mais de 27 milhões de habitantes, o que corresponde a 71,0% da população urbana do Estado de São Paulo. Esse percentual apresenta-se inferior aos dados de 1986, quando a bacia do Tietê possuía mais de 18 milhões de habitantes, correspondendo a 72,9% do total do Estado de São Paulo. Tal situação indica uma redução da participação urbana das bacias do Tietê em relação à evolução verificada no Estado de São Paulo, em termos

percentuais, não obstante o crescimento absoluto da população urbana dessa bacia tenha sido bastante elevado, de mais 8,5 milhões de habitantes.

Pelos dados levantados, pode-se inferir que esse comportamento tenha resultado da evolução da população urbana da UGRHI Alto Tietê. Nessa UGRHI, a população urbana que era de 13,5 milhões de habitantes em 1986 passou para 18,4 milhões de habitantes em 2007, o que, em termos percentuais, representa uma alteração de 72,4% do total da bacia do Tietê em 1986 para 67,5% em 2007. De forma inversa, no que se refere aos dados percentuais, a maior expansão da população urbana, em relação ao total das bacias do Tietê, ocorre no Piracicaba/Capivari/Jundiaí, cujo índice foi alterado de 14,2% em 1986 para 17,2% em 2007, com um crescimento populacional de 2,1 milhões de habitantes.

Na Tabela 36, a seguir, pode-se verificar os dados referentes a população total e urbana do Estado de São Paulo e de cada UGRHI do Tietê.

Tabela 36: População total e urbana da UGRHI's do Tietê e do Estado de São Paulo – Período de 1986 a 2007.

Ano	Total do Estado de São Paulo		Total das Bacias do Tietê				Alto Tietê				Piracicaba/Capivari/Jundiaí				Tietê/Sorocaba				Tietê/Jacaré				Tietê/Batalha				Baixo Tietê			
	População Total	População Urbana	População Total		População Urbana		População Total		População Urbana		População Total		População Urbana		População Total		População Urbana		População Total		População Urbana		População Total		População Urbana		População Total		População Urbana	
			Nº Habitantes	% sobre Total do Estado	Nº Habitantes	% sobre Total da Bacia	Nº Habitantes	% sobre Total da Bacia	Nº Habitantes	% sobre Total da Bacia	Nº Habitantes	% sobre Total da Bacia	Nº Habitantes	% sobre Total da Bacia	Nº Habitantes	% sobre Total da Bacia	Nº Habitantes	% sobre Total da Bacia	Nº Habitantes	% sobre Total da Bacia	Nº Habitantes	% sobre Total da Bacia	Nº Habitantes	% sobre Total da Bacia	Nº Habitantes	% sobre Total da Bacia	Nº Habitantes	% sobre Total da Bacia	Nº Habitantes	% sobre Total da Bacia
1986	28.303.376	25.738.468	19.918.264	70,4%	18.761.805	72,9%	13.941.584	70,0%	13.580.958	72,4%	2.978.133	15,0%	2.668.146	14,2%	1.026.876	5,2%	862.026	4,6%	989.479	5,0%	875.863	4,7%	385.563	1,9%	284.049	1,5%	596.629	3,0%	490.763	2,6%
1987	28.903.923	26.392.091	20.340.788	70,4%	19.205.153	72,8%	14.199.474	69,8%	13.844.692	72,1%	3.070.863	15,1%	2.767.566	14,4%	1.059.407	5,2%	892.820	4,6%	1.014.689	5,0%	903.709	4,7%	390.798	1,9%	293.291	1,5%	605.557	3,0%	503.075	2,6%
1988	29.517.213	27.066.806	20.772.419	70,4%	19.664.916	72,7%	14.461.949	69,6%	14.119.481	71,8%	3.166.627	15,2%	2.870.550	14,6%	1.092.791	5,3%	924.451	4,7%	1.040.341	5,0%	932.182	4,7%	396.156	1,9%	302.708	1,5%	614.555	3,0%	515.544	2,6%
1989	30.143.516	27.751.617	21.213.354	70,4%	20.130.023	72,5%	14.729.112	69,4%	14.394.143	71,5%	3.265.521	15,4%	2.977.218	14,8%	1.127.028	5,3%	956.910	4,8%	1.066.435	5,0%	961.272	4,8%	401.643	1,9%	312.307	1,6%	623.615	2,9%	528.173	2,6%
1990	30.783.108	28.452.560	21.663.905	70,4%	20.606.537	72,4%	15.001.131	69,2%	14.674.570	71,2%	3.367.675	15,5%	3.087.710	15,0%	1.162.129	5,4%	990.231	4,8%	1.092.969	5,0%	990.987	4,8%	407.254	1,9%	322.086	1,6%	632.747	2,9%	540.953	2,6%
1991	31.436.273	29.161.205	22.124.245	70,4%	21.093.540	72,3%	15.278.104	69,1%	14.958.923	70,9%	3.473.166	15,7%	3.205.456	15,2%	1.198.118	5,4%	1.024.058	4,9%	1.119.915	5,1%	1.020.469	4,8%	412.982	1,9%	331.382	1,6%	641.960	2,9%	553.252	2,6%
1992	32.031.639	29.737.424	22.543.135	70,4%	21.475.262	72,2%	15.525.936	68,9%	15.163.940	70,6%	3.566.953	15,8%	3.302.056	15,4%	1.236.749	5,5%	1.058.981	4,9%	1.144.136	5,1%	1.046.632	4,9%	419.005	1,9%	339.914	1,6%	650.356	2,9%	563.739	2,6%
1993	32.629.867	30.315.989	22.928.646	70,3%	21.827.636	72,0%	15.772.061	68,8%	15.367.722	70,4%	3.652.331	15,9%	3.392.567	15,5%	1.278.358	5,6%	1.094.607	5,0%	1.164.660	5,1%	1.070.548	4,9%	427.475	1,9%	350.375	1,6%	633.761	2,8%	551.817	2,5%
1994	33.240.084	30.907.354	23.363.666	70,3%	22.223.666	71,9%	16.037.215	68,6%	15.588.369	70,1%	3.745.827	16,0%	3.487.678	15,7%	1.317.139	5,6%	1.130.107	5,1%	1.188.559	5,1%	1.096.732	4,9%	433.241	1,9%	358.919	1,6%	641.685	2,7%	561.861	2,5%
1995	33.848.251	31.497.750	23.798.054	70,3%	22.619.215	71,8%	16.302.020	68,5%	15.807.984	69,9%	3.839.331	16,1%	3.583.164	15,8%	1.356.150	5,7%	1.165.980	5,2%	1.212.377	5,1%	1.122.985	5,0%	438.877	1,8%	367.424	1,6%	649.299	2,7%	571.678	2,5%
1996	34.451.927	32.085.021	24.231.960	70,3%	23.014.403	71,7%	16.567.575	68,4%	16.027.647	69,6%	3.932.463	16,2%	3.678.641	16,0%	1.395.160	5,8%	1.201.951	5,2%	1.235.894	5,1%	1.149.100	5,0%	444.362	1,8%	375.892	1,6%	656.506	2,7%	581.172	2,5%
1997	35.062.867	32.682.432	24.671.416	70,4%	23.418.139	71,7%	16.843.431	68,3%	16.256.575	69,4%	4.026.078	16,3%	3.776.697	16,1%	1.434.514	5,8%	1.238.305	5,3%	1.253.488	5,1%	1.171.513	5,0%	449.603	1,8%	384.223	1,6%	664.302	2,7%	590.826	2,5%
1998	35.698.511	33.302.253	25.133.885	70,4%	23.840.664	71,6%	17.134.048	68,2%	16.499.134	69,2%	4.121.714	16,4%	3.874.989	16,3%	1.475.018	5,9%	1.275.790	5,4%	1.277.028	5,1%	1.197.929	5,0%	454.942	1,8%	392.716	1,6%	671.135	2,7%	600.106	2,5%
1999	36.346.903	33.934.750	25.604.738	70,4%	24.271.288	71,5%	17.430.498	68,1%	16.746.661	69,0%	4.218.396	16,5%	3.974.627	16,4%	1.516.669	5,9%	1.314.433	5,4%	1.300.880	5,1%	1.224.797	5,0%	460.340	1,8%	401.351	1,7%	677.955	2,6%	609.419	2,5%
2000	36.974.378	34.538.004	26.060.834	70,5%	24.686.697	71,5%	17.716.094	68,0%	16.982.976	68,8%	4.313.105	16,6%	4.071.651	16,5%	1.557.747	6,0%	1.352.666	5,5%	1.323.986	5,1%	1.251.107	5,1%	465.482	1,8%	409.834	1,7%	684.420	2,6%	618.463	2,5%
2001	37.497.970	35.096.137	26.437.447	70,5%	25.061.345	71,4%	17.944.131	67,9%	17.193.282	68,6%	4.394.575	16,6%	4.159.317	16,6%	1.591.031	6,0%	1.390.143	5,5%	1.345.251	5,1%	1.274.558	5,1%	471.004	1,8%	416.978	1,7%	691.455	2,6%	627.067	2,5%
2002	38.032.544	35.658.692	26.822.224	70,5%	25.437.196	71,3%	18.176.902	67,8%	17.401.495	68,4%	4.477.934	16,7%	4.248.799	16,7%	1.625.149	6,1%	1.428.619	5,6%	1.366.873	5,1%	1.298.371	5,1%	476.709	1,8%	424.202	1,7%	698.657	2,6%	635.710	2,5%
2003	38.578.438	36.232.023	27.215.404	70,5%	25.820.433	71,3%	18.414.541	67,7%	17.613.723	68,2%	4.563.217	16,8%	4.340.134	16,8%	1.660.107	6,1%	1.468.119	5,7%	1.388.867	5,1%	1.322.559	5,1%	482.630	1,8%	431.496	1,7%	706.042	2,6%	644.402	2,5%
2004	39.136.048	36.816.416	27.617.293	70,6%	26.211.276	71,2%	18.657.184	67,6%	17.830.050	68,0%	4.650.497	16,8%	4.433.406	16,9%	1.695.942	6,1%	1.508.676	5,8%	1.411.240	5,1%	1.347.121	5,1%	488.804	1,8%	438.882	1,7%	713.626	2,6%	653.141	2,5%
2005	39.705.706	37.412.251	28.028.174	70,6%	26.609.983	71,1%	18.904.972	67,4%	18.050.581	67,8%	4.739.820	16,9%	4.528.637	17,0%	1.732.676	6,2%	1.550.329	5,8%	1.433.993	5,1%	1.372.072	5,2%	495.298	1,8%	446.348	1,7%	721.415	2,6%	662.016	2,5%
2006	40.175.797	37.934.806	28.367.726	70,6%	26.955.447	71,1%	19.111.009	67,4%	18.242.568	67,7%	4.813.194	17,0%	4.609.599	17,1%	1.763.963	6,2%	1.587.304	5,9%	1.453.047	5,1%	1.393.271	5,2%	499.662	1,8%	452.953	1,7%	726.851	2,6%	669.752	2,5%
2007	40.653.736	38.466.681	28.713.162	70,6%	27.307.426	71,0%	19.320.577	67,3%	18.438.509	67,5%	4.887.922	17,0%	4.691.885	17,2%	1.795.876	6,3%	1.625.116	6,0%	1.472.374	5,1%	1.414.773	5,2%	504.066	1,8%	459.626	1,7%	732.347	2,6%	677.517	2,5%

A partir desses dados, pode-se verificar que o crescimento populacional anual médio da bacia do Tietê e do Estado de São Paulo, apresenta uma tendência de desaceleração gradativa para o período de 22 anos, o que ocorreu de forma mais acentuada a partir da década de 1990. Ainda que a população na bacia do Tietê e no Estado de São Paulo tenha aumentado de forma significativa em termos numéricos, o crescimento médio da população total foi reduzido de 2,1% no ano de 1986 para 1,2% no ano de 2007 e o crescimento médio da população urbana foi reduzido de 2,4% em 1986 para 1,3% em 2007. Para o total do Estado de São Paulo, o crescimento médio da população total foi alterado de 2,1% em 1986 para 1,2% em 2007, enquanto o crescimento médio da população urbana foi alterado de 2,5% em 1986 para 1,4% em 2007.

O comparativo do crescimento médio da população total e da população urbana da bacia do Tietê e do Estado de São Paulo, bem como a tendência de desaceleração acima descrita pode ser visualizada na Figura 41, abaixo.

Figura 41: Evolução do crescimento anual médio da população total e urbana do Estado de São Paulo e da bacia do Tietê – Período 1986 a 2007.

Verifica-se ainda, que a população total da bacia do Tietê apresentou um crescimento anual médio de 1,76% enquanto o crescimento da população urbana foi de 1,80% a.a.

No Alto Tietê o crescimento médio da população total foi de 1,57% ao ano e da população urbana, de 1,47% ao ano, tratando-se da única bacia que apresentou crescimento da população urbana inferior ao da população total. Além disso, verifica-se que o crescimento populacional médio na UGRHI Alto Tietê, para o período de 22 anos, foi o mais reduzido comparativamente às demais UGRHIs.

A maior taxa de crescimento anual ocorre nas UGRHI's Piracicaba/Capivari/Jundiaí e Tietê/Sorocaba. No PCJ o crescimento médio da população urbana foi de 2,73% ao ano e no TS, foi de 3,07% ao ano. Tais informações podem ser observadas na Figura 42, abaixo.

Figura 42: Crescimento anual médio da população total e urbana, por UGRHI, e do total da bacia do Tietê – Período 1986 a 2007.

Vale ressaltar que o crescimento populacional verificado nas UGRHI's Piracicaba/Capivari/Jundiaí e Tietê/Sorocaba pode ser resultado da tendência de transferência de sistemas de produção industrial da RMSP para o interior, com

consequente mudança no comportamento da concentração populacional, conforme abordado no item 4.1.4.1.

A respeito dessas informações, é importante destacar que, apesar do percentual de crescimento médio da população apresentado pelo Alto Tietê ser mais reduzido comparativamente às demais UGRHI's, o seu impacto é bastante elevado em termos numéricos, uma vez que a ampliação média no número de habitantes dessa bacia foi de 256 mil habitantes, enquanto o total da bacia do Tietê foi de 418 mil. Ou seja, o crescimento médio da população do Alto Tietê, ainda que mais reduzido em termos percentuais, comparativamente às demais UGRHI's, corresponde ainda a 61,2% do aumento populacional verificado no total da bacia do Tietê.

O crescimento anual da população total e urbana, em número de habitantes, das diferentes UGRHI's do Tietê pode ser visualizado na Tabela 37.

Tabela 37: Crescimento anual da população total e urbana das UGRHI's do Tietê – Período de 1986 a 2007.

Ano	Bacia do Tietê		Alto Tietê		Piracicaba/Capivari/Jundiaí		Tietê/Sorocaba		Tietê/Jacaré		Tietê/Batalha		Baixo Tietê	
	Total	Urbana	Total	Urbana	Total	Urbana	Total	Urbana	Total	Urbana	Total	Urbana	Total	Urbana
1987	422.524	443.348	257.890	263.734	92.730	99.420	32.531	30.794	25.210	27.846	5.235	9.242	8.928	12.312
1988	431.631	459.763	262.475	274.789	95.764	102.984	33.384	31.631	25.652	28.473	5.358	9.417	8.998	12.469
1989	440.935	465.107	267.163	274.662	98.894	106.668	34.237	32.459	26.094	29.090	5.487	9.599	9.060	12.629
1990	450.551	476.514	272.019	280.427	102.154	110.492	35.101	33.321	26.534	29.715	5.611	9.779	9.132	12.780
1991	460.340	487.003	276.973	284.353	105.491	117.746	35.989	33.827	26.946	29.482	5.728	9.296	9.213	12.299
1992	418.890	381.722	247.832	205.017	93.787	96.600	38.631	34.923	24.221	26.163	6.023	8.532	8.396	10.487
1993	385.511	352.374	246.125	203.782	85.378	90.511	41.609	35.626	20.524	23.916	8.470	10.461	-16.595	-11.922
1994	435.020	396.030	265.154	220.647	93.496	95.111	38.781	35.500	23.899	26.184	5.766	8.544	7.924	10.044
1995	434.388	395.549	264.805	219.615	93.504	95.486	39.011	35.873	23.818	26.253	5.636	8.505	7.614	9.817
1996	433.906	395.188	265.555	219.663	93.132	95.477	39.010	35.971	23.517	26.115	5.485	8.468	7.207	9.494
1997	439.456	403.736	275.856	228.928	93.615	98.056	39.354	36.354	17.594	22.413	5.241	8.331	7.796	9.654
1998	462.469	422.525	290.617	242.559	95.636	98.292	40.504	37.485	23.540	26.416	5.339	8.493	6.833	9.280
1999	470.853	430.624	296.450	247.527	96.682	99.638	41.651	38.643	23.852	26.868	5.398	8.635	6.820	9.313
2000	456.096	415.409	285.596	236.315	94.709	97.024	41.078	38.233	23.106	26.310	5.142	8.483	6.465	9.044
2001	376.613	374.648	228.037	210.306	81.470	87.666	33.284	37.477	21.265	23.451	5.522	7.144	7.035	8.604
2002	384.777	375.851	232.771	208.213	83.359	89.482	34.118	38.476	21.622	23.813	5.705	7.224	7.202	8.643
2003	393.180	383.237	237.639	212.228	85.283	91.335	34.958	39.500	21.994	24.188	5.921	7.294	7.385	8.692
2004	401.889	390.843	242.643	216.327	87.280	93.272	35.835	40.557	22.373	24.562	6.174	7.386	7.584	8.739
2005	410.881	398.707	247.788	220.531	89.323	95.231	36.734	41.653	22.753	24.951	6.494	7.466	7.789	8.875
2006	339.552	345.464	206.037	191.987	73.374	80.962	31.287	36.975	19.054	21.199	4.364	6.605	5.436	7.736
2007	345.436	351.979	209.568	195.941	74.728	82.286	31.913	37.812	19.327	21.502	4.404	6.673	5.496	7.765

Ainda em relação ao Alto Tietê, conforme já abordado no item 3.4.2.2 do presente

trabalho, é importante destacar as diferenças de comportamento verificado nos municípios situados na região mais periférica da bacia, comparativamente àqueles mais próximos da cidade de São Paulo. Enquanto Arujá, Caieiras, Itaquaquecetuba, Francisco Morato e Santana do Parnaíba, por exemplo, apresentaram um crescimento percentual médio da população urbana de mais de 200% no período de 22 anos, São Caetano do Sul, Santo André e São Paulo apresentaram um crescimento percentual menor que 15%. No caso de São Caetano do Sul, ainda, a evolução foi negativa em 12%, havendo uma redução de mais de 19 mil habitantes no período estudado. A comparação entre o crescimento percentual da população urbana dos municípios da UGRHI Alto Tietê entre os anos de 1986 e 2007 pode ser observada na Figura 43, a seguir.

Figura 43: Crescimento percentual da população urbana dos municípios do Alto Tietê, entre os anos de 1986 a 2007.

No contexto da estrutura e porte dos municípios avaliados, verifica-se que dos 233 municípios pertencentes à bacia do Tietê, 116 possuem atualmente menos de 20 mil

habitantes, o que corresponde a 50,2%. A maior concentração de municípios nessa faixa de porte se dá nas UGRHI's Tietê/Batalha (81,8%) e Baixo Tietê (76,2%). No Tietê/Batalha, inclusive, não há municípios com mais de 100 mil habitantes. Matão e Lins, os dois maiores municípios da UGRHI, possuem atualmente 77 mil e 70 mil habitantes, respectivamente.

Também no Tietê/Jacaré, a maioria dos municípios possui até 20 mil habitantes (55,9%), porém, há uma maior distribuição entre as demais faixas, principalmente entre 20 e 50 mil habitantes; apenas 7 municípios possuem mais de 50 mil habitantes, o que corresponde a menos de 10% do total da bacia.

Em relação à UGRHI Tietê/Sorocaba, apesar da grande quantidade de municípios com até 20 mil habitantes (42,4%), há uma maior distribuição nas faixas entre 50 e 200 mil habitantes, além de 01 município com mais de 500 mil habitantes. Tal situação se repete na bacia Piracicaba/Capivari/Jundiaí, que possui grande quantidade de municípios com até 20 mil habitantes (38,6%) e, no entanto, apresenta evolução significativa na quantidade de municípios com mais de 100 mil habitantes. Para essa faixa, a quantidade de municípios foi alterada de 08 para 13 em 22 anos, o que representa um crescimento de 62,5%.

Dos 07 municípios com mais de 500 mil habitantes situados na bacia do Tietê, 05 estão localizados no Alto Tietê (São Paulo, Guarulhos, São Bernardo do Campo, Osasco e Santo André), 01 no Piracicaba/Capivari/Jundiaí (Campinas) e 01 no Tietê/Sorocaba (Sorocaba).

A maior evolução de porte dos municípios se dá principalmente na UGRHI Alto Tietê, onde, em 1986, existiam 19 municípios com até 100 mil habitantes, quantidade que foi alterada para 8 em 2007. Já a quantidade de municípios com mais de 100 mil habitantes foi alterada de 11 em 1986 para 21 em 2007.

Na Tabela 38, abaixo, encontram-se descritas as quantidades de municípios de acordo com o porte, por bacia hidrográfica, para os anos de 1986, 1993, 2000 e 2007, o que possibilita visualizar a sua evolução para o período.

Tabela 38: Quantidade de municípios por porte, por UGRHI, para os anos de 1986, 1993, 2000 e 2007.

Concentração Populacional	Bacia do Tietê				Alto Tietê				Piracicaba/Capivari/Jundiaí				Tietê/Sorocaba				Tietê/Jacaré				Tietê/Batalha				Baixo Tietê			
	Ano				Ano				Ano				Ano				Ano				Ano				Ano			
	1986	1993	2000	2007	1986	1993	2000	2007	1986	1993	2000	2007	1986	1993	2000	2007	1986	1993	2000	2007	1986	1993	2000	2007	1986	1993	2000	2007
Não disponível ⁽¹⁾	21	06	00	00	0	0	0	0	04	0	0	0	06	02	0	0	03	02	0	0	02	0	0	0	06	02	0	0
Até 20 mil habitantes	120	126	123	116	03	03	02	02	28	29	25	22	16	16	16	14	20	19	20	19	26	28	27	27	27	31	33	32
De 20 a 50 mil habitantes	39	44	41	43	08	07	02	01	10	11	13	14	05	08	09	10	07	09	09	09	03	03	03	03	06	06	05	06
De 50 a 100 mil habitantes	24	23	27	23	08	06	08	05	06	07	07	07	05	05	05	04	01	01	01	02	02	02	03	03	02	02	03	02
De 100 a 200 mil habitantes	15	19	23	27	06	09	09	10	06	06	08	09	0	01	02	04	02	02	03	02	0	0	0	0	01	01	01	02
De 200 a 500 mil habitantes	09	09	13	17	05	04	08	11	02	03	03	04	01	01	01	0	01	01	01	02	0	0	0	0	0	0	0	0
Acima de 500 mil habitantes	05	06	06	07	04	05	05	05	01	01	01	01	0	0	0	01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	233				34				57				33				34				33				42			

⁽¹⁾ Não disponível: Municípios criados posteriormente à data analisada.

É possível identificar, assim, que a evolução populacional dos municípios, em número de habitantes, se dá principalmente nas UGRHI's Alto Tietê, Piracicaba/Capivari/Jundiaí e Tietê/Sorocaba, o que altera o seu porte de pequeno para médio ou grande.

Nos municípios situados nas UGRHI's Tietê/Jacaré, Tietê/Batalha e Baixo Tietê essa alteração é menos perceptível, uma vez que a grande maioria dos municípios permanece com porte de até 50 mil habitantes durante o período de 22 anos.

Tais informações podem ser visualizadas na Figura 44, a seguir, que aloca os municípios das bacias do Tietê no mapa do estado de São Paulo, classificando o seu porte com cores diferenciadas, permitindo detectar a sua localização e a evolução verificada para o período analisado.

Figura 44: Apresentação do mapa da concentração populacional total da bacia do rio Tietê, de acordo com o porte, para os anos 1986, 1993, 2000 e 2007.

Considerando-se que no Brasil a contribuição per capita diária de fósforo nos esgotos domésticos é da ordem de 2,5 g, e com base nos dados de população urbana apresentados, as bacias do Tietê possuem atualmente um potencial de lançamento de fósforo nas águas através dessa fonte, da ordem de 68,3 t/dia, o que corresponde a uma evolução de 46% em relação ao ano de 1986, quando o potencial de contribuição de fósforo, com base na população urbana era de 46,9 t/dia, conforme Tabela 39, abaixo.

Tabela 39: Quantidade potencial de fósforo lançada nas UGRHI's do Tietê através dos esgotos domésticos, nos anos de 1986, 1993, 2000 e 2007.

UGRHI	1986		1993		2000		2007	
	População Urbana (hab)	Qtde Fósforo (t/dia)	População Urbana (hab)	Qtde Fósforo (t/dia)	População Urbana (hab)	Qtde Fósforo (t/dia)	População Urbana (hab)	Qtde Fósforo (t/dia)
Alto Tietê	13.580.958	34,0	15.367.722	38,4	16.982.976	42,5	18.438.509	46,1
Piracicaba/Capivari/Jundiaí	2.668.146	6,7	3.392.567	8,5	4.071.651	10,2	4.691.885	11,7
Tietê/Sorocaba	862.026	2,2	1.094.607	2,7	1.352.666	3,4	1.625.116	4,1
Tietê/Jacaré	875.863	2,2	1.070.548	2,7	1.251.107	3,1	1.414.773	3,5
Tietê/Batalha	284.049	0,7	350.375	0,9	409.834	1,0	459.626	1,1
Baixo Tietê	490.763	1,2	551.817	1,4	618.463	1,5	677.517	1,7
Total	18.761.805	46,9	21.827.636	54,6	24.686.697	61,7	27.307.426	68,3

No que se refere às diferentes UGRHI's, verifica-se uma tendência de aumento da contribuição percentual das UGRHI's Piracicaba/Capivari/Jundiaí e Tietê/Sorocaba para o aporte de fósforo no Tietê no período de 22 anos. Paralelamente, no Alto Tietê apresenta uma redução percentual dessa participação ao longo dos anos, que foi alterada de 72% em 1986 para 68% em 2007, ainda que a contribuição em valores absolutos tenha aumentado de 34 t/dia em 1986 para 46,1 t/dia em 2007.

Tal comportamento demonstra ser decorrente da alteração gradativa na distribuição da população urbana nas bacias verificada durante o período analisado, conforme já abordado anteriormente.

A evolução do potencial de contribuição de fósforo nas bacias do Tietê nos anos de 1986, 1993, 2000 e 2007, de acordo com as participações em termos percentuais pode ser visualizada na Figura 45, a seguir.

Figura 45: Evolução do potencial de contribuição de fósforo na bacia do Tietê nos anos de 1986, 1993, 2000 e 2007, em termos percentuais.

5.1.2. Indústrias por Ramo de Atividade

O parque industrial dos municípios situados na bacia do Tietê apresentou um aumento significativo desde o ano de 1995.

Comparando-se com a situação verificada no ano de 2008, pode-se verificar um aumento de mais de 61 mil indústrias na bacia do Tietê, o que corresponde a um

crescimento de 214%. O maior crescimento se dá no ramo de “Produtos de Metal”, onde o número de indústrias foi ampliado em 8.354 unidades e o menor crescimento ocorre no ramo “Petróleo”, com a instalação de 01 indústria durante o período analisado.

Vale destacar, entretanto, o crescimento observado no segmento “máquinas de escritório e informática”, cujo número foi alterado de 2 para 275 unidades no período avaliado, o que corresponde a um aumento de mais de 13.650%. Do total de 273 novas indústrias instaladas nesse segmento, 184 localizam-se na UGRHI Alto Tietê e 88 nas UGRHI's Piracicaba/Capivari/Jundiaí, Tietê/Sorocaba e Tietê/Jacaré.

Nessas Unidades de Gerenciamento, pode-se destacar ainda, o crescimento verificado nos segmentos “material médico-hospitalar” (de 12 para 1.184 unidades), “máquinas e equipamentos” (de 65 para 4.643 unidades), “montadora de autos” (de 16 para 1.097 unidades) e “material eletrônico” (de 12 para 555 unidades).

No que se refere à UGRHI Tietê/Jacaré, é importante destacar o aumento considerável no número de indústrias do segmento “vestuário/couro/calçados”, que foi alterado de 152 unidades em 1995 para 1.238 unidades em 2008. Assim, observa-se que essa bacia concentrou 40% do total de novas indústrias instaladas na bacia do Tietê, nesse segmento.

A ampliação do número de indústrias na bacia do Tietê a partir de 1995, por ramo de atividade, através do seu comparativo com o ano de 2008 pode ser verificado na Tabela 40.

Tabela 40: Número de indústrias da bacia do Tietê, por ramo de atividade – Comparativo entre os anos de 1995 e 2008.

Ramo de Atividade	Alto Tietê			Piracicaba/ Capivari /Jundiaí			Tietê/Sorocaba			Tietê/Jacaré			Tietê/Batalha			Baixo Tietê			Total		
	Número de Indústrias			Número de Indústrias			Número de Indústrias			Número de Indústrias			Número de Indústrias			Número de Indústrias			Número de Indústrias		
	1995	2008	Diferença	1995	2008	Diferença	1995	2008	Diferença	1995	2008	Diferença	1995	2008	Diferença	1995	2008	Diferença	1995	2008	Diferença
Alimento / Bebida	816	2.309	1.493	366	1.467	1.101	235	750	515	88	545	457	72	314	242	50	276	226	1.627	5.661	4.034
Borracha / Plástico	378	3.543	3.165	50	1.038	988	25	335	310	7	185	178	1	44	43	3	59	56	464	5.204	4.740
Carvão	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2
Celulose / Papel	442	1.421	979	66	417	351	26	98	72	6	93	87	0	11	11	1	47	46	541	2.087	1.546
Coque / Refino	6	111	105	1	71	70	0	45	45	4	58	54	0	18	18	0	42	42	11	345	334
Diversos	1.595	2.532	937	281	410	129	36	78	42	61	106	45	4	14	10	5	10	5	1.982	3.150	1.168
Editora / Gráfica	1.163	4.375	3.212	94	652	558	38	292	254	23	208	185	3	58	55	6	72	66	1.327	5.657	4.330
Extrativas	68	122	54	104	288	184	124	349	225	12	48	36	8	12	4	8	23	15	324	842	518
Fumo	1	11	10	0	0	0	0	1	1	1	2	1	0	4	4	1	1	0	3	19	16
Madeira	464	1.167	703	109	529	420	92	295	203	32	229	197	5	61	56	5	71	66	707	2.352	1.645
Máquinas e Equipamentos	46	2.552	2.506	12	1.396	1.384	3	331	328	3	250	247	0	70	70	1	44	43	65	4.643	4.578
Máquinas Escrit. / Inform.	2	186	184	0	60	60	0	12	12	0	16	16	0	0	0	0	1	1	2	275	273
Material Elétrico	1.710	3.591	1.881	81	470	389	67	214	147	9	135	126	0	13	13	4	12	8	1.871	4.435	2.564
Material Eletrônico	10	367	357	1	121	120	1	38	37	0	24	24	0	2	2	0	3	3	12	555	543
Material Médico Hospitalar	9	742	733	2	288	286	1	70	69	0	75	75	0	3	3	0	6	6	12	1.184	1.172
Material Transportes	645	1.144	499	41	204	163	26	86	60	9	42	33	3	14	11	0	14	14	724	1.504	780
Mecânica	1.782	2.930	1.148	225	510	285	107	275	168	21	118	97	4	35	31	6	22	16	2.145	3.890	1.745
Metalúrgicas	3.353	5.476	2.123	358	897	539	175	511	336	44	218	174	3	58	55	22	59	37	3.955	7.219	3.264
Minerais Metálicos	1	3	2	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	4
Minerais Não Metálicos	750	2.216	1.466	489	1.964	1.475	194	917	723	33	302	269	18	103	85	55	238	183	1.539	5.740	4.201
Mobiliário	1.182	3.395	2.213	213	1.343	1.130	73	377	304	17	246	229	7	120	113	22	141	119	1.514	5.622	4.108
Montadora Autos	8	671	663	8	282	274	0	73	73	0	44	44	0	8	8	0	19	19	16	1.097	1.081
Perfumaria e Sabões	407	642	235	46	92	46	25	35	10	1	18	17	0	5	5	1	7	6	480	799	319
Petróleo	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Produtos Farmacêuticos	94	183	89	28	34	6	7	20	13	3	1	-2	1	1	0	4	2	-2	137	241	104
Produtos Metal	125	4.883	4.758	21	2.242	2.221	6	765	759	1	381	380	1	112	111	0	125	125	154	8.508	8.354
Produtos Plástico	1.842	2.857	1.015	148	290	142	85	204	119	5	73	68	3	18	15	0	11	11	2.083	3.453	1.370
Químicas	665	3.122	2.457	162	1.100	938	78	409	331	23	285	262	8	107	99	2	69	67	938	5.092	4.154
Têxtil	698	1.598	900	521	1.535	1.014	62	246	184	12	132	120	1	25	24	3	29	26	1.297	3.565	2.268
Vestuário / Couro / Calçados	4.340	5.157	817	421	622	201	78	177	99	152	1.238	1.086	22	73	51	37	466	429	5.050	7.733	2.683
Total	22.602	57.307	34.705	3.848	18.324	14.476	1.564	7.004	5.440	567	5.073	4.506	164	1.303	1.139	236	1.869	1.633	28.981	90.880	61.899

Avaliando-se o comportamento das diferentes UGRHI's, verifica-se que o maior crescimento percentual se dá no Tietê/Jacaré, justamente aquela classificada na categoria “em industrialização” através da Lei 9.034/94. Nessa bacia, o número de indústrias foi alterado de 567 em 1995 para 5.073 em 2008, o que corresponde a uma expansão de 795%.

O menor crescimento, em termos percentuais, se dá na UGRHI Alto Tietê, num total de 154%. No entanto, quando se considera o número de empreendimentos, verifica-se que o total de novas indústrias instaladas nessa bacia foi de mais de 34 mil unidades, uma vez que o número foi ampliado de 22.602 para 57.307 unidades. Atualmente, a UGRHI Alto Tietê abriga 63% do número total de indústrias situadas na bacia do Tietê. Pode-se destacar também, o crescimento verificado na bacia Piracicaba/Capivari/Jundiaí. Apesar do percentual reduzido, comparativamente ao observado na UGRHI Tietê/Jacaré, o número de novas indústrias foi ampliado em 14.476 unidades.

O comparativo entre o número total de indústrias, por UGRHI, entre os anos de 1995 e 2008, bem como o crescimento percentual observado no período pode ser visualizado através da Figura 46, abaixo.

Figura 46: Expansão do número de indústrias na bacia do Tietê, a partir de 1995.

De forma complementar às análises efetuadas em relação à concentração populacional, pode-se perceber uma desaceleração dos níveis de desenvolvimento industrial da UGRHI Alto Tietê, com intensificação do processo de industrialização a partir do Piracicaba/Capivari/Jundiaí.

Tal situação indica ser resultante do processo de transferência de sistemas de produção industrial da RMSP para o interior, com consequente mudança no comportamento da concentração populacional e industrial, conforme abordado no item 4.1.4.1. do presente trabalho.

Não obstante os dados relativos ao número de indústria por ramo de atividade tenham sido levantados e compilados, a influência qualitativa dessa atividade sobre o comportamento do fósforo não será abordada neste trabalho, uma vez que não se dispõe das vazões e das características dos efluentes, ou seja, das respectivas cargas.

5.1.3. Áreas Agricultáveis

A extensão das áreas irrigadas da bacia do Tietê foi ampliada de 100.057 ha em 1985 para 141.364 ha em 1995, o que corresponde a uma evolução de 41,3%. Tal situação pode ser resultante dos processos de mecanização da agricultura, que contribuiu para uma maior eficiência das técnicas de plantio, auxiliando na sua expansão. Pode resultar também, do próprio aumento da produtividade, em decorrência da demanda proporcionada pelo crescimento populacional.

De acordo com esses dados, a UGRHI Tietê/Jacaré foi a que apresentou maior evolução para esse período de 10 anos, uma vez que as áreas irrigadas foram ampliadas de 6.653 ha para 38.885 ha, o que representa uma evolução de 350%. No sentido inverso, a UGRHI Alto Tietê apresentou a redução mais acentuada. Para o período de 1985 a 1995, a extensão das áreas irrigadas nessa Unidade de

Gerenciamento foi alterada de 12.702 ha para 8.050 ha, o que representa uma redução de 37%. A Figura 47, a seguir traz informações sobre a extensão das áreas irrigadas da bacia do rio Tietê nos anos de 1985 e 1995.

Figura 47: Extensão das áreas irrigadas da bacia do Tietê, em ha – Período de 1985 a 1995.

Avaliando-se os dados obtidos pela CATI através do LUPA, verifica-se que a extensão das áreas cultivadas na bacia do Tietê foi alterada de 4,3 milhões de ha no ano de 1998 para 5,3 milhões de ha em 2008, um crescimento que corresponde a cerca de 24%.

A UGRHI Tietê/Sorocaba foi a que apresentou a maior expansão das áreas cultivadas, sendo alterada de 427 mil ha em 1998 para 675 mil ha em 2008, uma ampliação que corresponde a 58%; a menor expansão é verificada na UGRHI Alto Tietê, que sofreu uma redução de -7%. Em termos numéricos, entretanto, a maior expansão se dá na UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí, que registrou um aumento de mais de 292 mil ha nas áreas cultivadas.

Nas UGRHI's Tietê/Jacaré e Tietê/Batalha, apesar das ampliações terem sido percentualmente menores, de 29% e 24%, respectivamente, a expansão em termos numéricos foi bastante próxima à observada no Tietê/Sorocaba e Piracicaba/Capivari/Jundiaí, de 281 mil ha e 191 mil ha, respectivamente. No Baixo

Tietê, onde o índice de crescimento apresentado foi baixo, de 1%, encontra-se a maior extensão de área cultivada das UGRHI's do Tietê, de mais de 1.529 mil ha no ano de 2008. Considerando-se que a área total da bacia é de 16.669 km², conforme abordado no item 4.1.4.6 do presente trabalho, pode-se estimar que quase 92% do território dessa UGRHI já é atualmente ocupada pela atividade agrícola. O comparativo das extensões de áreas cultivadas nas diferentes bacias, bem como a evolução observada nos anos de 1998 e 2008 em termos percentuais, pode ser observado na Figura 48.

Figura 48: Extensão das áreas cultivadas da bacia do Tietê, em ha – Período de 1998 a 2008.

Dentre as culturas que se destacam pelo aumento das áreas cultivadas na bacia, pode-se citar as gramíneas (de 9,8 mil ha para 111,8 mil ha), o sorgo (de 7,9 mil ha para 10,7 mil ha) e a cana-de-açúcar (de 1,1 milhão ha para 2,1 milhões ha). Quanto à redução da extensão da área cultivada, pode-se citar o algodão (de 19,2 mil ha para 362 ha), o arroz (de 13,4 mil ha para 983 ha) e o milho (de 265,7 mil ha para 151 mil ha).

O aumento na extensão das áreas agricultáveis da bacia do Tietê a partir de 1998, através do seu comparativo com o ano de 2008, bem como a identificação das culturas existentes pode ser verificada na Tabela 41.

Tabela 41: Extensão das áreas agricultáveis da bacia do Tietê, por cultura – Comparativo entre os anos de 1998 e 2008.

Cultura ⁽¹⁾	Classificação da Cultura ⁽¹⁾	Alto Tietê Área (ha)			Piracicaba/Capivari/Jundiaí Área (ha)			Tietê/Sorocaba Área (ha)			Tietê/Jacaré Área (ha)			Tietê/Batalha Área (ha)			Baixo Tietê Área (ha)			TOTAL Área (ha)		
		1998	2008	Diferença	1998	2008	Diferença	1998	2008	Diferença	1998	2008	Diferença	1998	2008	Diferença	1998	2008	Diferença	1998	2008	Diferença
Abobora (ou jerimum)	Temporárias	2.253	471	-1.782	844	397	-447	1.275	751	-525	260	154	-106	477	125	-352	690	270	-420	5.801	2.169	-3.632
Alcachofra	Temporárias	6	1	-5	2	1	-1	200	202	3		2	2			0			0	207	206	-1
Alface	Temporárias	6.212	5.676	-535	1.417	666	-751	1.446	2.511	1.065	182	116	-65	47	51	5	64	43	-21	9.366	9.063	-303
Alfafa	Pastagens	4		-4	68	30	-38	72	49	-23	125	8	-117				5	17	12	273	104	-169
Algodão	Temporárias			0	852	10	-842	5	8	3	2.740	192	-2.548	1.792	54	-1.738	13.855	98	-13.757	19.244	362	-18.882
Alho	Temporárias	12	1	-11	32	5	-27	105	36	-69	62	11	-51	1		-1	5	1	-4	217	54	-163
Amendoim	Temporárias	1	1	0	11	7	-4	11	6	-5	648	589	-59	2.485	4.195	1.710	1.118	620	-498	4.273	5.418	1.145
Aroz	Temporárias	5	0	-5	1.405	262	-1.144	790	129	-661	2.852	393	-2.459	3.168	68	-3.101	5.178	132	-5.046	13.399	983	-12.416
Aspargo	Temporárias	29	26	-3	20	1	-19	11	1	-9			0	5		-5	4	2	-1	68	30	-38
Aveia	Temporárias	72	113	41	401	339	-62	692	151	-541	39	2	-37	3		-3			0	1.206	604	-602
Banana	Perenes		70	70		731	731		333	333		203	203		416	416	1.942	1.942	0	0	3.694	3.694
Batata-doce	Temporárias	148	44	-104	463	65	-398	324	177	-147	111	4	-106	53	179	127	147	228	82	1.245	698	-547
Batata-inglesa (ou batata, ou batatinha)	Temporárias	1.591	573	-1.018	2.052	758	-1.294	2.239	703	-1.536	44	2	-42			0	0		0	5.926	2.036	-3.890
Berinjela	Temporárias	1.213	94	-1.119	682	307	-375	227	78	-149	263	66	-197	30	15	-16	50	36	-14	2.466	596	-1.870
Beterraba	Temporárias	3.013	830	-2.184	254	48	-206	1.911	959	-952	25	11	-13	10	0	-10	19	4	-15	5.232	1.852	-3.381
Branquinha	Perenes	15	2	-14	51		-51	227	2	-225			0			0			0	292	3	-289
Braquiaria	Pastagens	3.356	6.208	2.852	190.440	304.736	114.296	219.693	278.923	59.231	365.372	290.741	-74.631	523.397	349.573	-173.825	961.523	683.826	-277.697	2.263.782	1.914.008	-349.774
Brocolos (ou brocolis)	Temporárias	3.783	1.482	-2.301	371	176	-195	1.044	1.260	216	29	23	-6	10	2	-9	6	9	3	5.243	2.952	-2.292
Bucha	Temporárias	14	10	-5	129	20	-109	2	26	23			0	0	8	8	2	27	26	147	91	-57
Café	Perenes		7	7		7.818	7.818		1.557	1.557		10.310	10.310		3.632	3.632		2.767	2.767	0	26.091	26.091
Cana-de-acúcar	Temporárias	365	186	-179	251.952	280.799	28.847	70.111	121.052	50.941	481.738	626.472	144.733	168.112	412.195	244.083	176.365	652.769	476.404	1.148.642	2.093.472	944.830
Capim-gordura	Pastagens	1.080	1.426	347	4.138	5.068	930	495	1.507	1.012	271	159	-112	4		-4	24		-24	6.011	8.161	2.150
Capim-jaragua	Pastagens		9	9	3.490	1.277	-2.213	23.939	23.657	-282	1.948	691	-1.257	628	10	-618	555		-555	30.559	25.644	-4.915
Capim-napier (ou capim-elefante)	Pastagens	389	495	106	10.332	4.256	-6.076	13.081	3.725	-9.356	4.320	2.115	-2.205	1.265	441	-823	3.275	796	-2.479	32.662	11.829	-20.833
Cara (ou acara)	Temporárias	11	2	-9	78	12	-66	7	11	4			0	40		-40	218	19	-199	354	44	-310
Cebola	Temporárias	139	16	-123	25	8	-17	4.194	1.017	-3.178	2	1	-1	86	69	-17	498	42	-456	4.944	1.152	-3.792
Cebolinha	Temporárias	2.139	884	-1.255	336	39	-297	90	97	7	22	12	-10	6	8	1	20	7	-13	2.613	1.046	-1.567
Cenoura	Temporárias	2.298	678	-1.620	220	58	-162	6.907	1.131	-5.776	28	2	-26	10	2	-8	24	5	-19	9.486	1.876	-7.610
Centeio	Temporárias	2	2	0	0	0	0	2	1	-1			0		0	0			0	5	4	-1
Chicória (ou chicória-de-folha-crespa)	Temporárias	1.174	137	-1.037	286	105	-181	85	139	54	30	15	-15	4	3	0	2	1	-1	1.580	399	-1.181
Chuchu	Temporárias	601	319	-282	301	463	162	187	196	9	27	11	-16	0		0	8	3	-5	1.124	992	-131
Cogumelo	Temporárias	302	276	-27	10	9	-1	12	14	2	0		0			0		0	0	324	298	-26
Colônia	Pastagens	45	83	38	2.320	2.452	133	307	1.292	985	6.820	2.568	-4.252	5.781	6.325	544	176.506	55.960	-120.546	191.779	68.681	-123.098
Couve (ou couve-crespa)	Temporárias	2.754	1.048	-1.706	560	155	-406	315	334	19	41	16	-25	9	8	0	16	8	-8	3.695	1.568	-2.127
Couve-flor	Temporárias	4.319	944	-3.375	760	331	-429	1.327	884	-443	33	3	-30	7	1	-7	19	5	-13	6.464	2.168	-4.296
Crotalaria	Temporárias		0	0	73	7	-66	48	2	-46	26	46	20	25	101	76	415	556	141	587	712	125
Ervas medicinais e aromaticas	Temporárias/Perenes	444	1.256	813	665	30	-635	232	41	-190	35	78	44	30	47	18	1.545	6	-1.539	2.949	1.458	-1.491
Ervilha	Temporárias	227	77	-150	81	5	-76	211	58	-153	2		-2			0	2		-2	523	140	-383
Espinafre (ou espinafre-europeu)	Temporárias	1.333	284	-1.049	161	4	-157	71	41	-30	4	3	-1	0	2	2	1		-1	1.570	333	-1.237
Essências Nativas	Florestais			0		12	12			0					42	42		7	7	0	60	60
Eucalipto	Florestais		28.177	28.177		72.308	72.308		77.549	77.549		122.755	122.755		21.722	21.722		7.461	7.461	0	329.971	329.971
Feijão	Temporárias	572	227	-345	4.931	3.784	-1.148	6.458	3.693	-2.765	978	155	-823	1.769	171	-1.598	7.995	3.207	-4.788	22.703	11.237	-11.467

Cultura ⁽¹⁾	Classificação da Cultura ⁽¹⁾	Alto Tietê Área (ha)			Piracicaba/Capivari/Jundiá Área (ha)			Tietê/Sorocaba Área (ha)			Tietê/Jacaré Área (ha)			Tietê/Batalha Área (ha)			Baixo Tietê Área (ha)			TOTAL Área (ha)		
		1998	2008	Diferença	1998	2008	Diferença	1998	2008	Diferença	1998	2008	Diferença	1998	2008	Diferença	1998	2008	Diferença	1998	2008	Diferença
Flores diversas	Temporárias	868		-868	802	3	-799	293	10	-283	1		-1	1		-1	4		-4	1.968	13	-1.955
Frutas diversas	Perenes		2.167	2.167	23	8.399	8.376	2	3.090	3.088	294	3.345	3.051	620	9.661	9.041	1.193	3.058	1.865	2.132	29.720	27.588
Girassol	Temporárias	2		-2	24	74	50	1	78	77	150	59	-91	0	200	200	12		-12	189	411	223
Gramma em Placas	Temporárias			0			0		288	288			0			0		151	151	0	439	439
Gramas	Pastagens	80		80		20.900	20.900		58.164	58.164		14.855	14.855		14.580	14.580	9.822	3.263	-6.559	9.822	111.841	102.019
Grãos diversos	Temporárias	17	6	-11	1.461	432	-1.029	690	231	-459	994	644	-350	1.171	522	-649	4.207	9.388	5.181	8.541	11.223	2.682
Inhame	Temporárias	162	17	-145	0	1	1	577	630	53			0			0			0	739	647	-91
Jiló	Temporárias	1.269	144	-1.125	66	70	4	82	51	-31	118	14	-104	39	15	-23	63	28	-36	1.638	322	-1.315
Laranja	Perenes		109	109		42.007	42.007		26.725	26.725		114.131	114.131		113.969	113.969		10.964	10.964	0	307.905	307.905
Laranja-azeda	Perenes			0		52	52		2	2		209	209		53	53		1	1	0	316	316
Limaço	Perenes		45	45		1.566	1.566		971	971		625	625		13.062	13.062		433	433	0	16.701	16.701
Maça	Perenes			0		14	14		25	25		0	0			0	5		-5	5	39	34
Mamona	Temporárias			0	2	31	30	1	2	1	578	2	-576	31		-31	40	45	5	651	80	-571
Mandioca	Temporárias	574	218	-357	1.981	3.469	1.488	2.043	1.733	-310	890	888	-3	1.150	886	-264	734	1.152	418	7.372	8.345	973
Mandiocinha	Temporárias	292	47	-245	110	49	-61	507	194	-313	1	0	-1	11	3	-8		5	5	920	298	-622
Maxixe (ou pepino-das-antilhas)	Temporárias	13	5	-7	1	0	-1	2	16	15	1	0	-1	11		-11	12	10	-2	39	31	-7
Melancia	Temporárias			0	152	11	-142	688	739	51	35	280	245	619	519	-100	779	139	-640	2.273	1.688	-585
Milho	Temporárias	3.022	1.473	-1.549	41.198	35.779	-5.418	39.558	40.457	899	33.783	16.001	-17.782	40.618	16.865	-23.753	107.527	49.548	-57.979	265.707	160.124	-105.583
Morango	Temporárias	98	35	-63	575	527	-48	474	175	-299	1	3	2	103	7	-96	34	1	-34	1.285	747	-538
Outras culturas permanentes	Perenes	406	136	-271	35	5.436	5.401		1.167	1.167		1.106	1.106		6.921	6.921	0	13.044	13.044	442	27.810	27.368
Outras culturas temporárias	Temporárias	1.516	159	-1.357	649	387	-262	559	406	-153	284	40	-244	71	476	405	99	56	-42	3.177	1.523	-1.653
Outras flores	Temporárias/Perenes	9	692	683	8	1.980	1.972		156	156	2	1	-2	7	7		12	12	12	19	2.847	2.828
Outras florestais	Florestais	114	92	-23	240	974	734	620	382	-238	40	205	165	26	71	46	115	485	370	1.155	2.209	1.054
Outras frutíferas	Temporárias/Perenes		40	40	3	402	400	8	223	215	19	317	298	5	405	400	32	5.526	5.494	67	6.914	6.847
Outras gramíneas e leguminosas para pastagem	Pastagens	849	2.308	1.459	19.777	55.630	35.853	13.623	11.780	-1.843	44.515	24.087	-20.428	32.342	4.449	-27.893	19.186	2.616	-16.570	130.292	100.869	-29.423
Outras olerícolas	Temporárias	12.332	5.857	-6.475	2.060	1.223	-837	1.785	2.541	757	351	199	-151	79	92	12	90	81	-9	16.696	9.994	-6.702
Pepino	Temporárias	1.834	131	-1.703	224	58	-165	234	84	-150	150	24	-125	34	5	-29	46	10	-36	2.521	312	-2.209
Pimentão	Temporárias	2.329	1.172	-1.157	571	316	-255	487	230	-257	571	20	-551	514	131	-383	316	67	-249	4.788	1.937	-2.851
Pinus	Florestais		650	650		3.211	3.211		1.749	1.749		13.077	13.077		52	52		11	11	0	18.749	18.749
Quiabo	Temporárias	964	901	-63	439	173	-266	147	198	52	172	22	-151	46	16	-30	1.277	432	-845	3.045	1.742	-1.303
Rami	Perenes	1	1	0	0	0	0	2	3	1			0			0			0	3	4	1
Repolho	Temporárias	5.079	2.385	-2.694	213	70	-143	4.536	2.372	-2.164	65	8	-57	20	0	-20	28	10	-19	9.942	4.845	-5.097
Soja	Temporárias	14	1	-13	654	915	261		541	541	3.190	785	-2.406	3.351	685	-2.667	11.386	17.208	5.822	18.595	20.135	1.540
Temperos diversos	Temporárias/Perenes	2.645	56	-2.589	176	85	-91	350	89	-261	34	5	-29	19	21	1	27	52	24	3.250	306	-2.944
Tomate	Temporárias	1.355	185	-1.170	1.816	784	-1.032	865	315	-551	157	33	-124	908	528	-380	651	681	30	5.752	2.526	-3.226
Trigo	Temporárias			0	91	403	312	122	298	176			0			0			0	213	701	489
Triticale	Temporárias			0	78	117	40	1	16	16			0			0			0	78	133	55
Viveiro de flores e ornamentais	Temporárias		312	312		578	578		126	126		15	15		4	4		40	40	0	1.075	1.075
Viveiro de florestais	Florestais		2	2		37	37		7	7		1	1			0		6	6	0	53	53
Viveiro de frutíferas em geral	Perenes		1	1		48	48		1	1		1	1		4	4		3	3	0	58	58
Viveiros diversos	Temporárias/Perenes		14	14		213	213		64	64		107	107		22	22		65	65	0	485	485
Total		75.679	70.435	-5.244	553.634	846.600	292.965	426.610	675.067	248.457	955.471	1.237.115	281.644	791.043	981.791	190.748	1.507.837	1.528.903	21.067	4.310.274	5.339.911	1.029.637

(1) Classificação das culturas de acordo com dados do LUPA/CATI (Torres et al., 2007).

As maiores extensões de área são atualmente ocupadas pelas culturas da cana-de-açúcar (2.093 mil ha), braquiárias (1.914 mil ha), eucalipto (330 mil ha), laranja (308 mil ha) e milho (160 mil ha). Pode-se citar ainda, as gramíneas (112 mil ha), o capim colômbio (69 mil ha) e o cultivo de frutas diversas (37 mil ha). A somatória dessas culturas corresponde, hoje, a 94% das áreas cultivadas da bacia do Tietê e em 1998, esse percentual era de 90%. No Alto Tietê, onde houve uma redução de 5 mil ha nas áreas cultivadas, a expansão dessas culturas foi de cerca de 32 mil ha. Percebe-se, ainda, que no decorrer de 10 anos, as pastagens e a cultura do milho cederam lugar ao cultivo cana-de-açúcar, numa tendência verificada principalmente após a UGRHI Tietê/Jacaré, que é crescente na medida em que o rio caminha para o interior. No Baixo Tietê, inclusive, essa situação é bastante representativa, pois a redução de 463 mil ha de pastagens e milho foi concomitante com o aumento de 476 mil ha de cana-de-açúcar.

A diferença na extensão das áreas ocupadas pelas pastagens, cana-de-açúcar e milho nos anos de 1998 e 2008 na bacia do rio Tietê, bem como a sua curva de tendência pode ser visualizada na Figura 49.

Figura 49: Extensão das áreas utilizadas para plantio da cana-de-açúcar, milho e pastagens na bacia do Tietê – Diferença verificada entre os anos 1998 e 2008.

Em decorrência da extensão das áreas cultivadas e da capacidade de perda de terra estimada para os solos do Estado de São Paulo nas áreas agricultáveis, da ordem de 7,852 t/ha, pode-se estimar que em 1998 cerca de 92,7 mil toneladas de terra eram perdidas diariamente nas bacias do rio Tietê; em 2008, essa quantidade passou para cerca de 114,8 mil de toneladas diárias. Em relação ao fósforo, cuja concentração nas terras do Estado é estimada em 0,002614%, as quantidades perdidas diariamente foram alteradas de 2,42 t/dia para 3 t/dia no período de 10 anos.

As informações referentes à extensão das áreas cultivadas e às quantidades estimadas de terra e de fósforo perdidas por bacia, nos anos de 1998 e 2008, pode ser verificada na Tabela 42.

Tabela 42: Extensão das áreas cultivadas e quantidades de terra e fósforo perdidas na bacia do Tietê, por cultura – Comparativo entre os anos de 1998 e 2008.

Bacia	1998			2008		
	Área (ha)	Perdas de Terra (t/dia)	Perdas de Fósforo (t/dia)	Área (ha)	Perdas de Terra (t/dia)	Perdas de Fósforo (t/dia)
Alto Tietê	75.679	1.628	0,04	70.435	1.515	0,04
Piracicaba/Capivari/Jundiaí	553.634	11.910	0,31	846.600	18.212	0,48
Tietê/Sorocaba	426.610	9.177	0,24	675.067	14.522	0,38
Tietê/Jacaré	955.471	20.554	0,54	1.237.115	26.613	0,70
Tietê/Batalha	791.043	17.017	0,44	981.791	21.121	0,55
Baixo Tietê	1.507.837	32.437	0,85	1.528.903	32.890	0,86
Total	4.310.274	92.724	2,42	5.339.911	114.874	3,00

Verifica-se assim, que a partir de um aumento de 24% na extensão das áreas cultivadas, a quantidade diária de fósforo perdida é acrescida também em 24%.

5.1.4. Níveis de Fósforo na Coluna d'Água

Os dados referentes à concentração de fósforo na coluna d'água na bacia do rio Tietê, para o período de 1986 a 2007 encontram-se descritos na Tabela 43.

Tabela 43: Concentrações médias de fósforo na coluna d'água no período de 1986 a 2007, em mg/L, conforme Relatório de Qualidade das Águas Interiores - CETESB.

Código do Ponto	Bacia	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
TIET 02050	Alto Tietê	0,044	0,040	0,035	0,040	0,073	0,044	0,028	0,070	0,044	0,115	0,060	0,042	0,090	0,102	0,095	0,128	0,100	0,043	0,047	0,087	0,067	0,088
TIET 02090	Alto Tietê	0,068	0,058	0,070	0,060	0,071	0,063	0,055	0,078	0,068	0,186	0,070	0,072	0,093	0,090	0,130	0,136	0,117	0,103	0,078	0,098	0,093	0,175
TIET 03120	Alto Tietê																0,423	0,465	1,253	0,425	0,630	0,447	0,327
TIET 04150	Alto Tietê	0,386	0,186	0,475	0,170	0,193	0,214	1,149	0,555	1,046	0,407	0,267	0,520	0,682	1,052	0,537	0,937	1,302	1,852	0,960	0,943	0,835	2,047
TIET 04170	Alto Tietê																1,606	1,400	1,703	1,483	1,277	1,517	0,807
TIET 04180	Alto Tietê													3,200	1,257	1,095	1,438	1,390	1,753	2,513	1,398	1,237	1,125
TIET 04200	Alto Tietê	1,598	1,200	1,258	1,090	1,323	1,341	1,513	1,317	4,367	2,573	1,537	1,688	1,926	1,852	2,042	2,158	2,207	2,178	2,305	2,328	1,313	1,177
TIES 04900	Alto Tietê	0,540	1,296	1,287	1,184	1,183	1,124	1,210	0,829	3,500	1,652	1,452	1,865	2,111	1,650	1,448	2,185	1,758	2,258	2,475	1,225	2,115	1,713
TIPI 04900	Alto Tietê	0,153	0,452	0,875	0,283	0,690	0,865	1,321	1,123	2,468	0,944	0,957	1,004	1,404	1,247	1,078	1,720	1,432	2,095	2,138	1,262	1,667	1,718
TIRG 02900	Tietê/Sorocaba	0,144	0,432	0,702	0,246	0,889	0,741	0,792	1,148	2,413	0,968	1,395	1,055	1,203	1,027	1,185	1,620	1,575	1,575	1,717	1,158	1,645	2,443
TIET 02350	Tietê/Sorocaba	0,478	0,272	0,393	0,173	0,255	0,508	0,609	0,794	1,613	0,792	1,122	1,104	0,998	1,072	1,081	0,906	0,734	1,364	0,714	1,122	1,217	1,217
TIET 02400	Tietê/Sorocaba	0,184	0,241	0,270	0,146	0,262	0,312	0,224	0,613	1,928	0,506	1,008	1,540	0,803	1,368	1,145	1,230	0,917	0,705	1,148	1,130	1,837	0,952
TIET 02450	Tietê/Sorocaba								0,287	0,636	0,645	0,655	1,890	0,478	0,510	0,848	1,052	0,782	0,958	1,010	0,727	1,253	0,707
TIBT 02500	Tietê/Sorocaba								0,150	0,309	0,165	0,139	0,217	0,259	0,261	0,224	0,224	0,404	0,954	0,596	0,333	0,308	0,338
TIBB 02100	Tietê/Sorocaba										0,055	0,052	0,076	0,066	0,115	0,093	0,102	0,105	0,176	0,117	0,105	0,173	0,157
TIBB 02700	Tietê/Sorocaba										0,061	0,051	0,048	0,046	0,072	0,099	0,065	0,082	0,216	0,082	0,087	0,195	0,137
TIET 02500	Tietê/Jacaré	0,040	0,060	0,050	0,023	0,015	0,057	0,029	0,044	0,028	0,041	0,065	0,088	0,060	0,070	0,093	0,063	0,103	0,326	0,095	0,093	0,115	0,107
TIET 02600	Tietê/Batalha	0,045	0,070	0,029	0,040	0,021	0,055	0,037	0,031	0,033	0,066	0,034	0,033	0,030	0,049	0,051	0,028	0,042	0,039	0,042	0,055	0,063	0,078
TIPIR 02990	Tietê/Batalha																						0,020
TIET 02700	Baixo Tietê	0,039	0,033	0,045	0,027	0,023	0,057	0,034	0,026	0,022	0,153	0,051	0,022	0,028	0,016	0,031	0,034	0,032	0,021	0,026	0,022	0,023	0,038
TITR 02100	Baixo Tietê					0,016	0,066	0,023	0,115	0,017	0,022	0,023	0,015	0,036	0,016	0,030	0,041	0,026	0,018	0,030	0,025	0,023	0,042
TITR 02800	Baixo Tietê	0,061	0,042	0,057	0,050	0,019	0,073	0,026	0,025	0,021	0,036	0,017	0,014	0,020	0,029	0,030	0,074	0,026	0,019	0,023	0,025	0,042	0,058

Fonte: Adaptado de PAGANINI, 2007, a partir de dados fornecidos pelo Relatório de Qualidade das Águas Interiores, da CETESB, 2007.

A avaliação da presença de fósforo na bacia do rio Tietê demonstra que os pontos de monitoramento localizados no Alto Tietê apresentaram uma tendência de aumento nas concentrações do nutriente durante o período de 22 anos, conforme Figuras 50 a 58. Cabe ressaltar que nos pontos TIET 03120, TIET 04170 e TIET 04180, Figuras 52, 54 e 55, a tendência de diminuição nas concentrações é provavelmente decorrente do monitoramento mais recente, uma vez que individualmente, os valores são bastante elevados, com concentrações similares aos demais pontos da bacia situados a montante.

Figura 50: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02050 - UGRHI Alto Tietê, próximo à nascente.

Figura 51: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02090 – UGRHI Alto Tietê, 20 km a jusante da nascente.

Figura 52: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 03120 – UGRHI Alto Tietê, 35 km a jusante da nascente.

Figura 53: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 04150 – UGRHI Alto Tietê, 77 km a jusante da nascente.

Figura 54: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 04170 – UGRHI Alto Tietê, 102 km a jusante da nascente.

Figura 55: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 04180 – UGRHI Alto Tietê, 112 km a jusante da nascente.

Figura 56: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 04200 – UGRHI Alto Tietê, 120 km a jusante da nascente.

Figura 57: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIES 04900 – UGRHI Alto Tietê, 160 km a jusante da nascente.

Figura 58: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIPI 04900 – UGRHI Alto Tietê, 201 km a jusante da nascente, no município de Pirapora do Bom Jesus.

No caso da UGRHI Tietê/Sorocaba também há uma tendência de aumento nas concentrações de fósforo durante o período avaliado, principalmente nos pontos de monitoramento situados na parte superior da UGRHI, logo a jusante da RMSP, caso dos pontos TIRG 02900, TIET 02350 e TIET 02400, conforme Figuras 59 a 61.

Figura 59: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIRG 02900 – UGRHI Tietê/Sorocaba, 273 km a jusante da nascente, no Reservatório de Rasgão, município de Pirapora do Bom Jesus.

Figura 60: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02350 – UGRHI Tietê/Sorocaba, 396 km a jusante da nascente.

Figura 61: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02400 – UGRHI Tietê/Sorocaba, 443 km a jusante da nascente, após a confluência com o rio Sorocaba.

Nos pontos TIET 02450, TIBT 02500, TIBB02100 e TIBB02700, também localizados no Tietê/Sorocaba, porém na sua porção media e inferior, também há um comportamento geral de aumento nas concentrações de fósforo, conforme Figuras 62 a 65, porém percebe-se que os valores são mais reduzidos, apesar do aporte das URGHI's PCJ e TS, fator que pode ser resultado da possível precipitação do nutriente no sedimento do lago formado pela represa de Barra Bonita.

Figura 62: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02450 – UGRHI Tietê/Sorocaba, 463 km a jusante da nascente, início da Represa de Barra Bonita.

Figura 63: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02500 – UGRHI Tietê/Sorocaba – 568 km a jusante da nascente.

Figura 64: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIBB 02100 – UGRHI Tietê/Sorocaba, 598 km a jusante da nascente, após a confluência com o rio Piracicaba.

Figura 65: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIBB 02700 – UGRHI Tietê/Sorocaba – 602 km a jusante da nascente, na represa de Barra Bonita, após a confluência com o rio Piracicaba.

Nas UGRHI's Tietê/Jacaré e Tietê/Batalha, conforme Figuras 66 e 67, nota-se também um comportamento geral de aumento nas concentrações, porém com tendência de estabilização, com manutenção em níveis mais reduzidos que os pontos localizados nas bacias situadas a montante. Vale destacar que nos últimos 6 anos a tendência de aumento nas concentrações identificadas no ponto TIET 02600 foi mais acentuada. Os dados do ponto TIPR 02990, localizado na UGRHI Tietê/Batalha não serão apresentados, visto que não se faz possível apresentar sua evolução, já que o

mesmo dispõe somente da média de 2007, ano em que esse ponto passou a fazer parte da rede de monitoramento.

Figura 66: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02500 – UGRHI Tietê/Jacaré, 607 km a jusante da nascente.

Figura 67: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02600 – UGRHI Tietê/Batalha, 705 km a jusante da nascente, no Reservatório de Ibitinga.

Os pontos TIET 02700, TITR 02100 e TITR 02800, localizados no Baixo Tietê apresentam tendência geral de diminuição nas concentrações de fósforo, conforme Figuras 68 a 70. Inclusive, nos últimos 10 anos cerca de 70% dos resultados de fósforo obtidos atendem os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 para corpos d'água enquadrados na classe 2.

Figura 68: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIET 02700 – UGRHI Baixo Tietê, 865 km a jusante da nascente.

Figura 69: Tendência da concentração de fósforo no ponto TIRT 02100 – UGRHI Baixo Tietê, 945 km a jusante da nascente.

Figura 70: Tendência da concentração de fósforo no ponto TITR 02800 – UGRHI Baixo Tietê, 1065 km a jusante da nascente, no Reservatório de Três Irmãos.

A partir dos dados apresentados individualmente é possível verificar uma tendência de estabilização relativa das concentrações médias de fósforo nas águas a partir das UGRHI's Tietê/Jacaré e Tietê/Batalha, e de redução na UGRHI Baixo Tietê.

No Alto Tietê e Tietê/Sorocaba a tendência de aumento gradual nas concentrações de fósforo ao longo dos anos é um fator que demonstra acompanhar o desenvolvimento econômico e populacional dessas bacias.

Inclusive, nos pontos de monitoramento situados após a confluência do Tietê com os rios Sorocaba e Piracicaba (TIET 02400, TIBB 02700 e TIET 02500), que atravessam áreas bastante urbanizadas, as concentrações de fósforo tendem a ser maiores.

Assim, apesar da tendência geral de diminuição nas concentrações de fósforo ao

longo da UGRHI Tietê/Sorocaba, de montante para jusante, ainda que as concentrações permaneçam elevadas, pode-se detectar um aumento desses valores na região de contribuição do rio Sorocaba, no ponto de monitoramento TIET 02400. Esse ponto situa-se cerca de 4 km após o ponto de confluência dos rios Sorocaba e Tietê, conforme demonstrado na Figura 71.

Figura 71: Localização do ponto de amostragem TIET 02400 – Jusante da confluência dos rios Sorocaba e Tietê.

Fonte: <http://www.earth.google.com>.

Nesse ponto de monitoramento, em relação ao ponto situado cerca de 50 km a montante, o TIET 02350, verifica-se um acréscimo nas concentrações médias de fósforo da ordem de 9% para o período de 1986 a 2007, sendo que a concentração média de fósforo foi alterada de 1,052 mg/L para 1,152 mg/L.

Comportamento similar pode ser identificado na comparação dos valores observados nos pontos de monitoramento TIBB 02700 e TIET 02500, localizados cerca de 14 e 19 km, respectivamente, a jusante do ponto de confluência entre os rios Piracicaba e Tietê, conforme Figura 72, a seguir.

Figura 72: Localização do ponto de amostragem TIBB 02700 e TIET 02500 – Jusante da confluência dos rios Piracicaba e Tietê.

Fonte: <http://www.earth.google.com>.

As médias das concentrações de fósforo identificadas nesses pontos apresentaram um acréscimo também da ordem de 9% para o período de 1996 a 2007, sendo alterado de 0,093 mg/L no ponto TIBB 02700 para 0,102 mg/L no ponto TIET 02500.

No que se refere à evolução ao longo do tempo, a Figura 73, a seguir, apresenta as concentrações de fósforo observadas nas bacias do Tietê através das médias quinquenais relativas ao período compreendido entre os anos de 1986 a 2007.

Figura 73: Concentrações de fósforo no Tietê, em mg/L, conforme Relatório de Qualidade das Águas Interiores – Médias quinquenais entre 1986 e 2007. Fonte: Adaptado de PAGANINI, 2007.

5.1.5. Níveis de Fósforo no Sedimento

Os dados referentes à concentração de fósforo no compartimento sedimento nos pontos situados no caudal do rio Tietê encontram-se descritos na Tabela 44.

Tabela 44: Concentração de fósforo sedimento nos anos de 2004 e 2005, em mg/L, conforme Relatório de Qualidade das Águas Interiores.

Código do Ponto	Bacia	Localização	Distância a partir da nascente (km)	2004	2005	Média - 2004 - 2005
TIET02050	Alto Tietê	Na captação da SABESP no município de Biritiba-Mirim.	0	0,080	0,030	0,055
TIBB02100	Tietê/Sorocaba	No corpo central do Reservatório de Barra Bonita, a jusante da confluência dos Rios Tiê e Piracicaba.	598		0,060	0,060
TIPI04850	Tietê/Sorocaba	Aproximadamente 0,5 Km da comporta do Reservatório de Barra Bonita.	605	2,580		2,580
TITR02100	Baixo Tietê	No Reservatório 3 Irmãos, em frente a captação de Araçatuba.	945		0,060	0,060

Apesar da análise das concentrações de fósforo nesse compartimento ser de grande importância para avaliação do comportamento desse nutriente em um corpo d'água, tendo em vista a sua elevada capacidade de precipitação no material sedimentado, a baixa disponibilidade de dados não permite fornecer uma avaliação mais abrangente, uma vez que não se possibilita a compatibilização de dados e a comparação de alterações no decorrer dos anos.

Ainda assim, a partir das informações ora disponibilizadas, é possível verificar que o ponto de monitoramento TIPI 04850, localizado na região da UGRHI Tietê/Sorocaba, na porção inferior do Reservatório de Barra Bonita, tende a apresentar concentrações de fósforo mais elevadas.

Tal situação, aliada aos dados sobre as concentrações de fósforo na coluna d'água, permite inferir que esse resultado pode ser decorrente das taxas de precipitação do nutriente que é lançado no corpo d'água em elevadas quantidades nos pontos a montante, principalmente na UGRHI do Alto Tietê.

Na Tabela 45, abaixo, pode-se verificar as concentrações médias de fósforo na coluna d'água e no sedimento nos pontos de monitoramento localizados no caudal do Tietê, referente aos anos 2004 e 2005.

Tabela 45: Concentração de fósforo na coluna d'água e no sedimento, em mg/L, conforme Relatório de Qualidade das Águas Interiores – Média dos anos 2004 e 2005.

Código do Ponto	UGRHI	Distância a partir da nascente (km)	Concentração de Fósforo (mg/L)					
			Água			Sedimento		
			2004	2005	Média	2004	2005	Média
TIET02050	Alto Tietê	0	0,047	0,087	0,067	0,080	0,030	0,055
TIET02090		20	0,078	0,098	0,088	-	-	-
TIET03120		35	0,425	0,630	0,528	-	-	-
TIET04150		77	0,960	0,943	0,952	-	-	-
TIET04170		102	1,483	1,277	1,380	-	-	-
TIET04180		112	2,513	1,398	1,956	-	-	-
TIET04200		120	2,305	2,328	2,317	-	-	-
TIES04900		160	2,475	1,225	1,850	-	-	-
TIPI04900		201	2,138	1,262	1,700	-	-	-
TIRG02900	Tietê/Sorocaba	273	1,717	1,158	1,438	-	-	-
TIET02350		396	0,714	1,122	0,918	-	-	-
TIET02400		443	1,148	1,130	1,139	-	-	-
TIET02450		463	1,010	0,727	0,868	-	-	-
TIBT02500		568	0,596	0,333	0,465	-	-	-
TIBB02100		598	0,117	0,105	0,111	-	0,060	0,060
TIBB02700		602	0,082	0,087	0,084	-	-	-
TIPI04850		605	-	-	-	2,580	-	2,580
TIET02500	Tietê/Jacaré	607	0,095	0,093	0,094	-	-	-
TIET02600	Tietê/Batalha	705	0,042	0,055	0,049	-	-	-
TIET02700	Baixo Tietê	865	0,026	0,022	0,024	-	-	-
TTTR02100		945	0,030	0,025	0,028	-	0,060	0,060
TTTR02800		1065	0,023	0,025	0,024	-	-	-

Avaliando-se esses dados graficamente, é possível verificar que a partir do ponto em que as concentrações de fósforo na UGRHI Tietê/Sorocaba encontram-se mais baixas na coluna d'água, ao longo do percurso do rio, a concentração do nutriente do sedimento está mais elevada.

O comportamento da média de fósforo nos anos 2004 e 2005, na coluna d'água e no sedimento, ao longo do Tietê, pode ser verificado na Figura 74.

Figura 74: Concentração de fósforo na coluna d'água e no sedimento, em mg/L, conforme Relatório de Qualidade das Águas Interiores – Média dos anos 2004 e 2005.

5.2. Relação entre as Variáveis

Para relação entre as variáveis, as Figuras 75, 76 e 77 apresentam a comparação dos dados relativos à concentração de fósforo na coluna d'água e concentração populacional total e urbana, número de indústrias e extensão das áreas agricultáveis, respectivamente, embora não existam dados sobre as vazões e características das indústrias.

Para elaboração da Figura 75, que corresponde à concentração populacional urbana, foram utilizados dados referentes aos anos de 1986, 1993, 2000 e 2007. Em relação ao número de indústrias, Figura 76, utilizou-se dados referentes a 1995 e 2008 e, no que se refere à extensão das áreas cultivadas, Figura 77, foram utilizadas informações referentes aos anos de 1998 e 2008.

Para todas as relações, para efeito de visualização por bacia, os dados referentes ao Piracicaba/Capivari/Jundiaí e Tietê/Sorocaba foram somados, uma vez que ambas convergem para os mesmos pontos de contribuição no caudal do Tietê, entre a Usina Edgard Souza e o Reservatório de Barra Bonita.

Figura 76: Concentração populacional total, número de indústrias e concentração de fósforo na coluna d'água na bacia do Tietê – anos 1995 e 2008.

Figura 77: Concentração populacional total, extensão área cultivada e concentração de fósforo na coluna d'água na bacia do Tietê – anos 1998 e 2008.

A partir dos dados apresentados é possível verificar que a evolução populacional e o crescimento industrial foram mais acentuados nas UGRHI's Alto Tietê, Piracicaba/Capivari/Jundiaí e Tietê/Sorocaba. Nos municípios situados nas UGRHI's Tietê/Jacaré, Tietê/Batalha e Baixo Tietê essa alteração é menos perceptível, uma vez que a grande maioria deles permaneceu com população de até 50 mil habitantes durante o período transcorrido entre 1986 e 2007.

Verifica-se assim, que o crescimento populacional experimentado pelas bacias do Tietê nesses 22 anos foi acompanhado de um aumento nas concentrações de fósforo na coluna d'água.

A elevada concentração de fósforo nas águas do rio, em seu trecho no Alto Tietê, provoca reflexos ao longo de todo o seu curso até a Represa de Barra Bonita, podendo-se observar a manutenção de níveis bastante elevados de fósforo na UGRHI Tietê/Sorocaba, com sensível diminuição a partir do ponto situado na UGRHI Tietê/Jacaré. Desta forma, pode-se inferir que a elevada carga de fósforo lançada na UGRHI Alto Tietê tende a ser “exportada” para a UGRHI Tietê/Sorocaba, onde o mesmo possivelmente precipita e fica acumulado no sedimento da Represa de Barra Bonita. Tal situação é ratificada pelo comportamento do fósforo no sedimento, a partir dos dados disponibilizados pela CETESB.

No Tietê/Sorocaba, a partir do reservatório de Barra Bonita, é possível inferir também, que as concentrações de fósforo tendem a ser menores devido ao aumento da vazão de regularização do rio em decorrência do represamento. Não obstante, é possível verificar que as concentrações de fósforo na coluna d'água são aumentadas após a contribuição dos rios Sorocaba e Piracicaba, que atravessam municípios com elevado número de habitantes.

Verifica-se, assim, que nas UGRHI's Alto Tietê, Piracicaba/Capivari/Jundiaí e Tietê/Sorocaba, que concentram atualmente 91% da população das bacias do Tietê e onde houve uma ampliação de 11,3 milhões de habitantes para o período de 22 anos, a concentração média de fósforo foi alterada de 0,399 mg/L em 1986 para 0,945 mg/L em 2007.

Paralelamente, nas UGRHI's Tietê/Jacaré, Tietê/Batalha e Baixo Tietê, que

concentram atualmente 71% das áreas cultivadas da bacia do Tietê e onde houve um acréscimo de 493 mil ha de área plantada no período de 10 anos, a concentração média de fósforo foi alterada de 0,046 mg/L em 1986 para 0,065 mg/L em 2007.

No Baixo Tietê, inclusive, que possui atualmente mais de 1,5 milhões de ha de áreas cultivadas, o que corresponde a cerca de 92% da área total da UGRHI, a concentração média de fósforo nas águas apresentou uma redução de 0,050 mg/L em 1986 para 0,046 mg/L em 2007. Ainda, os resultados obtidos nos pontos de amostragem operados pela CETESB, apontam que no decorrer de 22 anos, a concentração média de fósforo nessa bacia foi da ordem de 0,035 mg/L.

Isso indica que nas bacias compostas em sua maioria por municípios de pequeno porte, com menos de 20 mil habitantes, e com intensa atividade agrícola, as concentrações de fósforo nas águas tendem a ser mais reduzidas.

Desta forma, é possível inferir que o aumento nas concentrações de fósforo na coluna d'água do caudal do rio Tietê acompanha a expansão populacional da UGRHI's mais populosas e mais industrializadas, denotando pouca relação entre o aumento da extensão das áreas utilizadas pela agricultura e a ampliação dos níveis desse nutriente nas águas.

Para ratificação desses dados, efetuando-se um comparativo das cargas potenciais de fósforo nessas UGRHI's, a partir da atividade urbana e agrícola, verifica-se que enquanto a contribuição de fósforo a partir dos esgotos domésticos pode ser estimada em 68,3 t/dia, a contribuição decorrente das perdas de terra é de 3 t/dia.

Para elaboração dessa relação, estima-se que cada pessoa seja responsável pelo lançamento de 2,5 g/dia de fósforo, a partir dos esgotos domésticos e que, em cada hectare cultivado no Estado de São Paulo, o potencial de perdas de terra seja da ordem de 7,852 t/ha/ano, com concentrações de fósforo de 0,002614%.

Comparando-se com os dados de 1998, observa-se que a carga estimada de fósforo oriunda da bacia do Tietê, a partir do lançamento dos esgotos domésticos era de 59,6 t/dia, enquanto o potencial de perda desse nutriente nas áreas cultivadas podia ser estimado em 2,42 t/dia.

Tais dados podem ser observados na Tabela 46, a seguir.

Tabela 46: Comparativo das cargas potenciais de fósforo na bacia do Tietê, em decorrência das atividades urbana e agrícola, em t/dia.

UGRHI	Atividade Urbana				Atividade Agrícola			
	1998		2007		1998		2008	
	População Urbana (nº hab)	Carga Estimada de Fósforo (t/dia)	População Urbana	Carga Estimada de Fósforo (t/dia)	Área Cultivada (ha)	Carga Estimada de (t/dia)	Área Cultivada (ha)	Carga Estimada de Fósforo (t/dia)
Alto Tietê	16.499.134	41,25	18.438.509	46,10	75.679	0,04	70.435	0,04
Piracicaba/Capivari/Jundiá	3.874.989	9,69	4.691.885	11,73	553.634	0,31	846.600	0,48
Tietê/Sorocaba	1.275.790	3,19	1.625.116	4,06	426.610	0,24	675.067	0,38
Tietê/Jacaré	1.197.929	2,99	1.414.773	3,54	955.471	0,54	1.237.115	0,70
Tietê/Batalha	392.716	0,98	459.626	1,15	791.043	0,44	981.791	0,55
Baixo Tietê	600.106	1,50	677.517	1,69	1.507.837	0,85	1.528.903	0,86
Total da Bacia do Tietê	23.840.664	59,60	27.307.426	68,27	4.310.274	2,42	5.339.911	3,00

Verifica-se assim, que o potencial de contribuição de fósforo a partir da atividade urbana, em decorrência da elevada concentração populacional, devido ao lançamento de esgotos domésticos, é bastante superior ao potencial de contribuição nas áreas cultivadas, a partir das estimativas de perdas de terra.

Considerando-se que nos locais onde o fosfato na forma de STPP é utilizado como *builder* em detergentes em pó a quantidade de fósforo presente nos esgotos domésticos pode ser da ordem de 50% (quantidade mínima) a 80% (quantidade máxima), é possível estimar que essa fonte é responsável pelo aporte de 34,1 a 54,6 t/dia de fósforo nas águas do Tietê. Desse total, de 23,0 a 36,9 t/dia tem origem na bacia Alto Tietê.

Considerando-se, entretanto, que a totalidade das formulações dos detergentes em pó para uso doméstico comercializados no Brasil tenha obedecido aos limites de STPP propostos pela Resolução CONAMA nº 359/05, atendendo plenamente as expectativas estabelecidas, a redução no aporte de fósforo nas águas do rio Tietê desde o ano de 2008 seria da ordem de 10,2 a 16,4 t/dia, o que é ainda considerada uma redução muito conservadora.

Desta forma, caso as metas propostas venham a ser atingidas, a quantidade de fósforo lançada nas águas do Tietê através dos esgotos domésticos em decorrência do uso de detergentes, poderia ser estimada atualmente em 23,9 a 38,2 t/dia.

Na Tabela 47, a seguir, pode-se visualizar um comparativo entre a contribuição

potencial total de fósforo na bacia do Tietê, bem como as contribuições estimadas de STPP antes e após a aplicação da Resolução CONAMA nº 359/05.

Tabela 47: Cargas atuais estimadas de fósforo nas águas do Tietê, por UGRHI, em decorrência do uso de detergentes contendo STPP, em t/dia.

UGRHI	Total nos Esgotos Domésticos (t/dia)	STPP (t/dia)			
		Antes CONAMA 359/05		Após CONAMA 359/05	
		Mínimo (50%)	Máximo (80%)	Mínimo (50%)	Máximo (80%)
Alto Tietê	46,10	23,05	36,88	16,13	25,81
Piracicaba/Capivari/Jundiaí	11,73	5,86	9,38	4,11	6,57
Tietê/Sorocaba	4,06	2,03	3,25	1,42	2,28
Tietê/Jacaré	3,54	1,77	2,83	1,24	1,98
Tietê/Batalha	1,15	0,57	0,92	0,40	0,64
Baixo Tietê	1,69	0,85	1,36	0,59	0,95
Total da Bacia do Tietê	68,27	34,13	54,61	23,89	38,23

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos dados levantados no decorrer do presente trabalho, considerando-se as informações avaliadas no levantamento bibliográfico, bem como os dados obtidos a partir do estudo de caso, pode-se verificar que o impacto da atividade urbana para o aumento da concentração de fósforo nas águas é bastante elevado, comparativamente à atividade agrícola. Pode-se verificar também, a magnitude e a inquestionável contribuição dos detergentes para configuração desse cenário.

O controle do aporte de fósforo nas águas a partir da atuação nas fontes oriundas da atividade urbana, principalmente pela limitação da presença de tripolifosfato de sódio (STPP) nos detergentes, demonstra ser de grande importância para a melhoria da qualidade das águas e para a preservação do ciclo do nutriente. Isto porque, além de auxiliar na redução do aporte do principal nutriente limitante do crescimento biológico em um ambiente aquático, a redução da presença de fósforo nesses produtos pode auxiliar na diminuição das suas taxas de exploração no meio ambiente, contribuindo para sua conservação.

A evolução nas ferramentas de controle do aporte de fósforo nas águas é relevante, também, para garantia das condições ambientais e de saúde pública, uma vez que pode contribuir para a redução dos níveis de eutrofização das águas. Nesse sentido, o controle das fontes de fósforo em áreas urbanas demonstra ser uma alternativa mais simples do que a implantação generalizada dos sistemas mais avançados de tratamento dos esgotos domésticos, os denominados sistemas terciários. O estabelecimento de padrões de qualidade para os corpos receptores é uma ferramenta imprescindível para a manutenção da qualidade dos corpos d'água. Já o estabelecimento de limites de lançamento, de forma linear, considerando-se somente a obrigatoriedade e a abrangência nacional da legislação, pode trazer consequências indesejáveis e onerosas, pois os sistemas terciários de tratamento de esgotos possuem elevados custos de implantação, operação e manutenção.

As regras e normas para implantação desses sistemas devem ser criteriosamente

analisadas, levando-se em conta as diversidades regionais e os diferentes aspectos ambientais, econômicos e sociais envolvidos, como o potencial de eutrofização do corpo d'água, os seus usos previstos e requeridos, a factibilidade de disponibilização e aplicação dos recursos financeiros necessários e as metas para universalização dos serviços de saneamento.

Para tanto, o estabelecimento de metas graduais e progressivas, a serem atendidas ao longo do tempo, torna-se fundamental para a viabilização de melhorias nos sistemas de saneamento. Permite-se promover, assim, a racionalização na aplicação dos recursos financeiros, de acordo com a realidade sócio-econômica brasileira, alinhando as questões ambientais à necessidade de melhoria das condições da saúde pública da população. Tal prerrogativa, inclusive, encontra-se preconizada na Lei 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico.

Também, de forma complementar, verifica-se a necessidade de serem aprimoradas e fortalecidas as formas de gerenciamento da qualidade das águas, por meio da fiscalização e monitoramento dos lançamentos domésticos e industriais.

Ou seja, a exemplo de outros países, necessita-se de uma evolução nas ferramentas para controle das fontes de fósforo, fiscalização e acompanhamento das medidas implementadas, a ponto de banir a presença de STPP nos detergentes, para depois serem sugeridas metodologias para implantação de sistemas mais avançados de tratamento de esgotos, de forma gradual e criteriosa.

Cumprе ressaltar que, no Brasil, apesar da existência de legislação específica para regulamentar a presença de STPP nos detergentes, a Resolução CONAMA nº 359, de 29 de abril de 2005, ainda não é possível identificar ações voltadas para a divulgação dos resultados já obtidos ou trabalhos de conscientização da população. Ainda que a sua implementação esteja sendo devidamente fiscalizada e acompanhada pelos órgãos responsáveis, salientando-se que a última etapa para adequação dos produtos à legislação se encerrou em abril de 2008, seus resultados práticos ainda não foram informados.

Desta forma, é de grande importância que sejam alavancados processos efetivos de conscientização e educação ambiental, de forma que a questão da importância da

preservação das fontes de fósforo seja inserida no dia-a-dia da população, conferindo-lhe o direito ao acesso à informações que lhe permita efetuar sua opção de compra com base nos impactos causados ao meio ambiente. No caso de um detergente livre de fosfato, mais do que escolher um produto mais sustentável, a opção será pela preservação das fontes do nutriente e manutenção da qualidade de vida, principalmente das futuras gerações. Nesse sentido, os “selos verdes” para os detergentes sem fósforo, sistemática já adotada em diversos países, surgem como uma iniciativa importante.

Outro fator a ser considerado é a possibilidade e viabilidade de implantação de sistemas de tratamento de esgotos domésticos que contribuam para o aumento das taxas de retorno do fósforo ao seu ciclo natural. Principalmente na Comunidade Européia, os municípios com menos de 20 mil habitantes são atualmente estimulados a adotar os sistemas de disposição de esgotos no solo como alternativa para tratamento dos esgotos domésticos, ou até mesmo, para polimento dos efluentes. Enquanto nos sistemas terciários de tratamento de esgotos convencionais, a quantidade de fósforo removida da matéria líquida e precipitada no lodo é encaminhada para aterros sanitários ou para incineração, podendo se tornar irremediavelmente perdida, na disposição no solo, a parcela de fósforo retirada dos esgotos retorna para a produção vegetal, inserindo novamente o nutriente em seu ciclo natural.

Assim, a questão da dinâmica do fósforo no meio ambiente deve ser entendida e estudada de forma integrada e sistêmica, levando-se em conta não somente as alternativas para a redução do seu aporte nos rios e reservatórios, como forma de buscar controlar os processos de eutrofização e melhorar a qualidade das águas, mas também as metodologias que busquem a conservação e proteção do meio ambiente.

Trata-se, portanto, da efetiva gestão ambiental em prol da qualidade de vida das futuras gerações, visando a preservação de um nutriente que não pode ser substituído nos processos biológicos por nenhum outro elemento naturalmente disponível ou sintetizado pelo homem, e cujas fontes, finitas e não renováveis, encontram-se alarmantemente próximas da exaustão.

Face ao exposto, recomenda-se priorizar a atuação e controle das fontes de fósforo em áreas urbanas, dado o impacto dessa atividade sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente, através das seguintes ações:

- Fiscalizar o cumprimento dos termos da Resolução CONAMA nº 359/2005, que estabelece limites para a presença de fósforo nos detergentes, comunicando os resultados obtidos, e sua importância, à população;
- Efetivar a revisão dessa Resolução, conforme previsto em seu Art. 7º, estabelecendo limites ainda mais restritivos e propondo-se prazos para substituição do fosfato por outros *builders* que ofereçam mesmas condições de qualidade, eficiência e preço de mercado ao consumidor;
- Estabelecer um processo de conscientização da população em relação a esse assunto e adotar a proposta de utilização de “selos verdes” para os detergentes livres de fosfato;
- Estabelecer limites de lançamento de fósforo nos esgotos domésticos e efluentes industriais, levando-se em conta as características sociais, econômicas e ambientais de cada região, bem como as metas progressivas decorrentes da necessidade de universalização dos serviços de saneamento, preconizadas na Lei nº 11.445/2007;
- Estabelecer um critério de etapas para implementação das melhorias planejadas, de acordo com a motivação ambiental (enquadramento dos corpos d’água e usos atuais e previstos), o montante de recursos previstos e a capacidade de investimento existente, tendo como base a realidade sócio-econômica brasileira e as diferentes características regionais;
- Identificar os pontos de lançamento existentes e mapear as indústrias que lançam fósforo em seus efluentes, de acordo com o ramo de atividade, monitorando o atendimento aos padrões de qualidade estabelecidos para os corpos d’água receptores e para os efluentes;
- Auxiliar na viabilização de alternativas para tratamento dos esgotos domésticos que auxiliem no aumento das taxas de retorno do fósforo ao seu ciclo natural, e que contribuam para os processos de reciclagem e reutilização do nutriente, como por exemplo, os sistemas de disposição de esgotos e efluentes no solo.

Em relação à atividade agrícola, não obstante sua contribuição para o aporte de fósforo nas águas seja mais reduzido, comparativamente à atividade urbana, merecem ser planejadas e adotadas ações voltadas para redução dos seus impactos sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente. Para tanto, recomenda-se:

- Implementar ferramentas para fiscalização e controle da quantidade de fertilizantes utilizada nas áreas agrícolas;
- Viabilizar melhorias operacionais e tecnológicas que permitam a otimização das formas de uso e manejo do solo, visando reduzir a quantidade de fertilizante aplicada, de acordo com as diversas culturas;
- Aprimorar os estudos relacionados com a utilização agrícola dos resíduos agrícolas, industriais e urbanos, auxiliando no aumento das taxas de retorno do fósforo ao seu ciclo natural;
- Buscar o envolvimento e comprometimento dos produtores rurais quanto à importância da redução da quantidade de fertilizantes utilizada para preservação das fontes de fósforo, através de um efetivo trabalho de educação e conscientização ambiental.

7. REFERÊNCIAS

ALONSO, R. **Fósforo utilizado em detergentes em pó prejudica qualidade de mananciais de água**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2002. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/destaque/workshop_fosforo.htm>. Acesso em: 20 maio 2007.

AMARAL E SILVA, C. C. **Poluição das águas e eutrofização**. 1972. 69 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.

AMARAL, G.; BEVILACQUA, J. E.; LAMPARELLI, C. C. **Monitoramento Integrado das bacias do alto tietê e médio tietê: avaliação da qualidade água, sedimento e peixes - relatório final**. São Paulo: SABESP/CETESB, 1999.

ANGHINIONI, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Coord). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004, p. 537-562.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Ministério da Saúde. Resolução Normativa nº 01, de 27 de novembro de 1978. Aprova as normas a serem obedecidas pelos detergentes e seus congêneres. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/01_78.htm>. Acesso em 08 set. 2008.

ANVISA (a) - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 34, de 9 de março de 2001. Regulamento técnico que aprova o uso de aditivos alimentares, estabelecendo suas funções e seus limites máximos para a categoria de alimentos 21: preparações culinárias industriais. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/34_01rdc.htm>. Acesso em: 10 set. 2008.

ANVISA (b) - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 179, de 17 de outubro de 2001. Aprova a extensão de uso dos aditivos INS 451i tripolifosfato de sódio e INS 466 carboximetilcelulose de sódio como estabilizantes em produtos cárneos. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2001/179_01rdc.htm>. Acesso em: 10 set. 2008.

ANVISA (a) - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 3, de 15 de janeiro de 2007. Regulamento técnico que aprova o uso de aditivos alimentares, estabelecendo suas funções e seus limites máximos para a categoria de alimentos 3 - gelados comestíveis. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2007/rdc/03_170107rdc.htm>. Acesso em: 10 set. 2008.

ANVISA (b) - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 5, de 15 de janeiro de 2007. Aprova o regulamento técnico sobre atribuição de aditivos e seus limites máximos para a categoria de alimentos 16.2: bebidas não alcoólicas, subcategoria 16.2.2: bebidas não alcoólicas gaseificadas e não gaseificadas. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2007/rdc/05_170107rdc.htm>. Acesso em: 10 set. 2008.

ANVISA (c) - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 60, de 5 setembro de 2007. Aprova o regulamento técnico sobre

atribuição de aditivos e seus limites máximos para a categoria de alimentos 6: cereais e produtos de ou a base de cereais. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2007/rdc/60_120907rdc.htm>. Acesso em: 10 set. 2008.

BARROW, N. J. Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. In: KHASAWNEH, F. E. et al. (Coord). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980, p. 333-359.

BARTRAN, J.; BALLANCE, R. (Coord.). **Water quality monitoring**: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes. Londres: WHO/UNEP, 1996. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/wqmonitor/en/index.html>. Acesso em: 25 nov. 2007.

BATAGLIA, O. C. Resposta à adubação fosfatada na cultura do café. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Coord). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004, p. 307-327.

BELLINAZZI Jr. R.; BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F. Ocorrência de erosão rural no Estado de São Paulo. In: II SIMPÓSIO SOBRE O CONTROLE DA EROSÃO. **Anais...** São Paulo, 1981. São Paulo: ABGE, 1981, p.117-137

BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F. Embasamento técnico do programa estadual de microbacias hidrográficas. In: LOMBARDI NETO, F, DRUGOWICH, M. I. **Manual técnico de manejo e conservação do solo e água**. Manual Técnico 38. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. v. 1. Campinas: CATI, 1994, p. 1-15.

BOLLMAN, H. A.; CARNEIRO, C.; PEGORINI, E. S. Qualidade da água e dinâmica de nutrientes. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. (Coord). **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: Sanepar Finep, 2005, p. 213-270.

BRAGA, B.; HESPANHOL., I; CONEJO J. G. L.; BARROS M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: CETESB, 1993.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. 2 ed. São Paulo: CETESB, 1978.

BRANCO, S. M. **Poluição**: a morte de nossos rios. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1972.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Poluição, proteção e usos múltiplos de represas**. São Paulo: Edgard Blücher, CETESB, 1977.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Elementos de ciência do ambiente**. 2 ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 08 jan. 2007.

BUNGE. Especial Bunge Fertilizantes 70 anos. **Bunge no campo**. Ano 5, n. 32, junho de 2008. Disponível em: <http://www.bunge.com.br/shared/files/campo/BNC32_Jul08.pdf>. Acesso em: 17 out. 2008.

CATHCART, J. B. World phosphate reserves and resources. In: KHASAWNEH, F. E. et al. (Coord). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980, p. 1-18.

CATI - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (no prelo). Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. **Levantamento Censitário das Unidades de Produção Agropecuária (LUPA) – Ano 1998**. Campinas, 1999.

CATI - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. **Levantamento Censitário das Unidades de Produção Agropecuária (LUPA) – Ano 2008**. No prelo. Campinas, 2009.

CEEP - Centre Européen d'Etudes des Polyphosphates. Desenvolvido por European Chemical Industry Council. Disponível em: <<http://www.ceep-phosphates.org>>. Acesso em 15 dez. 2008.

CEEP - Centre Européen d'Etudes des Polyphosphates. **Phosphates**: the only recyclable detergent ingredient. Disponível em: <<http://www.ceep-phosphates.org>>. Acesso em 15 dez. 2008. Belgica, 2007.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade de Águas Interiores do Estado de São Paulo**: relatório técnico. São Paulo: CETESB, 1986 a 2007. 22 v.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Sistema de Informações sobre Fontes de Poluição (SIPOL). São Paulo: CETESB, 2009.

CHAO, I. R. S. **Remoção de fósforo de efluentes de estações de tratamento biológico de esgotos com a utilização de lodo de estações de tratamento de água**. 2006. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CHAPMAN, D. (Coord.). **Water quality assessments**: a guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring. Cambridge: UNESCO/WHO/UNEP, 1996. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/resquality/en/index.html>. Acesso em: 25 nov. 2007.

CHAVE, P. A. Legal and regulatory instruments. In: HELMER, R.; HESPANHOL, I. (Coord.). **Water pollution control**: a guide to the use of water quality management principles. Londres: WHO/UNEP, 1997. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/resquality/en/index.html>. Acesso em: 25 nov. 2007.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. (Coord.). **Toxic cyanobacteria in water**: a guide to their public health consequences, monitoring and management. Londres: WHO/UNEP, 1999. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/resquality/en/index.html>. Acesso em: 25 nov. 2007.

COHEN, J. M. Nutrient removal from wastewater by physical-chemical processes. In: ALLEN, H. E.; KRAMER, J. R. (Coord.). **Nutrients in natural waters**: environmental science and technology series. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1972.

CONAMA (a) - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2009.

CONAMA (b) - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente.

Resolução nº 359, de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre a regulamentação do teor de fósforo em detergentes em pó para uso em todo o território nacional e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35905.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2009.

COOKE, G. W.; WILLIAMS, R. J. B. The Significance of man-made sources of phosphorus: fertilizers and farming. The phosphorus involved in agricultural systems and possibilities of its movement into natural water. In: JENKINS, S. H.; IVES, K. J. (Coord). **Phosphorus in fresh water and the marine environment**. v. 2. 2 ed. Londres: Pergamon Press Officers, 1975, p. 19-33.

CORBRIDGE, D. E. C. **Phosphorus**: an outline of its chemistry, biochemistry and technology. Studies in inorganic chemistry. 4 ed. Nova Iorque: Elsevier Science Publishers B. V., 1990.

CORDELL, D. **The story of phosphorous**: missing global governance of a critical resource. Suécia: Global Phosphorus Research Initiative, 2008. Disponível em: <http://phosphorusfutures.net/files/DCordell_SENSEpaper.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2008.

CRESTE, J. R. Adubação fosfatada na cultura dos citros. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Coord). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004, p. 329-358.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle da poluição ambiental**. 2 ed. São Paulo: Signus Editora, 2000.

DEVEY, D. G.; HARKNESS, N. The significance of man-made sources of phosphorus: detergents and sewage. In: JENKINS, S. H.; IVES, K. J. (Coord). **Phosphorus in fresh water and the marine environment**. v. 2. 2 ed. Londres: Pergamon Press Officers, 1975, p. 35-54.

DUTHIE, J. R. Detergent development and their impact on water quality. In: ALLEN, H. E.; KRAMER, J. R. (Coord.). **Nutrients in natural waters**: environmental science and technology series. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1972.

EC - European Community. Council Directive nº 271, of 21 May 1991. Concerning urban waste water treatment. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu>>. Acesso em: 20 fev. 2009.

EMPREGA BRASIL. Projeto Emprega Brasil. **Como montar uma fábrica de detergentes**. Disponível em: <<http://www.empregabrasil.org.br>>. Acesso em: 20 fev. 2009.

EPA - Environmental Protection Agency. **Monitoring and assesseing water quality**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/volunteer/stream/vms56.html>>. Acesso em 23 abr. 2007.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: FINEP, 1988.

EUROPA. Commission of the European Communities. Communication from the Comission to the European Parliament and the Council: Towards Sustainable Water Management in the European Union. **4th Commission Report (Executive Summary) on Implementation of the Urban Waste Water Treatment Directive**. Bruxelas: 2007. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/implrep2007/pdf/sec_2007_0363_en.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2009.

FAO - Food and Agricultural Organization. **Cada gota es importante**: la FAO lidera la iniciativa sobre el agua de la ONU. Roma: 2007. Disponível em: <<http://www.fao.org/newsroom/es/news/2007/1000494/index.html>>. Acesso em 26 abr. 2007.

FOLEGATTI, M. V. O desenvolvimento das atividades agropastoris e seus impactos na bacia hidrográfica do Rio Tietê. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE: Rio Tietê, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Faculdade de Saúde Pública, FSP/USP, 2005. CD-ROM.

FOSBRASIL. Desenvolvido pela Fosbrasil S/A. Disponível em: <<http://www.fosbrasil.com>>. Acesso em: 17 jan. 2008.

FUNDAÇÃO SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo. **Informações dos Municípios Paulistas**. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/imp>>. Acesso em: 08 dez. 2008.

GANHITO, R.; SPLIATTI, S. **Tietê: o rio de São Paulo**. São Paulo: @Books Editora, 2002.

GLENNIE, E. B.; LITTLEJOHN, C.; GENDEBIEN, A.; HAYES, A.; PALFREY, R.; SIVIL, D.; WRIGHT, K. **Phosphates and alternative detergent builders: final report**. Wiltshire: EU Environment Directorate, 2002.

GOLTERMAN, H. L. Natural phosphate sources in relation to phosphate budgets: a contribution to the understanding of eutrophication. In: JENKINS, S. H., IVES, K. J. (Coord). **Phosphorus in fresh water and the marine environment**. v. 2. 2 ed. Londres: Pergamon Press Officers, 1975, p.3-17.

HELMER, R.; HESPAÑOL, I. (Coord.). **Water pollution control: a guide to the use of water quality management principles**. London: WHO/UNEP, 1997. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/resquality/en/index.html>. Acesso em: 25 nov. 2007.

HISLOP, H. (Coord.) **The nutrient cycle: closing the loop**. Reino Unido: Green Alliance, Seacurt, 2007. Disponível em: <<http://http://www.green-alliance.org.uk/uploadedFiles/Publications/reports/TheNutrientCycle.pdf>>. Acesso em 15 dez. 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Desenvolvido pelo Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 08 set. 2008.

JACK, B. **Water pollution: tackling the issue of eutrophication**. Irlanda: University College Cork, 2005. Disponível em: <<http://www.ucc.ie/law/events/environ05papers/jack.doc>>. Acesso em: 11 abr. 2008.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T., ABDALLA, S. R. S. (Coord). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004, p. 291-305.

LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo**. 2004. 191 p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

LANTMANN, A. F.; CASTRO, C. Resposta da soja à adubação fosfatada. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Coord). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004, p. 223-239.

LASSEVILS, J. F.; BERRUX, D. **Sources of phosphorus to surface waters: comparing calculated with measured P loadings for three French rivers**. Centre Européen d'Estudes des Polyphosphates. França: Geoplus Study, 2000. Disponível em:

<<http://www.ceep-phosphates.org>> Acesso em: 10 out. 2008.

LEPREVOST, A. **Minerais para a indústria**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 1978.

LEPSCH, I. F. Solos do estado de São Paulo. In: LOMBARDI NETO, F, DRUGOWICH, M. I. **Manual técnico de manejo e conservação do solo e água**. Manual Técnico 39. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. v. 2. Campinas: CATI, 1994, p. 70-118.

LLOYD, J. The nutrient cycle: closing the loop. In: HISLOP, H. (Coord.). **The nutrient cycle: closing the loop**. Reino Unido: Green Alliance, 2007. Disponível em: <<http://www.green-alliance.org.uk>>. Acesso em: 15 dez. 2008.

LOPES, A. S.; SILVA, C. A. P.; BASTOS, A. R. R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no Mundo. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Coord). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004, p.13-33.

MACRAE, R.; ROBINSON, R. K.; SADLER, M. J. (Coord.). **Encyclopaedia of food science, food technology and nutrition**. v. 6. Londres: Academic Press Limited, 1993.

MALAVOLTA, E. O fósforo na planta e interações com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Coord). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004, p. 35-98.

MARQUES, R.; SOUZA, L. C. Matas ciliares e áreas de recarga hídrica. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C (Coord). **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: Sanepar Finep, 2005, p. 161-188.

MELO, A. C.; DIAS, V. Fósforo, o vilão dos rios. **Jornal da USP**, São Paulo, Ano XV, n. 596, 06 a 12 e maio de 2002. Disponível em: <<http://usp.br/jorusp/arquivo/2002/jusp596/pag05.htm>>. Acesso em: 12 dez. 2007.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4 ed. Singapore: McGraw-Hill Inc., 2003.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3 ed. Singapore: McGraw-Hill Inc., 1991.

MEYBECK, M.; KIMSTACH, V.; HELMER, R. Strategies for water quality assessment. In: CHAPMAN, D. (Coord.). **Water quality assessments: a guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring**. Cambridge: UNESCO/WHO/UNEP, 1996. <http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/resquality/en/index.html>. Acesso em: 25 nov. 2007.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Série E – Legislação em Saúde**. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 4 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

NHM (a) - National History Museum. **Phosphate Recovery**: phosphate removal & recovery from wastewaters. Journal Phosphorus & Potassium, v. 213, jan-fev de 1998. Londres: British Sulphur Publishing, 1998. Disponível em: <<http://www.nhm.ac.uk/research-curation/research/projects/phosphate-recovery/pk213.html>>. Acesso em: 25 jan. 2009.

NHM (b) - National History Museum. **Phosphate Recovery**: phosphorus availability in the 21st century management of a non-renewable resource. Extracted from the Journal

Phosphorus & Potassium, v. 217, set-out 1998. Londres: British Sulphur Publishing, 1998. Disponível em: <<http://www.nhm.ac.uk/research-curation/research/projects/phosphate-recovery/p&k217/steen.htm>>. Acesso em: 25 jan. 2009.

OLIVEIRA DE JESUS, J. A. **Utilização de modelagem matemática 3D na gestão da qualidade da água em mananciais**: aplicação no reservatório Billings. 2006. 142 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo.

OSORIO, V. K. L.; OLIVEIRA, W. Polifosfatos em detergentes em pó comerciais. **Revista Eletrônica Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 5, 2001. Disponível em: <<http://scielo.br/pdf/qn/v24n5/a19v24n5.pdf>>. Acesso em: 08 set 2008.

OZANNE, P. G. Phosphate nutrition of plants: a general treatise. In: KHASAWNEH, F. E. et al. (Coord). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980, p. 559-585.

PAGANINI, W. S. **A identidade de um rio de contrastes**: o Tietê e seus múltiplos usos. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2007.

PAGANINI, W. S. **Disposição de esgotos no solo**: escoamento à superfície. São Paulo: Fundo Editorial AESABESP, 1997.

PAGANINI, W. S. **Efeitos da disposição de esgotos no solo**. 2001. 387 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PERH - Plano Estadual de Recursos Hídricos. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. **Relatórios R1 a R10, RSP, RSC e Nota Técnica 01**: Período 2004 a 2007. São Paulo: SMA, 2005.

PIVELLI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição**: aspectos físico-químicos. São Paulo: ABES, 2005.

PORTO, M. Contexto institucional do processo de enquadramento na política de recursos hídricos. In: 1º SEMINÁRIO ESTADUAL DE ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA, 2009, São Paulo. **Anais...** Botucatu: SABESP, 2009. CD-ROM.

PRADO, R.B. **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**. 2004. 172 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

QUÍMICA E DERIVADOS. Fabricante se submete às leis ambientais: CONAMA regulamenta o teor de fósforo nas formulações, a fim de reduzir a eutrofização. **Revista Eletrônica Química e Derivados**, v. 438, jun. 2005. Disponível em: <<http://www.quimicaederivados.com.br/revista/qd438/detergentes6.html>>. Acesso em: 24 set 2008.

RAMEH, A. S. E. **Remoção de nutrientes em sistemas de tratamento de esgotos pelo processo de lodos ativados por meio de aeração intermitente**. 2001. 111 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Ambiental) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ROCHA, A. A. Aspectos biológicos e manejo de reservatórios eutrofizados. SIMPÓSIO INTERNACIONAL GERÊNCIA E TRATAMENTO DE ÁGUAS EUTROFIZADAS, São Paulo, 1992. **Anais...** São Paulo, AIDIS, 1992.

- ROCHA, A. A. **Do lendário Anhembi ao poluído Tietê**. São Paulo: EDUSP, 1991.
- ROCHA, A. A.; BRANCO, S. M. A eutrofização e suas implicações na ciclagem de nutrientes. **Acta Limnológica Brasiliensia**, Botucatu, v. 1, p. 201-242, 1986. São Paulo: Sociedade Brasileira de Limnologia, 1986. Disponível em: <http://www.sblimno.org.br/acta/my_web_sites/acta_limnologica_contents1E_files/Art.11%20Vol%20I.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2008.
- ROCHA, A. A.; BRANCO, S. M. O nitrogênio e o fósforo como fatores limitantes ao desenvolvimento de algas cianofíceas na represa Billings. **Revista DAE**, São Paulo, v. 45, n. 141, p. 156-158, jun. 1985.
- RUSSEL, J. B. **Química geral**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1994.
- SANTOS, C. R. **Evolução das condições sanitário-ambientais do rio Tietê até o reservatório de Barra Bonita**: efeitos da Região Metropolitana de São Paulo. 2005. 186 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Ambiental) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 8468, de 08 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976. Dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/estadual/decretos/decretos.asp>>. Acesso em: 14 set. 2008.
- SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 10755, de 22 de novembro de 1977. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/estadual/decretos/decretos.a.sp>>. Acesso em: 14 set. 2008.
- SAWYER, C. N.; MCCARTY, P. L. **Chemestry for environmental engineering**. 3. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Book Company, 1978.
- SCHNELLRATH, J.; SILVA, A. O.; SHIMABUKURO, N. T. Fosfato - Mina de Cajati - Serrana. In: SAMPAIO, J. A. et al (Coord.). **Usina de Beneficiamento de Minérios do Brasil**. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação de Inovação Tecnológica. Centro de Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. Disponível em: <www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-187-00.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2009.
- SDA - Soap and Detergente Association. Desenvolvido pelo U.S. Cleaning Product and Oleochemical Industries. Disponível em: <<http://www.sdahq.org>>. Acesso em: 10 nov 2008.
- SOLT, G. S. Phosphorus in industrial waters. In: JENKINS, S. H., IVES, K. J. (Coord). **Phosphorus in fresh water and the marine environment**. v. 2. 2 ed. Londres: Pergamon Press Officers, 1975, p. 69-75.
- SOMMERS, L. E.; SUTTON, A. L. Use of waste materials as source of phosphorus. In: KHASAWNEH, F. E. et al (Coord). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980, p. 515-544.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Coord). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004, p. 157-196.
- SOUZA, A. E. **Fosfato**. Balanço Mineral Brasileiro 2001. Departamento Nacional de Produção Mineral do Ministério de Minas e Energia. Brasília: DNPM, 2001, 31 p. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/fosfato.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2007.

SOUZA, R. A. S. **Avaliação das frações de fosfato como indicadores de eutrofização de águas superficiais**. 2005. 108 p. Dissertação (Mestrado em solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.

SSE - Secretaria de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo. Projeto Tietê. Disponível em: <http://www.saneamento.sp.gov.br/combate_enchentes.html>. Acesso em 20 ago. 2008.

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Fósforo: essencial para a vida. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Coord). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004, p. 1-11.

STUMM, W., MORGAN, J. J. **Aquatic chemistry: an introduction emphasis in chemical equilibria in natural waters**. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1981.

TAYLOR, A. W.; KILMER, V. J. Agricultural phosphorus in the environment. In: KHASAWNEH, F. E. et al (Coord). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980, p. 545-557.

TORRES, A. J.; SOUSA, A. C.; LORENA NETO, B.; BAPTISTELLA, C. A.; MACIEL, E. L. F.; PEREIRA, J. B. A.; BRUNELLI JUNIOR, J.; TESTA, J. E. A.; FONTES, J. L.; INTERLICHE, P. H.; PEREIRA, V. H. **Manual de instruções de Campo**. Levantamento Cadastral das Unidades de Produção Agropecuária (Atualização). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. 4 ed. Campinas: CATI, 2007.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, A. C. et al (Coord.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002, p. 474-508.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos, SP: RiMa, IIE, 2003.

UNEP - United Nations Environment Programme. **Life's a gas: the global warming crisis and a new enemy**. Global Environment Outlook 2000. Nairobi: UNEP, 2000. Disponível em: <<http://www.unep.org/geo2000/pressrel/life.htm>>. Acesso em 28 dez. 2008.

VAN RAIJ, B. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Potafos, 1983.

VITTI, G. C.; WIT, A.; FERNANDES, B. E. P. Eficiência agrônômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Coord.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004, p. 689-724.

VOLLENWEIDER, R. A. **Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus factors in eutrophication**. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Tech. Report. DAS/CSI6827, 1968.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. v. 1. 3 ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005.

XAVIER, C. F.; DIAS, L. N.; BRUNKOW, R. F. Eutrofização. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. (Coord). **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: Sanepar Finep, 2005, p. 271-299.

YANES, F. **Información sobre detergentes en el agua potable**. Comunicación Técnica 44. Organización Panamericana de Saúde. Organización Mundial de Saúde. Peru: OPS/OMS, 1973. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/012979/012979.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2008.

8. ANEXOS

8.1. Currículo Lattes – Port/CPG/03/08

Atendendo ao determinado na PORT/CPG/03/08, de 05/06/08, seguem as cópias das primeiras páginas do *currículo lattes*, texto gerado automaticamente pelo sistema ou informado pelo autor, do Professor Orientador e Orientanda, respectivamente.

Wanderley da Silva Paganini

possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1978), mestrado em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública Universidade de São Paulo (1997), doutorado em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública Universidade de São Paulo (2001) e livre-docência em saneamento básico e ambiental pela Faculdade de Saúde Pública Universidade de São Paulo (2006). Atualmente é professor associado da Universidade de São Paulo e Superintendente de Gestão Ambiental da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Tem experiência na área de Engenharia Sanitária, com ênfase em Tratamento de Esgotos, atuando principalmente nos seguintes temas: tratamento de esgotos para pequenas comunidades, disposição de esgotos no solo, saneamento básico, tecnologias de baixo custo, tratamento de águas esgotos e gestão ambiental.

(Texto informado pelo autor)

Última atualização do currículo em 03/03/2009

Endereço para acessar este CV:

<http://lattes.cnpq.br/5175772273020198>

**Certificado
pelo autor em
03/03/09**

Links para

Outras Bases:

[Diretório de grupos de](#)

[pesquisa](#)

[Infohabitat](#)

[SciELO - artigos em texto](#)

[completo](#)

Dados pessoais

Nome	Wanderley da Silva Paganini
Nome em citações bibliográficas	PAGANINI, W. S.
Sexo	Masculino
Endereço profissional	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Rua Costa Carvalho, 300 Pinheiros 05429-000 - São Paulo, SP - Brasil Telefone: (11) 33888312 Fax: (11) 33889617 URL da Homepage: http://www.sabesp.com.br

Claudia Maria Gomes de Quevedo

Possui graduação em Desenho Industrial, com habilitação em Projeto de Produtos, pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp). Atualmente é Analista do Núcleo de Gestão Ambiental do Médio Tietê, da Superintendência de Gestão Ambiental da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Sabesp. Possui especialização em Gestão Ambiental e está cursando Mestrado em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (FSP/USP), na área de concentração de Saúde Ambiental. Tem experiência na área de operação e manutenção de sistemas de água e esgoto, com ênfase nas atividades de planejamento e gestão de saneamento básico, recursos hídricos e meio ambiente.

(Texto informado pelo autor)

Última atualização do currículo em 21/06/2009

Endereço para acessar este CV:

<http://lattes.cnpq.br/0623129688112609>

**Certificado
pelo autor em
21/06/09**

Links para
Outras Bases:

[Diretório de grupos de
pesquisa](#)

Dados pessoais

Nome	Claudia Maria Gomes de Quevedo
Nome em citações bibliográficas	QUEVEDO, C. M. G.
Sexo	Feminino
Endereço profissional	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, Núcleo de Gestão Ambiental do Médio Tietê. Rua Dr. Costa Leite, 2000 Centro 18606-820 - Botucatu, SP - Brasil - Caixa-Postal: 38118279 Telefone: (14) 38118227 Fax: (14) 14