Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública

**Avaliação da Presença de Fósforo nos Esgotos
Sanitários e da Atual Contribuição dos Detergentes**

Claudia Maria Gomes de Quevedo

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Saúde Pública para obtenção do título de
Doutor em Saúde Pública.

Área de Concentração: Saúde Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Wanderley da Silva Paganini

São Paulo

2015

Avaliação da Presença de Fósforo nos Esgotos Sanitários e da Atual Contribuição dos Detergentes

Claudia Maria Gomes de Quevedo

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Saúde Pública para obtenção do título de
Doutor em Saúde Pública.

Área de Concentração: Saúde Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Wanderley da Silva Paganini

São Paulo

2015

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto em 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.

*Dedico este trabalho
Ao meu marido Eduardo e
À minha filha Luiza,
Com amor e carinho.*

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaria de agradecer a Deus, que me concedeu saúde, fé, calma e perseverança para enfrentar as dificuldades, visualizar os melhores caminhos e obter êxito na condução deste trabalho.

Agradeço ao meu marido Eduardo e à minha filha Luiza, por tudo o que representaram nessa conquista e pelo que representam em minha vida. Amo vocês.

Agradeço o apoio sincero dos amigos e familiares que buscaram me incentivar ao longo desse período.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Wanderley da Silva Paganini, pela oportunidade e pelos constantes ensinamentos, os quais com certeza resultaram em crescimento pessoal e profissional.

Agradeço ao Prof. Roque Passos Piveli, pelo envolvimento, apoio, dedicação e pelas importantes contribuições oferecidas.

Agradeço às equipes que atuam ou prestam apoio nas estações de tratamento de esgotos de Conchas, Franca e Parque Novo Mundo, em especial à:

- ✓ Alexandre Nogueira da Silva, Ana Lucia Silva, Denise de Oliveira, Ismael Mendes Junior e Paulo Mariano de Oliveira Junior, da Unidade de Negócio Médio Tietê – Botucatu;
- ✓ Luciana de Castro, Luciano Reami, Luís Antônio Salomão, Orlando Antunes Cintra Filho e Vânia Pontes O. Napolitano, da Unidade de Negócio Pardo e Grande – Franca;
- ✓ Aristeu Massao Matsumoto, Patrícia Paula Bravo, Pedro Panzera, Roseli Dutra Spósito e Sandra Maria de Souza, da Unidade de Negócio de Tratamento de Esgotos da Metropolitana – Parque Novo Mundo.

Sem o suporte, o conhecimento técnico, o profissionalismo e a incondicional ajuda de

vocês na coleta de amostras e na realização de análises laboratoriais, esse trabalho simplesmente não teria tido sucesso... A vocês, queridos colegas, dispenso meu respeito e ofereço, humildemente, meu muito obrigada!

Agradeço ao técnico Fábio de Campos, do Laboratório de Saneamento da Escola Politécnica (POLI/USP), pela disponibilidade, prontidão, eficiência e auxílio na realização de análises laboratoriais.

Agradeço a colaboração, a paciência e o carinho dos colegas que me ajudaram a adquirir e a transportar amostras de detergentes: Denise Mecunhe Rosa, Isabel Aparecida Alves, Jacqueline Rossi J. Pistilli, Jair Sábio de Oliveira Júnior, Natália Soares da Silva, Paulo André Cordeiro, Paulo Fernandes da Silva, Paulo Roberto Penalva dos Santos e Silvia Regina Silveira Sawaia.

Agradeço o apoio do Prof. João Manuel Grisi Candeias e do Prof. José Pedro Serra Valente, bem como, da técnica em laboratório Vânia Aparecida de Oliveira, do Instituto de Biociências da UNESP de Botucatu.

Agradeço aos docentes e funcionários da Faculdade de Saúde Pública da USP, em especial às equipes da seção de Pós-Graduação e do Departamento de Saúde Ambiental, com carinhoso destaque à Renilda Maria Shimono, profissional dedicada e pessoa sensível no atendimento às nossas demandas.

Registro meus agradecimentos, também, aos colegas do Grupo de Orientação Coletiva, coordenado pelo Prof. Wanderley da Silva Paganini, da Faculdade de Saúde Pública da USP, pela ajuda, sempre que necessário.

Finalmente, gostaria de agradecer aos meus companheiros de trabalho e à SABESP, pela contribuição ao meu aprendizado profissional, pelo incentivo e pelo constante apoio fornecido.

Dimidium facti qui coepit habet: sapere aude, incipe!

“Aquele que começou já está na metade da obra: ouse saber, comece!”

Horatius Flaccus

Poeta e filósofo romano, 65 - 8 a.C.

RESUMO

Quevedo CMG. Avaliação da presença de fósforo nos esgotos sanitários e da atual contribuição dos detergentes [tese de doutorado]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP; 2015.

A importância da gestão do aporte de nutrientes para melhoria da qualidade das águas é um assunto amplamente discutido. Diversos estudos são dedicados à avaliação da contribuição do fósforo presente nos esgotos sanitários para a ocorrência da eutrofização. As experiências vivenciadas em diversas localidades do mundo indicam que se necessita de uma série de medidas para controle das fontes pontuais e difusas de nutrientes, estando, dentre elas, a regulamentação do uso do fósforo nas formulações dos detergentes em pó destinados à limpeza de tecidos. Além de contribuir para a melhoria da qualidade dos corpos d'água e de auxiliar na preservação das reservas do nutriente, tal medida pode reduzir o aporte de fósforo nos sistemas de esgotos sanitários, permitindo a otimização dos custos com implantação, operação e manutenção. Por meio do presente trabalho, foram efetuadas análises no esgoto afluente de três estações de tratamento de esgotos (ETEs) situadas em diferentes regiões do estado de São Paulo, Brasil, bem como, foram analisadas trinta amostras de detergentes comercializados no território nacional. Verificou-se que os produtos atualmente comercializados no país possuem baixa concentração de fósforo, na faixa de 0,01% em peso, situando-se sensivelmente abaixo do limite estabelecido pela legislação que regulamenta o assunto, que é de 4,8% em peso. A atual contribuição dos detergentes para o total de fósforo presente nos esgotos, nas ETEs estudadas, pode ser considerada bastante reduzida, na faixa de 0,0014 g/hab.dia, o que corresponde a cerca de 0,17% do total de fósforo presente nos esgotos. Necessita-se, agora, evoluir com o conteúdo das normas que regem esse tema, de forma que as mesmas reflitam as condições praticadas pelo setor produtivo. Necessita-se também, averiguar outras possíveis fontes que podem contribuir para o aumento da concentração de fósforo nos esgotos, bem como, efetuar o dimensionamento das demais fontes pontuais e difusas de nutrientes nas águas. Desta forma, será possível planejar medidas de gestão proporcionais e adequadas aos diferentes atores, e sugerir etapas para eventuais melhorias nos sistemas de saneamento básico, buscando a melhor utilização dos recursos financeiros e ambientais existentes, e atendendo às demandas sociais de cada região.

Palavras-chave: Esgotos sanitários, fósforo, detergentes, qualidade das águas.

ABSTRACT

Quevedo CMG. Avaliação da presença de fósforo nos esgotos sanitários e da atual contribuição dos detergentes / The evaluation of phosphorus present in wastewater and the current contribution of detergents [DSc. Thesis]. São Paulo (BR): Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo; 2015.

The importance of nutrient management contribution in order to improve water quality is a widely discussed subject. Several studies are devoted to the evaluation of the contribution to phosphorus present in sewage for an occurrence of eutrophication. Experiments in several locations around the world indicate a need of a series of measures to control point and diffuse sources of nutrients, among them, the legislation for the use of phosphorus in powder-detergent formulations intended for cleaning fabrics. In addition to contributing to improving quality of water bodies and assist in preservation of nutrient reserves, such a measure can reduce the intake of phosphorus in sewage systems, allowing the optimization of deployment costs, operation and maintenance. By the present study, analysis in sewage influent were performed in three Wastewater Treatment Plants (WWTP) located in different areas of the state of São Paulo, Brazil, and thirty samples of detergent sold in the country were analyzed as well. It was found that the products currently sold in the country have low phosphorus concentration in the range of 0.01% by weight, standing significantly below the limit established by legislation regulating the subject, which is 4.8 % by weight. Thus, the current contribution of detergent to total phosphorus present in the sewage at the analysed WWTPs can be considered low, in the range of 0.0014 g/person.day, corresponding to less than 0.17% from the total phosphorus present in sewage. Now evolving with the contents of the standart rules governing this issue becomes necessary, so that they reflect conditions as practiced by the productive sector. It is also needed to determine other possible sources which can contribute to increasing the concentration of phosphorus in sewage, as well as perform scaling of point and diffuse nutrient sources in the water. Thus, it will be possible to plan proportional and appropriate management measures for different actors and suggest steps for further improvements in basic sanitation systems, seeking the best use of existing financial and environmental resources and serving the social existing demands in each area.

Keywords: Wastewater, phosphorus, detergent, water quality.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	19
2.	JUSTIFICATIVA.....	22
3.	OBJETIVOS.....	25
3.1	OBJETIVO GERAL	25
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
4.	REVISÃO DA LITERATURA	26
4.1	FÓSFORO NO MEIO AMBIENTE E SUAS IMPLICAÇÕES À SAÚDE PÚBLICA E À QUALIDADE DAS ÁGUAS.....	26
4.1.1	PRESENÇA DE FÓSFORO NOS CORPOS D' ÁGUA	31
4.1.2	EXPERIÊNCIAS NA GESTÃO DO APORTE DE FÓSFORO NAS ÁGUAS.....	34
4.1.2.1	CANADÁ E ESTADOS UNIDOS	35
4.1.2.2	EUROPA E UNIÃO EUROPEIA.....	42
4.1.2.3	OUTRAS LOCALIDADES E BRASIL	48
4.2	FÓSFORO NOS ESGOTOS SANITÁRIOS.....	51
4.2.1	FONTES DE FÓSFORO NOS ESGOTOS	53
4.2.2	O SETOR DE SANEAMENTO NO BRASIL.....	57
4.2.3	OS DETERGENTES COMO FONTE DE FÓSFORO NOS ESGOTOS.....	61
4.2.4	METODOLOGIAS PARA DETERMINAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DOS DETERGENTES COM RELAÇÃO AO FÓSFORO PRESENTE NOS ESGOTOS	67
4.2.5	REMOÇÃO DO FÓSFORO NOS ESGOTOS SANITÁRIOS	74
4.3	DO SABÃO AO DETERGENTE: IMPORTÂNCIA DO PRODUTO E APLICAÇÕES	87
4.3.1	MODO DE ATUAÇÃO DO DETERGENTE	89
4.3.2	DIFERENÇAS ENTRE SABÃO E DETERGENTE	91
4.3.3	PRINCIPAIS TIPOS E COMPONENTES DOS DETERGENTES	94
4.3.4	DUREZA DAS ÁGUAS E IMPORTÂNCIA DO DETERGENTE	99
4.3.5	MERCADO DE DETERGENTES NO BRASIL.....	102
4.4	REGULAMENTAÇÃO DO USO DE FÓSFORO NOS DETERGENTES	105
4.4.1	CONTEXTO HISTÓRICO	106
4.4.2	PANORAMA MUNDIAL E TENDÊNCIAS DO USO DE FÓSFORO NOS DETERGENTES.....	109
4.4.3	O ESTADO DA ARTE NO BRASIL	114
4.4.3.1	RESOLUÇÃO CONAMA Nº 359/2005	117
4.4.3.2	GRUPO DE TRABALHO DO CONAMA PARA ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	119
5.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	122
5.1	DADOS LEVANTADOS	122
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO	126

5.2.1	LOCAIS DE ESTUDO	126
5.2.1.1	ETE PARQUE NOVO MUNDO (PNM).....	128
5.2.1.2	ETE FRANCA.....	130
5.2.1.3	ETE CONCHAS	132
5.2.2	COLETA DAS AMOSTRAS	133
5.2.3	COMPOSIÇÃO E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS	137
5.2.4	PARÂMETROS ANALISADOS E ENSAIOS LABORATORIAIS	140
5.3	CARACTERIZAÇÃO DOS DETERGENTES.....	145
5.3.1	SELEÇÃO, AQUISIÇÃO E ACONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS	145
5.3.2	PARÂMETROS ANALISADOS E ENSAIOS LABORATORIAIS	149
5.4	INFORMAÇÕES SOBRE CONSUMO DE DETERGENTES	150
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	151
6.1	ANÁLISE DOS ESGOTOS SANITÁRIOS	151
6.1.1	ETE PNM	152
6.1.1.1	RESULTADOS DAS CAMPANHAS 03 E 06	158
6.1.1.2	POPULAÇÃO ATENDIDA.....	167
6.1.1.3	CARGAS DE FÓSFORO	167
6.1.2	ETE FRANCA.....	171
6.1.2.1	RESULTADOS DAS CAMPANHAS 03 E 06	177
6.1.2.2	POPULAÇÃO ATENDIDA.....	186
6.1.2.3	CARGAS DE FÓSFORO	187
6.1.3	ETE CONCHAS	191
6.1.3.1	RESULTADOS DAS CAMPANHAS 03 E 06	197
6.1.3.2	POPULAÇÃO ATENDIDA.....	207
6.1.3.3	CARGAS DE FÓSFORO	207
6.1.4	SÍNTESE DOS RESULTADOS.....	212
6.2	ANÁLISE DOS DETERGENTES	219
6.2.1	DADOS DE CONSUMO	219
6.2.2	CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO NOS DETERGENTES	220
6.3	A ATUAL CONTRIBUIÇÃO DOS DETERGENTES PARA O FÓSFORO NOS ESGOTOS	225
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	230
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	235
9.	ANEXO	249
	CURRÍCULO LATTES	250

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Ações para gestão e controle do aporte de fósforo nas águas na Europa, por fonte.....	43
Tabela 2:	Quantidade de fósforo lançada nas águas, por fonte – Alemanha – 1985 a 1995	45
Tabela 3:	Fósforo nos esgotos – Concentração e contribuição típica	51
Tabela 4:	Contribuição <i>per capita</i> de fósforo nos esgotos, nos diferentes países	52
Tabela 5:	Concentração de fósforo total nas águas cinzas	55
Tabela 6:	Pesquisa realizada no Canadá – Carga de fósforo nos esgotos e componente utilizado nos detergentes – Kg a cada 2 semanas.....	73
Tabela 7:	Sistemas com os melhores resultados na remoção de fósforo dos esgotos – eficiência prevista, demanda de área, lodo produzido e custos estimados.....	79
Tabela 8:	Valores típicos para fósforo e outros nutrientes – Fertilizantes e Biossólidos	85
Tabela 9:	Tipos de detergentes quanto à natureza dos radicais hidrofílicos e suas diferenças.....	90
Tabela 10:	Formulações típicas de diferentes detergentes na Europa.....	97
Tabela 11:	Componentes básicos e concentração de <i>builder</i> em detergentes em pó para uso doméstico em lavanderias, em diversos países e regiões.	98
Tabela 12:	Concentração de <i>builder</i> nos detergentes e dureza das águas, diferentes localidades.....	99
Tabela 13:	Graus de dureza das águas	100
Tabela 14:	População e percentagem de utilização de detergentes para a roupa sem fosfatos nos Estados-Membros da UE 25.....	112
Tabela 15:	Limites para fósforo nos detergentes, expressos em P_2O_5 , por peso do produto, de acordo com a Resolução ANVISA nº 01/78	115
Tabela 16:	Limites de fósforo para os detergentes previstos na Resolução CONAMA nº 359/05 ...	118
Tabela 17:	Procedimento adotado para acondicionamento e preservação das amostras	139
Tabela 18:	Logística adotada para o procedimento analítico e acreditação dos laboratórios.....	143
Tabela 19:	Métodos analíticos adotados para os parâmetros analisados.....	144
Tabela 20:	Informações sobre os detergentes amostrados	147
Tabela 21:	Determinação de fósforo nos detergentes	149
Tabela 22:	Concentração média de fósforo total no esgoto afluente – ETE PNM – 2006 a 2013	152
Tabela 23:	Campanhas 01 e 02 para coleta de amostras - ETE PNM.....	154
Tabela 24:	Concentração de fósforo e vazões – ETE PNM – coleta horária	156
Tabela 25:	Resultados das Campanhas 03 e 06 – ETE PNM.....	159
Tabela 26:	Correlação entre as diferentes frações de fósforo e os parâmetros DBO, DQO, ST, SST e surfactantes – ETE PNM.....	164
Tabela 27:	Índice de atendimento – ETE PNM	167
Tabela 28:	Cargas e contribuições <i>per capita</i> de fósforo – ETE PNM – campanhas 03 e 06.....	169
Tabela 29:	Concentração média de fósforo no esgoto afluente – ETE Franca – 1998 a 2013	172
Tabela 30:	Campanha 01 para coleta de amostras - ETE Franca	173
Tabela 31:	Concentração de fósforo e vazões – ETE Franca – coleta horária.	175

Tabela 32: Resultados das campanhas 03 e 06 – ETE Franca	179
Tabela 33: Correlação entre as diferentes frações de fósforo e os parâmetros DBO, DQO SST e surfactantes – ETE Franca	183
Tabela 34: Índice de atendimento – ETE Franca	187
Tabela 35: Cargas e contribuições <i>per capita</i> de fósforo – ETE Franca – campanhas 03 e 06.....	189
Tabela 36: Concentração média de fósforo no esgoto afluyente – ETE Conchas – 2012 e 2013	192
Tabela 37: Campanha 04 para coleta de amostras – ETE Conchas	193
Tabela 38: Concentração de fósforo e vazões – ETE Conchas - coleta horária	195
Tabela 39: Resultados das Campanhas 03 e 06 – ETE Conchas.....	199
Tabela 40: Correlação entre as diferentes frações de fósforo e os parâmetros DBO, DQO, ST, SST e surfactantes – ETE Conchas.	203
Tabela 41: Índices de atendimento – ETE Conchas.....	207
Tabela 42: Cargas e contribuições <i>per capita</i> de fósforo – ETE Conchas – campanhas 03 e 06.....	209
Tabela 43: Relação P/DQO das ETes analisadas	213
Tabela 44: Concentração de fósforo nos detergentes analisados	221
Tabela 45: Contribuição dos detergentes em relação ao P-total presente nos esgotos – Situação Atual - ETes PNM, Franca e Conchas.....	227
Tabela 46: Contribuição estimada dos detergentes em relação ao P-total presente nos esgotos – Limites CONAMA - ETes PNM, Franca e Conchas.....	229

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Imagens de eutrofização em diversas localidades.	28
Figura 2:	Macrófitas no Rio Tietê, represa de Barra Bonita, São Paulo. Agosto/2013.	29
Figura 3:	Macrófitas no Rio Piracicaba, São Paulo, nas proximidades do município de Santa Maria da Serra. Abril/2014	29
Figura 4:	Ciclo do fósforo e fontes nas águas.....	32
Figura 5:	Bloom de algas no Lago Erie, Estados Unidos/Canadá, em 1972	37
Figura 6:	Evolução no tratamento de esgotos nos Estados Unidos, de acordo com o nível de tratamento – De 1962 a 1996	38
Figura 7:	Evolução no consumo de fósforo para uso em detergentes, em milhões de toneladas, e número de estados americanos que baniram sua utilização, entre 1940 e 1998	39
Figura 8:	Porcentagem das amostras de solo em áreas agricultáveis com elevada concentração de fósforo, nos Estados Unidos - ano 2000.	41
Figura 9:	Estados americanos que possuem regulamentação para a presença de fósforo nos detergentes	41
Figura 10:	Estados americanos que possuem limites para lançamento de fósforo e número de estações de tratamento para remoção de fósforo	41
Figura 11:	Quantidade de fósforo lançada nas águas, por fonte – Alemanha – 1985 a 1995 (t/ano)..	45
Figura 12:	Investimentos para universalização do saneamento no Brasil – água e esgoto, 2006.	58
Figura 13:	Concentração de fósforo nos esgotos – Província de Ontário, Canadá – 1967 a 1977.	63
Figura 14:	Comportamento diuturno das concentrações de fósforo no esgoto bruto na estação de tratamento esgotos CFB, Ontário, Canadá, entre agosto/1972 e setembro/1973	63
Figura 15:	Resumo comparativo da concentração de fósforo nos esgotos antes e depois do banimento, e em locais com e sem regulamentação dos detergentes – Estados Unidos. ..	71
Figura 16:	Sequência de objetivos e fases a serem atendidos na implantação de uma ETE.....	80
Figura 17:	Resumo esquemático da estrutura molecular de sabões e detergentes LAS e ABS	93
Figura 18:	Eficiência do surfactante em relação à dureza da água, com e sem STPP	101
Figura 19:	Evolução no faturamento e no volume de detergentes para limpeza de roupas, comercializados no Brasil – De 2008 a 2012.	103
Figura 20:	Consumo <i>per capita</i> de detergentes para roupas no Brasil – De 2007 a 2012	103
Figura 21:	Panorama mundial dos builders utilizados em detergentes destinados à limpeza de roupas nos diferentes países, em 2005	111
Figura 22:	Embalagens de detergentes no Brasil: registro de ausência de fosfato – Agosto/14	113
Figura 23:	Fluxograma das atividades envolvidas no projeto e dos resultados esperados.....	125
Figura 24:	Localização geográfica e distribuição espacial das ETEs selecionadas para o estudo	127
Figura 25:	Sistema Principal de esgotamento sanitário da RMSP – ETE PNM.....	129
Figura 26:	ETE PNM – Imagem satélite	129
Figura 27:	ETE PNM – Vista aérea.....	129
Figura 28:	ETE Franca – Imagem de satélite	131

Figura 29: ETE Franca - Vista aérea	131
Figura 30: ETE Conchas – Imagem de satélite.....	132
Figura 31: ETE Conchas – Vista aérea.....	133
Figura 32: Coleta ETE PNM – Amostrador automático.....	135
Figura 33: Coleta ETE Franca – Amostrador automático	135
Figura 34: Coleta ETE Conchas – Amostrador automático.....	135
Figura 35: Resumo esquemático das campanhas de coletas realizadas nas ETEs	137
Figura 36: Equipamento ultrassônico utilizado na medição de vazão.	138
Figura 37: Separação das alíquotas e preparação dos recipientes com as amostras – coleta horária de 11/02/14 – ETE PNM.....	138
Figura 38: Detalhe da identificação das amostras, antes da preservação para envio ao laboratório – coleta de 10/02/14 – ETE Concha	139
Figura 39: Parâmetros analisados nas campanhas de coletas	141
Figura 40: Pontos de aquisição dos detergentes analisados – Estados em destaque	146
Figura 41: Produto americano analisado – ausência de fósforo.....	147
Figura 42: Identificação e acondicionamento das amostras de detergente	148
Figura 43: Informações sobre Consumo de detergentes - Correspondências enviadas	150
Figura 44: ETE PNM - Concentração média anual de P-total no esgoto afluente – 2006 a 2013	152
Figura 45: Concentração de fósforo e surfactantes – ETE PNM – campanha 01 – jan-fev/13.....	154
Figura 46: Concentração de fósforo e vazões – ETE PNM – coleta horária	157
Figura 47: Resultados das frações de fósforo – ETE PNM – campanhas 03 e 06	160
Figura 48: Fósforo total, fósforo orgânico e fósforo inorgânico – ETE PNM – camp. 03 e 06	161
Figura 49: DBO, DQO e fósforo – ETE PNM – campanhas 03 e 06	162
Figura 50: ST, SST e Fósforo – ETE PNM – campanhas 03 e 06.....	162
Figura 51: Surfactantes e fósforo – ETE PNM – campanhas 03 e 06.....	162
Figura 52: Diagrama de dispersão - DQO e P-total, P-org, P-orto e P-poli – ETE PNM.....	164
Figura 53: Diagrama de dispersão - SST e P-total, P-org, P-orto e P-poli – ETE PNM.....	165
Figura 54: Concentrações mínimas, médias e máximas de fósforo – ETE PNM.....	166
Figura 55: Concentrações mínimas, médias e máximas de DBO, DQO, ST e SST – ETE PNM.	166
Figura 56: Concentrações mínimas, médias e máximas de surfactantes – ETE PNM.....	166
Figura 57: Distribuição percentual das cargas de fósforo – ETE PNM.....	170
Figura 58: Contribuição <i>per capita</i> e valores típicos das contribuições de fósforo – ETE PNM.....	171
Figura 59: Concentração média de fósforo no esgoto afluente – ETE Franca – 1998 a 2013	172
Figura 60: Concentração de fósforo e surfactantes – ETE Franca – campanha 01 – mar/13.	174
Figura 61: Concentração de fósforo e vazões – ETE Franca – coleta horária.	176
Figura 62: Resultados das frações de fósforo – ETE Franca – campanhas 03 e 06.....	180
Figura 63: P-total, P-org e P-inorg – ETE Franca – campanhas 03 e 06.	181
Figura 64: DBO, DQO e fósforo – ETE Franca – campanhas 03 e 06.....	182
Figura 65: ST, SST e fósforo – ETE Franca – campanhas 03 e 06	182
Figura 66: Surfactantes e fósforo – ETE Franca – campanhas 03 e 06	182
Figura 67: Diagrama de dispersão - DBO e P-total, P-org, P-orto e P-poli – ETE Franca.....	183

Figura 68: Diagrama de dispersão – DQO, P-total, P-org, P-orto e P-poli – ETE Franca.....	184
Figura 69: Concentrações mínimas, médias e máximas de fósforo – ETE Franca.....	185
Figura 70: Concentrações mínima, média e máxima de DBO, DQO e SST – ETE Franca.	186
Figura 71: Concentrações mínima, média e máxima de surfactantes – ETE Franca	186
Figura 72: Distribuição percentual das cargas de fósforo – ETE Franca.....	190
Figura 73: Contribuição <i>per capita</i> e valores típicos das cargas de fósforo – ETE Franca	191
Figura 74: Concentração de fósforo, DBO, DQO e SST na ETE Conchas – Campanha 04.	194
Figura 75: Concentração de fósforo e vazões – ETE Conchas – coleta horária	196
Figura 76: Amostras de esgoto coletadas na ETE Conchas no dia 06/08/13.....	199
Figura 77: Resultados das frações de fósforo – ETE Conchas – campanhas 03 e 06.....	200
Figura 78: P-total, P-org e P-inorg – ETE Conchas – campanhas 03 e 06.	201
Figura 79: DBO, DQO e fósforo – ETE Conchas – campanhas 03 e 06.	202
Figura 80: ST, SST e fósforo – ETE Conchas – campanhas 03 e 06.....	202
Figura 81: Surfactantes e fósforo – ETE Conchas – campanhas 03 e 06	202
Figura 82: Diagrama de dispersão - DQO e P-total, P-org, P-orto e P-poli – ETE Conchas	204
Figura 83: Diagrama de dispersão – SST e P-total, P-org, P-orto e P-poli – ETE Conchas	204
Figura 84: Diagrama de dispersão – Surfact. e P-total, P-org, P-orto e P-poli - ETE Conchas	205
Figura 85: Concentrações mínimas, médias e máximas de fósforo – ETE Conchas	206
Figura 86: Concentrações mín., méd. e máx. de DBO, DQO, ST e SST – ETE Conchas.....	206
Figura 87: Concentrações mínimas, médias e máximas de surfactantes – ETE Conchas.....	206
Figura 88: Distribuição percentual das cargas de fósforo – ETE Conchas.....	210
Figura 89: Contribuição <i>per capita</i> e valores típicos das cargas de fósforo – ETE Conchas	211
Figura 90: Concentração de P-total nos esgotos das diferentes ETEs, em mg.P/L.....	212
Figura 91: Concentrações médias P-org e P-inorg nos esgotos das diferentes ETEs, em mg.P/L....	214
Figura 92: Concentrações mínima, média e máxima de P-poli e P-orto, em mg.P/L	215
Figura 93: Concentração de P-total e P-org nos esgotos das diferentes ETEs, em mg.P/L	216
Figura 94: Concentração de P-total e P-inorg nos esgotos das diferentes ETEs, em mg.P/L	216
Figura 95: Concentrações médias de P-total, P-org e P-inorg, e faixa de concentração, em mg/L ..	217
Figura 96: Contribuição <i>per capita</i> P-total, P-org e P-inorg, e faixa contribuição, em g/hab.dia.....	218
Figura 97: Respostas obtidas em consulta aos fabricantes	222
Figura 98: Resposta obtida em nova consulta ao fabricante	223

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

ABAD	Associação Brasileira de Atacadistas e Distribuidores
ABIPLA	Associação Brasileira de Produtos de Limpeza
ABIQUIM	Associação Brasileira de Indústrias Químicas
ABRAS	Associação Brasileira de Supermercados
ABS	Alquilbenzenossulfonados de cadeia ramificada
AESBE	Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais
AISE	<i>International Association for Soaps, Detergents and Maintenance Products</i>
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BMP	<i>Best Management Practice</i>
BNH	Banco Nacional de Habitação
CEAQUM	Centro de Apoio Químico ao Ensino, à Pesquisa e de Prestação de Serviços
CESBs	Companhias Estaduais de Saneamento Básico
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFB	<i>Canadian Forces Base</i>
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CQuiM/LAQ	Laboratório de Análises Químicas
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DEFRA	<i>Department for Environment, Food and Rural Affairs</i>
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DM	<i>Deutsche Mark</i>
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EAWAG	<i>Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology</i>
EDTA	Ácido Etilenodiaminotetracético
END	Efluentes Não Domésticos
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FAN	Filtro Anaeróbio
FAS	Filtro Aeróbio Submerso

FCTH/USP	Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo
GFI	Grupo Fabricante/Importador
GLWQA	<i>Great Lakes Water Quality Agreement</i>
GMSM	<i>Global Material Supply Management</i>
IB/UNESP	Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IJC	<i>International Joint Commission</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LabSan	Laboratório de Saneamento da Escola Politécnica/USP
LAS	Alquilbenzenossulfonados de cadeia linear
LPEP	<i>First Federal Law on the Protection of Water Against Pollution</i>
M	Diretoria Metropolitana
MFP	Monofluorofosfato
MQUAL	Modelo Matemático de Correlação Uso do Solo e Qualidade da Água
MTTP	Laboratório de Ensaios de Água e Esgoto da ETE Parque Novo Mundo
NPDES	<i>National Pollutant Discharge Elimination System</i>
NTA	Ácido Nitrilotriacético
OMS	Organização Mundial de Saúde
PCA	Ácido Policarboxílico
PDPA	Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental
PIB	Produto Interno Bruto
P-inorg	Fósforo Inorgânico
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
PNM	Parque Novo Mundo
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
POLI/USP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
P-org	Fósforo Orgânico
P-orto	Ortofosfato
P-poli	Polifosfato
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
P-total	Fósforo Total
<i>r</i>	Coefficiente de correlação de Pearson
RAFA	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

RGOC	Laboratório de Ensaios de Controle da Qualidade de Água e Esgoto Franca
RMOC	Laboratório de Controle Sanitário do Médio Tietê
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
ROA	Departamento de Controle Sanitário e Ambiental
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEADE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SMWW	<i>Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater</i>
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
STPP	Tripolifosfato de sódio
TC	Tietê Centro
TL	Tietê Leste
TRATESGO	Sistema de Tratamento de Esgotos da Diretoria de Sistemas Regionais
TSP	Fosfato Trisódico
TSPF	Tetrapirofosfato de Sódio
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UKCPI	<i>United Kingdom Cleaning Products Industry Association</i>
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos séculos, o uso de produtos de limpeza ofereceu uma grande contribuição para a melhoria da qualidade de vida e do ambiente local. No entanto, em especial nos últimos 50 anos, intensificaram-se as discussões a respeito dos efeitos ambientais regionais e globais desses produtos, principalmente em decorrência do aumento considerável no seu consumo, dando início a debates sobre a relação entre população, comportamento de consumo, esgoto sanitário e meio ambiente.

Nesse período, diversas pesquisas realizadas apontaram que a ocorrência de eutrofização pode ser influenciada ou acelerada pela expansão no nível de consumo de detergentes destinados à lavagem de roupas, contendo fósforo nas suas formulações. De maneira concomitante, a eutrofização passou a ser reconhecida como um problema de poluição em sistemas hídricos e reservatórios de inúmeras localidades do mundo; ainda que a gestão do aporte de fósforo nas águas envolva a combinação de uma série de ações para controle de fontes pontuais e difusas de nutrientes, levando-se em conta a forma de uso e ocupação da bacia hidrográfica, os estudos desenvolvidos incluem a importância de se regulamentar o uso de detergentes fosfatados.

Outra questão abordada com relação à restrição ao uso de fósforo nos detergentes, é a contribuição dessa medida para a desaceleração no ritmo de exploração das fontes do elemento no meio ambiente, e para a preservação das suas reservas naturais, que são finitas e não renováveis.

De forma complementar aos efeitos benéficos sobre o meio ambiente, verificou-se ainda que a restrição ao uso de detergentes fosfatados pode auxiliar na redução dos custos dos sistemas de esgotos. Ao evitar que uma parcela significativa de fósforo chegue até as estações de tratamento, a regulamentação dos detergentes pode acarretar na diminuição na quantidade de produtos químicos utilizados e de resíduos sólidos gerados, bem como, permitir a postergação dos investimentos na implantação de sistemas destinados à remoção de nutrientes, cujos custos são elevados, possibilitando a ampliação dos níveis de atendimento em locais com *déficit* de atendimento pelos serviços de saneamento. Verifica-se, portanto, que o reflexo do controle do fósforo nos detergentes

para redução dos custos dos sistemas de esgotos é um fato comprovado nos locais onde a regulamentação foi estipulada.

No Brasil, a presença de fósforo nos detergentes foi revisada e atualizada no ano de 2005, através da Resolução nº 359 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que estipulou a redução progressiva dos limites vigentes desde o ano de 1978, ao longo de três anos subsequentes, ou seja, até 2008. Tal medida foi considerada pelos especialistas no assunto como um “avanço na questão do controle preventivo da poluição dos corpos hídricos do País” (CONAMA, 2010, p. 17).

No entanto, é possível verificar no Brasil, uma tendência de que a gestão da presença do fósforo nas águas e o controle da eutrofização sejam tratados de maneira equivocada, atuando-se no efeito e não na causa. Tende-se a pensar unicamente em remover o fósforo em sistemas de tratamento e disposição final dos esgotos, relegando para um segundo plano as medidas preventivas para identificação e controle das fontes desse elemento, bem como, as possibilidades de sua reutilização e reciclagem, a despeito das inúmeras previsões em relação ao esgotamento das suas reservas naturais.

Por meio do presente trabalho, intitulado “Avaliação da Presença de Fósforo nos Esgotos Sanitários e da Atual Contribuição dos Detergentes”, busca-se determinar a presença de fósforo no esgoto afluente de diferentes estações de tratamento do estado de São Paulo, e dimensionar a contribuição dos detergentes fosfatados de uso doméstico destinados à limpeza de tecidos, verificando a conformidade dos produtos atualmente comercializados frente aos limites estipulados pela legislação que regulamenta o assunto, a Resolução CONAMA nº 359/05.

Sendo assim, o presente trabalho busca responder duas questões: “Qual a quantidade de fósforo que chega até as estações de tratamento atualmente? Qual é a contribuição dos detergentes fosfatados?”

Para tanto, relata algumas experiências vivenciadas em outras localidades com relação ao controle do aporte de fósforo nas águas e as metodologias adotadas para determinação da contribuição das fontes desse elemento nos esgotos sanitários, e apresenta dados que visam auxiliar na compreensão da situação atual, na identificação de aspectos relevantes a serem considerados com relação à gestão dos nutrientes e, numa abordagem global, no direcionamento das ações de melhoria que podem ser implementadas.

Baseia-se na hipótese de que a concentração de fósforo aplicada nos detergentes destinados à lavagem de tecidos pode influenciar nas cargas desse elemento químico que chegam até as estações de tratamento de esgotos, e que a avaliação da situação atualmente praticada no país pode auxiliar na definição dos próximos passos a serem adotados na questão da gestão do aporte de fósforo nas águas.

Busca, assim, oferecer um panorama atualizado sobre a questão da presença de fósforo nos esgotos e a contribuição dos detergentes, oferecendo subsídios para que possam ser identificados caminhos e discutidas soluções com vistas ao planejamento de ações voltadas para a melhoria da qualidade de vida das atuais e das futuras gerações.

2. JUSTIFICATIVA

As origens do fósforo nos esgotos e seus efeitos ambientais vêm sendo amplamente debatidos ao longo das últimas décadas. Além dos impactos negativos sobre a qualidade das águas, muito se discute sobre a relação entre a aceleração no ritmo de utilização do fósforo em produtos industrializados, escassez das fontes naturais do nutriente e sua preocupante evolução, uma vez que lançado nas águas, a tendência do fósforo é acumular-se nos sedimentos, o que dificulta seu retorno ao ciclo.

Uma das medidas de controle discutida é a redução das cargas de fósforo provenientes do uso doméstico de produtos industrializados à base de fósforo, em especial de detergentes destinados à lavagem de roupas e tecidos.

Outra medida largamente discutida é a possibilidade de implantação de sistemas avançados para tratamento de esgotos, os denominados sistemas terciários, que apresentam elevada eficiência na remoção dos nutrientes presentes nos esgotos sanitários. Ainda que tais sistemas possuam elevado custo de implantação, operação e manutenção, muitos pesquisadores defendem que sua implantação seria suficiente para reduzir o aporte de fósforo nas águas e controlar a eutrofização, tornando desnecessárias demais medidas de gestão e controle. Cumpre ressaltar que nos processos otimizados para remoção biológica de fósforo, tem-se recorrido à precipitação na forma de estruvita para promover a recuperação de nitrogênio e fósforo das águas retiradas do lodo durante o tratamento, contribuindo assim, para o aumento das taxas de retorno do fósforo ao seu ciclo natural.

No entanto, deve-se observar que a execução dessas obras, por si só, poderá não atingir os resultados esperados, uma vez que a eutrofização é resultante da atuação de um conjunto de fontes pontuais e difusas de nutrientes, em especial de fósforo, as quais necessitam ser mensuradas e avaliadas de acordo com as características de cada bacia hidrográfica. De maneira paralela, a linearidade na realização desses investimentos pode acarretar um importante impacto social, com aumento da demanda por recursos e redução dos investimentos destinados à ampliação dos índices de atendimento com serviços de saneamento, podendo ocasionar sérios prejuízos à saúde pública.

A questão do nível de investimentos necessários para adequação dos sistemas de esgotos visando a remoção dos nutrientes, foi um assunto discutido durante a elaboração da Resolução CONAMA nº 397, de abril de 2008, quando se ponderou sobre a efetividade dessa medida sob ponto de vista ambiental, visto que seriam gerados efluentes com qualidade muitas vezes superior à estabelecida nos dispositivos legais.

Devem ser somados a esses, os efeitos ambientais de longo prazo, pois em geral, esse tipo de sistema de tratamento de esgotos não leva em conta a possibilidade de reciclagem de elementos, uma vez que o resíduo proveniente do processo, na maioria dos casos, é encaminhado para disposição final em aterros sanitários, lembrando que em alguns países, também os incineradores são apontados como alternativa para disposição final desses resíduos. No caso do fósforo, que é um recurso escasso, tal situação pode acarretar efeitos negativos e ocasionar impactos à sustentabilidade ambiental a médio e longo prazos.

Sendo assim, a avaliação da atual situação relativa à presença de fósforo nos esgotos e o dimensionamento da contribuição dos detergentes para configuração desse cenário pode auxiliar na verificação da efetividade das medidas já implementadas, bem como, na identificação dos próximos passos a serem trilhados na questão do manejo da eutrofização e do controle do aporte de fósforo nas águas.

Os lançamentos de esgotos sanitários coletados e tratados, devido ao seu caráter pontual, tendem a ser mais facilmente identificados e dimensionados, comparativamente às fontes difusas, e portanto, costumam ser priorizados nos processos de controle da qualidade das águas. Não obstante, o trabalho de verificação das fontes é fundamental para o delineamento de medidas regulatórias adequadas à realidade econômica, social e ambiental de cada localidade, de forma que os custos sejam dimensionados e distribuídos de acordo com os diferentes atores.

Numa visão mais ampla, a análise de diferentes cenários relativos ao controle das fontes de fósforo nos esgotos pode contribuir para o planejamento de políticas públicas voltadas para a gestão de recursos hídricos, de forma alinhada com a necessidade de ampliação e universalização dos níveis de atendimento com abastecimento de água e coleta de esgotos.

Desta forma, torna-se possível sugerir etapas para a execução das melhorias nos sistemas de saneamento básico, possibilitando a postergação de investimentos e

buscando a melhor utilização dos recursos financeiros existentes, de forma a atender às demandas específicas de cada região.

Obviamente, estas são questões de longo prazo que requerem o aprofundamento do conhecimento a respeito das diferentes características regionais e de suas demandas, e que envolvem um processo de mudança cultural e de educação ambiental. No entanto, necessita-se evoluir nesse tema de forma embasada em critérios coerentes com a realidade do país, condizentes com o panorama da saúde pública e suas demandas, e alinhados com a questão ambiental.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar a presença de fósforo nos esgotos sanitários, avaliando a contribuição dos detergentes em pó destinados à limpeza de tecidos.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a contribuição dos detergentes em relação ao total de fósforo presente nos esgotos sanitários, através de análises individuais dos esgotos e dos produtos;
- Analisar diferentes marcas de detergentes destinados à limpeza de tecidos comercializados no território nacional, para verificar as concentrações de fósforo e o atendimento à legislação vigente;
- Avaliar a necessidade de aperfeiçoamento da atual legislação com relação aos limites legais para a presença de fósforo nos detergentes.

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Fósforo no Meio Ambiente e suas Implicações à Saúde Pública e à Qualidade das Águas

A questão da disponibilidade das reservas de fósforo no meio ambiente é um assunto que tem preocupado diversos estudiosos. O fósforo é um elemento de importância estratégica para a economia, tratando-se de uma matéria-prima imprescindível para processos produtivos variados, como preparação e acabamento de metais, medicamentos e alimentos, além de detergentes e fertilizantes (SOLT, 1975; CATHCART, 1980; TAYLOR e KILMER, 1980; LOPES et al. 2004; MALAVOLTA, 2004; CORDELL, 2008; CORDEL et al., 2011).

A preocupação com relação à escassez das fontes de fósforo é devida também, à sua importância biológica. Nutriente fundamental para os processos metabólicos de todos os organismos vivos, nos seres humanos a deficiência de fósforo pode causar problemas de crescimento e baixo desenvolvimento de ossos e músculos. Para as plantas, condições limitantes de fósforo acarretam baixo desenvolvimento das raízes e reduzido nível de brotação, resultando em deficiência no aproveitamento da água e nutrientes (ESTEVES, 1988; MACRAE et al., 1993; BRAGA et al., 2002; STAUFER e SULEWSKI, 2004).

Conforme explorado em QUEVEDO (2009), existem divergências quanto às estimativas para longevidade das reservas de fósforo no meio ambiente, em função do ritmo de exploração das fontes. No entanto, estima-se que as reservas naturais, que são finitas e não renováveis, estejam extintas num período de 80 a 100 anos.

Estudos mais recentes a respeito desse assunto, apresentados por METCALF & EDDY (2014), acrescentam que a longevidade das fontes naturais de fósforo no meio ambiente pode ser projetada atualmente para 300 a 400 anos, mediante alguns fatores decorrentes do incremento nas tecnologias de exploração, como perspectiva de descoberta de novas reservas e evolução nos procedimentos para mineração de jazidas de menor qualidade,

os quais deverão resultar no aumento dos preços da matéria-prima e, conseqüentemente, na diminuição do ritmo de exploração.

Além da escassez das fontes naturais, a intensa utilização do fósforo implica também na deterioração da qualidade das águas. O fósforo está entre os 21 nutrientes que são considerados necessários para o crescimento de algas, no entanto, são inúmeros os estudos que o apontam como sendo o principal nutriente limitante da ocorrência de eutrofização (IJC, 1969; MUMMA et al., 1979; USEPA, 1979; BRANCO e ROCHA, 1987; CHORUS e BARTRAN, 1999; DERÍSIO, 2000; BRAGA et al. 2002).

No caso do nitrogênio, também considerado importante para a produtividade biológica do ecossistema aquático, destaca-se que seu controle em ambientes eutrofizados pode ser comprometido pela multiplicidade de fontes, já que algumas espécies de algas e cianobactérias podem utilizá-lo na forma gasosa. Tal situação pode tornar a fonte de nitrogênio nas águas praticamente inesgotável, fazendo com que deixe de ser limitante (BRAGA et al., 2002; PIVELI e KATO, 2005).

BRANCO e ROCHA (1987) destacam que o fósforo é exigido pelas algas em quantidades de 20 a 30 vezes menores que o nitrogênio; quando os níveis de nitrogênio nas águas estão no limite mínimo necessário às florações de algas, o fósforo já existe em excesso, necessitando-se assim, de maior eficiência no seu controle.

A eutrofização corresponde ao aumento da produtividade biológica de um corpo hídrico devido à introdução de nutrientes, podendo ocasionar a proliferação de algas e de outras plantas aquáticas superiores, as macrófitas. Os impactos causados pela eutrofização à qualidade da água são bastante significativos, inclusive com inviabilização de alguns de seus usos. TUNDISI (2003) aponta como principais resultados da eutrofização a redução dos níveis de oxigênio, o crescimento não controlado das algas e a elevação da concentração de matéria orgânica, podendo ser observados efeitos econômicos e sociais, com deterioração de lagos, dificuldades no transporte, perda do valor comercial de peixes, aumento nos custos do tratamento da água e redução dos valores das propriedades próximas a lagos e represas.

Considera-se o aumento da probabilidade de ocorrência de florações de algas uma das conseqüências mais importantes da eutrofização, devido ao potencial efeito deletério à saúde humana. Episódios de eutrofização são relatados pela Organização Mundial de Saúde (OMS), em diversas localidades do mundo, onde a presença de organismos

tóxicos ocasionaram prejuízos à saúde humana, devido ao comprometimento da qualidade da água utilizada para abastecimento ou à inalação em atividades de contato direto, como a natação. Foi a presença dessas toxinas, por exemplo, que provocou a morte de 40 pacientes de uma clínica de hemodiálise de Caruaru, no estado brasileiro de Pernambuco, no ano de 1996. Nos Estados Unidos, surtos de uma espécie de alga microscópica ocorridos no início da década de 1990 na costa leste foram relacionados à eutrofização, com registros de danos neurológicos nas pessoas expostas ao material altamente tóxico e volátil produzido (OSÓRIO e OLIVEIRA, 2001; SHARPLEY et al., 2003; LAMPARELLI, 2004).

Diversos casos de eutrofização são relatados em diferentes localidades, em todos os continentes, alguns dos quais podem ser visualizados na Figura 1.

Figura 1: Imagens de eutrofização em diversas localidades.

A seguir, as Figuras 2 e 3 apresentam imagens da proliferação de macrófitas na Represa de Barra Bonita, situada no Rio Tietê, nas proximidades do município de Anhembi, em São Paulo, e no Rio Piracicaba, apenas alguns quilômetros do ponto em que o mesmo deságua na Represa de Barra Bonita, resultantes do excesso de nutrientes.

Figura 2: Macrófitas no Rio Tietê, represa de Barra Bonita, São Paulo. Agosto/2013.

Figura 3: Macrófitas no Rio Piracicaba, São Paulo, nas proximidades do município de Santa Maria da Serra. Abril/2014.

LAMPARELLI (2004) aponta que no período entre 1996 e 2001, a eutrofização foi responsável por uma parcela considerável da toxicidade aguda nos reservatórios do

estado de São Paulo, em decorrência da presença de algas ou, de forma indireta, devido aos procedimentos utilizados para o controle do seu crescimento.

RANDALL et al. (2010) acrescentam que a aplicação de produtos químicos no tratamento das águas de mananciais eutrofizados, com vistas à sua utilização para o abastecimento público, pode oferecer sérios riscos à saúde humana devido à capacidade de aumento na concentração de nitrato. Além do potencial carcinogênico, nas crianças pode ser desencadeada a “Síndrome do Bebê Azul”, enfermidade decorrente da deficiência de transporte de oxigênio pelas células. Nessa situação, há uma rápida deterioração nas condições de saúde em geral, dificuldades de respiração e uma característica coloração azulada da pele.

Para a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), quando se trata de qualidade das águas, “o impacto mais disseminado no estado ainda é a eutrofização em parte provocada pelo lançamento de esgotos domésticos e/ou pelo uso agrícola do solo”. Observa-se a carência de oxigênio dissolvido nos corpos d’água como impacto associado (CETESB, 2012, p. 259).

Ainda de acordo com LAMPARELLI (2004), a CETESB registrou no estado de São Paulo, um incremento no número de atendimentos relacionados a florações de algas, reclamações de gosto e odor na água distribuída, problemas em clínicas de hemodiálise associados a toxinas de cianobactérias, mortandades de peixes e proliferação excessiva de plantas aquáticas. Muitos desses casos afetaram diretamente a operação das usinas hidrelétricas, a navegação e a qualidade da água distribuída à população pelo sistema de abastecimento, ocasionando, além de problemas ambientais e de saúde pública, aumento dos custos com tratamento de água e inviabilização do uso de diversos ambientes aquáticos para a recreação, com contato primário ou secundário.

Diante de questionamentos acerca da relação entre os impactos decorrentes do aumento nos níveis de utilização do fósforo e a aceleração da eutrofização, tendem a se tornar crescentes as medidas voltadas para aumentar as taxas de retorno do fósforo ao seu ciclo natural e para diminuir os seus efeitos indesejados no meio ambiente. Segundo LLOYD (2007), a estruturação de políticas para auxiliar a ciclagem de nutrientes, especialmente através da atividade agrícola, é de grande importância para o aproveitamento dos recursos naturais disponíveis.

Nesse sentido, METCALF & EDDY (2014, p. 1675) defendem que os esgotos

sanitários e o lodo gerado no processo de tratamento sejam cada vez mais entendidos “como um ativo que pode ser recuperado e reutilizado como fertilizante do que como um nutriente que necessita ser tratado e disposto”.

4.1.1 Presença de Fósforo nos Corpos d'Água

O fósforo está presente nas águas majoritariamente como fosfato, nas formas de ortofosfato, polifosfato e fosfato orgânico, podendo ocorrer em solução, nas partículas ou no interior dos organismos aquáticos. Em águas naturais, os polifosfatos sofrem hidrólise e convertem-se rapidamente em ortofosfatos (SAWYER e McCARTHY, 2003; APHA, 2005; PIVELI e KATO, 2005).

A gestão do aporte de fósforo nas águas tem relação com o controle das emissões antrópicas, ou antropogênicas, que são decorrentes da ação do homem. Para tanto, deve-se levar em conta a forma de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica pelas atividades urbana e agrícola: em locais onde a agricultura é intensiva, essa pode ser uma importante fonte de fósforo nas águas, sendo necessárias medidas para manejo da terra e gerenciamento do uso de fertilizantes; onde a agricultura é menos intensiva, necessitam-se medidas para redução e controle das fontes urbanas, sejam elas pontuais, como efluentes não domésticos (ENDs) e esgotos sanitários, ou difusas (GLENNIE et al., 2002; QUEVEDO, 2009).

A contribuição da atividade agrícola para a eutrofização é considerada de difícil quantificação, devido ao seu caráter difuso, e à existência de alguns fatores que tornam as perdas de nutrientes suscetíveis às variações, como condições hidrológicas e climáticas, tipo de solo, espécie cultivada, técnica agrícola utilizada, método de irrigação adotado e uso de fertilizantes.

No caso das fontes urbanas, e em especial dos esgotos sanitários, grande parte do fósforo encontra-se na forma solúvel, ou seja, possui maior disponibilidade para rápida absorção pelos seres vivos. Desta forma, há um maior potencial de

contribuição para a aceleração da eutrofização, de forma que os esforços tendem a ser direcionados para controle dessas fontes (USEPA, 2010).

Para ilustração do ciclo do fósforo e detalhamento das suas principais fontes nas águas, FRIEDMAN (2004) apresenta o resultado do trabalho desenvolvido pela *Economic Comission for Europe* (ECE) através de pesquisa intitulada *Substitutes for Tripolyphosphate in Detergent*, o qual demonstra que a eutrofização antrópica, pode ser considerada como decorrente do efeito combinado de algumas fontes, sendo que as três principais são: agricultura, esgotos sanitários e industriais, e detergentes fosfatados. Tal ilustração pode ser visualizada na Figura 4.

Figura 4: Ciclo do fósforo e fontes nas águas.

Fonte: Adaptado de FRIEDMAN, 2004.

Nesse contexto, e diante dos efeitos indesejados da eutrofização, diversos países passaram a atuar de forma mais intensiva no controle das fontes urbanas, especialmente através do gerenciamento de sua presença nos esgotos sanitários, pelo monitoramento dos lançamentos domésticos e industriais, pela melhoria gradativa na eficiência dos sistemas de tratamento, pela redução da quantidade de fósforo presente nos detergentes em pó e pela fiscalização dos lançamentos industriais. Posteriormente, passou-se a

planejar alternativas para controle do seu aporte difuso em áreas agrícolas, através da adoção de processos de produção mais controlados e sustentáveis.

São inúmeros os estudos dedicados ao dimensionamento das fontes de fósforo nas águas, sendo que os resultados costumam ser bastante variáveis, refletindo os contrastes existentes na forma de uso do solo, na característica da atividade econômica e na concentração populacional de cada região (WIECHERS e HEYNIKE, 1986; LITKE, 1999; MAUCH et al., 2000; NIXON et al. 2000; STAFFEL-SCHIERHOFF, 2001; JÖNSSON et al., 2005; SCHINDLER, 2006; WITE e HAMMOND, 2006; WIND et al. 2007; NOWOSIELSKI, 2009; USEPA, 2010; IJC, 2014).

WITE e HAMMOND (2006), por exemplo, apresentam os trabalhos desenvolvidos em 1993 e em 2005 para quantificar as contribuições para o aporte de fósforo nas águas da União Europeia, e explicam que grandes variações são encontradas ao longo do tempo, nos diferentes países, tendo em vista a evolução observada nos mecanismos para controle das fontes urbanas, especialmente dos lançamentos de esgotos sanitários e efluentes industriais.

O controle do aporte de fósforo nos esgotos sanitários pode ocorrer através da redução da carga gerada pelas atividades humanas, atuando-se preventivamente, ou através da sua remoção por meio de processos específicos nas estações de tratamento de esgotos (ETE), que são consideradas medidas corretivas.

Para XAVIER et al. (2005), as medidas preventivas são mais desejadas na questão do controle do aporte de fósforo nas águas devido à maior eficácia e ao menor custo, devendo ser acompanhadas do controle das fontes no âmbito da bacia de drenagem, considerando-se que o maior objetivo de qualquer programa de controle e prevenção da eutrofização é a redução da entrada de nutrientes. Para tanto, algumas ações podem ser recomendadas, como:

- Monitoramento e controle dos lançamentos de efluentes industriais;
- Regulamentação da composição de produtos industrializados à base de fósforo, como é o caso dos detergentes em pó destinados à lavagem de roupas;
- Zoneamento do uso do solo;

- Restrição ao uso de fertilizantes, disciplinando a atividade agrícola;
- Adoção de práticas agrícolas conservacionistas visando o controle da erosão;
- Controle das concentrações de fósforo na dieta dos animais;
- Realização de testes de solo para planejamento do uso de fertilizante fosfatado;
- Manutenção ou recomposição da vegetação ciliar;
- Retenção das águas do escoamento urbano, controlando a poluição difusa;
- Educação ambiental, como forma de reduzir a geração de resíduos e disciplinar o uso de produtos industrializados, como fertilizantes e detergentes em pó.

Deve-se considerar ainda, conforme observado em QUEVEDO (2009), a importância da adequação da legislação frente às mudanças de comportamento impostas pela evolução nos estudos relacionados com a disponibilidade do fósforo e a eutrofização. A aplicabilidade da legislação deve estar aliada à efetividade dos trabalhos de fiscalização e monitoramento de seu cumprimento.

4.1.2 Experiências na Gestão do Aporte de Fósforo nas Águas

O cenário de deterioração dos recursos hídricos e seus consequentes reflexos negativos ao meio ambiente e à saúde pública tornou-se motivo de preocupação em diversas localidades do mundo, especialmente a partir de década de 1960. Desde então, a eutrofização passou a ser reconhecida como um problema de poluição, e um desafio na busca pela melhoria da qualidade das águas em sistemas hídricos e reservatórios da Europa, América do Norte, Japão e outras localidades.

Diversos países obtiveram sucesso na redução e controle da eutrofização através do controle das fontes pontuais e difusas de fósforo, sendo exemplos notáveis os casos do Lago Geneva, na Suíça, do Lago Erie, localizado entre os Estados Unidos e o Canadá,

na região dos Grandes Lagos, e do Lago Endine, na Itália (IJC, 1969; SILVA, 1972; IJC, 1980; CHORUS e BARTRAN, 1999; FRIEDMAN, 2004; IJC, 2014).

De acordo com GLENNIE et al (2002), os resultados obtidos por estes países indicaram a necessidade de redução de 70% a 90% do fósforo nas águas para que ocorra uma diminuição da eutrofização e uma melhoria no nível trófico.

Pelas experiências vivenciadas nessas localidades, algumas das quais serão relatadas a seguir, é possível verificar que o controle da eutrofização envolve uma série de medidas combinadas para controle das fontes de fósforo nas águas, sejam pontuais ou difusas, levando-se em conta a forma de uso e ocupação da bacia hidrográfica.

4.1.2.1 Canadá e Estados Unidos

Em 1969, após 6 anos de estudos a respeito da poluição das águas na região dos Grandes Lagos, a organização binacional *International Joint Commission* (IJC), estabelecida entre Estados Unidos e Canadá, publicou um relatório recomendando uma série de ações para melhoria da qualidade das águas, estando, dentre elas, a remoção do fósforo presente nos esgotos gerados na bacia hidrográfica dos Grandes Lagos, a sua substituição gradual do fósforo nos detergentes por outro aditivo, e o controle do uso de fertilizantes (IJC, 1969; IJC, 1980; SCHMIDTKE, 1980).

Com base nesse trabalho, Canadá e Estados Unidos assinaram em 1972 o *Great Lakes Water Quality Agreement* (GLWQA), visando a adoção de medidas conjuntas para redução do aporte de fósforo, controle da eutrofização e melhoria da qualidade das águas na região.

No Canadá, além dessa estratégia conjunta com o governo americano, a questão da eutrofização passou a ser reconhecida, também, como um assunto de responsabilidade partilhada entre o Governo Federal e as Províncias. Em agosto de 1971, o Governo e a Província de Ontário assinaram um acordo para acelerar a implementação das medidas de controle sugeridas pelo IJC nos Grandes Lagos.

Foi planejado um investimento inicial, à época, da ordem de U\$ 250 milhões na melhoria dos sistemas de coleta e tratamento dos esgotos, dos quais, cerca de U\$ 40 milhões seriam destinados à instalação de mecanismos para remoção de fósforo; uma verba adicional de U\$ 6 milhões foi recolhida ao longo de 5 anos, visando a realização de estudos e pesquisas sobre o tema, abrangendo a avaliação das tecnologias mais adequadas para remoção de fósforo. Além da gestão dos esgotos, foram implementadas as seguintes medidas de controle (SCHMIDTKE, 1980):

- Estabelecimento do limite de 1 mg/L para a concentração de fósforo nos efluentes industriais;
- Proposição de modelo para política de gerenciamento da drenagem urbana, cabendo aos municípios a formulação e implementação de uma estratégia de controle da poluição de acordo com as condições de uso do solo, sistema de drenagem urbana e características da bacia hidrográfica;
- Direcionamento da utilização do lodo proveniente do tratamento de esgoto;
- Recomendações quanto às medidas para controle da poluição difusa, envolvendo erosão do solo, manejo animal e uso de fertilizantes.

Com relação ao uso de detergentes, os estudos desenvolvidos pelo IJC subsidiaram as determinações contidas no programa federal denominado *Canadá Water Act*, instituído em 1970, que estabeleceu uma redução gradual da utilização de fósforo nesses produtos. Numa primeira etapa, com vigência a partir de agosto de 1970, foi implementado um limite de 20% de P_2O_5 em peso; para a segunda etapa, vigente a partir de dezembro de 1972, o limite passou a ser de 5%, e em 1973, de 2,2% (IJC, 1980; IJC, 2014).

Nos Estados Unidos, em meados da década de 1960, cerca de 10 mil lagos foram considerados afetados pela eutrofização, sendo que o crescimento excessivo de cianobactérias atingiu toda a bacia oeste da região dos Grandes Lagos, causando problemas para o abastecimento público e prejuízos à realização de atividades recreativas nas praias, além de impactos à comunidade aquática. O aporte de fósforo total no lago Erie, naquele período, foi estimado em 25 mil ton./ano (USEPA, 2010).

A título de ilustração, a Figura 5, a seguir, permite visualizar a imagem de um *bloom* de algas no Lago Erie, em 1972.

Figura 5: *Bloom* de algas no Lago Erie, Estados Unidos/Canadá, em 1972.

Fonte: HARTIG et al, 2007.

O Lago Erie, segundo IJC (2014), é o menor e o menos profundo dos 5 Grandes Lagos situados na fronteira entre os Estados Unidos e o Canadá; é bastante afetado pela atividade humana, visto que cerca de 11,6 milhões de pessoas vivem em sua bacia hidrográfica, que abrange grandes cidades e extensas áreas cultivadas, com baixa cobertura vegetal.

Com base nos compromissos firmados em conjunto com o Canadá, em 1972, por meio do GLWQA, diversas iniciativas foram adotadas também pelos Estados Unidos para controle da eutrofização. Através do *Clean Water Act*, programa federal voltado para melhoria da qualidade das águas, e da consequente implementação do *National Pollutant Discharge Elimination System* (NPDES), que regulamentou os lançamentos pontuais de poluentes nos corpos hídricos, foi iniciado um monitoramento do aporte de fósforo aos Grandes Lagos, visando relativizar a importância das fontes pontuais e

difusas. Entre 1972 e 1991, foram investidos mais de U\$ 200 bilhões na construção de estações de tratamento de esgotos e U\$ 154 milhões na operação e manutenção dos sistemas implantados. Somando-se às iniciativas para controle das fontes industriais, o investimento chega a U\$ 500 bilhões (LITKE, 1999; GLENNIE et al, 2002).

O número de estações de tratamento não aumentou significativamente entre 1962 e 1996, porém, o tipo de tratamento mudou consideravelmente. Foram praticamente eliminadas as estações de tratamento denominadas primárias, e o número de estações terciárias, capazes de remover fósforo, foi ampliado em mais de 25%. A evolução no panorama do tratamento de esgotos dos Estados Unidos, de acordo com o nível de tratamento, pode ser visualizada na Figura 6. Cumpre ressaltar que os dados entre 1974 e 1983 não foram disponibilizados.

Figura 6: Evolução no tratamento de esgotos nos Estados Unidos, de acordo com o nível de tratamento – De 1962 a 1996.

Fonte: LITKE, 1999.

Ainda que a regulamentação do uso de detergentes fosfatados tenha sido iniciada pelo governo federal do Canadá em 1970, nos Estados Unidos, essa iniciativa partiu de acordos voluntários da indústria, também em 1970, reduzindo a quantidade de fósforo nos detergentes para 8,7%, em peso.

Em 1971, 5 cidades do estado americano de Illinois foram as primeiras a limitar o uso de fósforo nos detergentes comercializados; o número de Estados a tomar iniciativa com relação a esse assunto foi crescente ao longo dos anos, sendo que até 1999, um total de 27 Estados americanos havia regulamentado o uso de fósforo nos detergentes, estabelecendo limites de 0,5% a 8,7% do peso do produto. Como consequência, em cerca de 30 anos, o volume de fósforo utilizado pela indústria de detergentes havia se tornado praticamente nulo (LITKE, 1999; IJC, 2014).

Na Figura 7, a seguir, pode-se visualizar o consumo de fósforo nos Estados Unidos, entre 1940 e 1998, e a evolução no número de Estados que baniram sua utilização.

Figura 7: Evolução no consumo de fósforo para uso em detergentes, em milhões de toneladas, e número de estados americanos que baniram sua utilização, entre 1940 e 1998.

Fonte: Adaptado de LITKE, 1999.

Os programas iniciais de controle da eutrofização desenvolvidos no Canadá e nos Estados Unidos, foram voltados principalmente para execução de melhorias nos

sistemas de tratamento de esgotos e controle da quantidade de fósforo proveniente do uso dos detergentes. Com essas medidas, o aporte de fósforo no Lago Erie com origem nas fontes pontuais urbanas, por exemplo, foi alterado de 14 mil toneladas em 1972 para 2 mil toneladas em 1990, uma redução de 86% (LITKE, 1999; USEPA, 2010).

Com relação à ação difusa, o *Nonpoint Source Management Program*, programa federal americano instituído em 1987, estabelece uma subvenção governamental para medidas de educação, assistência técnica, treinamento e transferência de tecnologia em projetos de controle da poluição difusa (GILINSKI et al., 2009).

Como consequência, diversos Estados americanos passaram a estabelecer limites para a concentração de fósforo em solos destinados ao uso agrícola, bem como, a oferecer recomendações para o seu gerenciamento e manejo adequados, de forma a evitar consequências ambientais. Em Arkansas, por exemplo, a concentração de fósforo no solo foi limitada a 50 mg/kg, sendo que acima de 150 mg/kg devem ser providenciadas ações de controle, como execução de contenção para movimentos de terra junto aos corpos d'água e cobertura de pastagens com leguminosas para auxiliar na remoção do nutriente. Em Ohio, estado localizado junto ao Lago Erie, recomenda-se que não sejam utilizados fertilizantes em solos com concentração de fósforo acima de 40 mg/kg. Em Michigan, situado entre os Lagos Michigan e Huron, a adição de fosfato deve ocorrer somente em solos com até 75 mg/kg, de forma controlada (SHARPLEY et al., 2003).

No ano de 2000, análises de amostras de solo de diversas regiões agrícolas dos Estados Unidos demonstram que cerca de 53% das áreas agricultáveis do país possuíam níveis altos de fósforo, requerendo baixa ou ausência de aplicação de fertilizante fosfatado. Destas áreas, a maior parte encontra-se próxima à região dos Grandes Lagos, bem como nas áreas costeiras do país, em especial na costa leste, conforme ilustra a Figura 8.

É também nessas áreas, que podem ser identificadas as medidas pioneiras para regulamentação da presença de fósforo nos detergentes, no período entre 1970 e 1989, bem como, podem ser verificados os maiores esforços no sentido de estabelecer limites para a presença de fósforo nos esgotos provenientes das estações de tratamento existentes. Tais situações podem ser visualizadas nas Figuras 9 e 10.

Figura 8: Porcentagem das amostras de solo em áreas agricultáveis com elevada concentração de fósforo, nos Estados Unidos - ano 2000.

Fonte: Adaptado de SHARPLEY et al., 2003.

Figura 9: Estados americanos que possuem regulamentação para a presença de fósforo nos detergentes.

Fonte: LITKE, 1999.

Figura 10: Estados americanos que possuem limites para lançamento de fósforo e número de estações de tratamento para remoção de fósforo.

Fonte: LITKE, 1999.

Como se pode observar, tanto no caso do controle do uso de fertilizantes, quanto na regulamentação do uso de fósforo nos detergentes e no estabelecimento de limites de lançamento de fósforo pelas estações de tratamento de esgotos, a maior parte dos estados abrangidos pelas principais ações desenvolvidas situam-se próximos de locais considerados suscetíveis à eutrofização, como por exemplo, a Região dos Grandes Lagos e os mananciais da Costa Leste. Vale destacar que a gestão do aporte difuso de fósforo tem sido encorajada pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) através do desenvolvimento das denominadas *Best Management Practices* (BMPs), previstas no *Clean Water Act*. Entretanto, as BMPs possuem caráter voluntário, cabendo aos estados o desenvolvimento de esforços no sentido de controlar as emissões provenientes dessa fonte de fósforo no meio ambiente (LIKE, 1999).

4.1.2.2 Europa e União Europeia

Na Europa, as preocupações com relação à qualidade das águas tiveram início na década de 1950, quando diversos rios apresentavam sinais de poluição das águas e eutrofização. Um dos países pioneiros nas tratativas desse assunto foi a Suíça, que em 1951 abordou os impactos da poluição pontual e difusa na *Federal Law on Agriculture*, e em 1955 instituiu a *First Federal Law on the Protection of Water Against Pollution* (LPEP). Tal legislação estimulava a implantação de sistemas para tratamento dos esgotos sanitários visando a redução do aporte de matéria orgânica, e já apontava a necessidade de controle dos processos de eutrofização (MAUCH et al., 2000; GLENNIE et al., 2002).

Entre 1961 e 1986, foram adotadas diversas medidas para promover o controle das fontes pontuais de fósforo, abrangendo a restrição ao uso de detergentes, a ampliação nos níveis de tratamento de esgotos nas regiões dos lagos e o controle da atividade industrial. Em 1962 foi criada a *Comission on Detergents*, para discutir os impactos dessa fonte de fósforo, que culminou com o seu banimento, em 1985. Com a *Third Federal Law on the Protection of Water Against Pollution*, de 1991, foram aprimoradas as ações destinadas ao controle da atividade agrícola (MAUCH et al, 2000).

Diante do conjunto de ações implementadas, a partir de 1993 passou a ser notada uma melhoria significativa na qualidade das águas de lagos como o Geneva e o Murten. No período entre 1985 e 2000, conforme informações da Convenção OSPAR, destinada à proteção do Meio Marinho do Atlântico Nordeste, a Suíça apresentou uma redução de 43% nas perdas de fósforo por fontes difusas, de 61% pelos sistemas de esgotos sanitários e de 87% pela atividade industrial (GLENNIE et al, 2002; EEA, 2005).

Na segunda metade do século XX, outros países da Europa seguiram o exemplo da Suíça com relação ao controle das fontes de fósforo nas águas, em períodos distintos. A título de visualização, a Tabela 1 apresenta o resumo das ações desenvolvidas por esses países para gestão do aporte de fósforo nas águas e controle da eutrofização.

Tabela 1: Ações para gestão e controle do aporte de fósforo nas águas na Europa, por fonte.

País	Fontes de Fósforo nas Águas			
	Esgotos sanitários	Detergentes	Atividade Industrial	Atividade Agrícola
França	As diretrizes da União Europeia para remoção de fósforo dos esgotos, em especial o conteúdo da Diretiva nº 271/1991, foram introduzidas nas leis francesas em 1994, após identificação de áreas sensíveis à eutrofização. Em 2001, o sistema de esgotos apresentava índices de 80% de coleta e 77% de tratamento dos esgotos. O número de sistemas para remoção de nutrientes foi ampliado de 22 para 200 entre 1985 e 1995. Em 2001, cerca de 90% das grandes cidades não dispunham de tratamento terciário, inclusive Paris.	Em 1990 foi implementado o National Environment Plan, destinado a reduzir o aporte de fósforo nas águas. Foi firmado acordo entre o Governo e a <i>Association des Industries des Savons et des Détergents (AISD)</i> , que limitou o uso de fosfato nos detergentes em 20% a partir de jul/91. Os fabricantes passaram a indicar essa concentração nos rótulos dos produtos. O teor foi reduzido para 10% em 1998.	Em 1994, foram estabelecidos critérios de qualidade para o lançamento de efluentes industriais no sistema de esgotos sanitários.	Elevado aporte de fósforo por fontes difusas foi identificado em bacias hidrográficas com atividade agrícola mais desenvolvida, como a dos rios Redon e Haute Vilaine.
Itália	A eutrofização passou a afetar a pesca e o turismo no final da década de 1970. As melhorias nos sistemas de tratamento de esgotos, com implantação de sistemas terciários, foi iniciada na década de 1980, de acordo com as regiões afetadas pela eutrofização, caso dos Lagos Iseo e Endine. Entre 1985 e 2001, a região da Lombardia teve o índice de atendimento com tratamento de esgotos ampliado de 78% para 99%. Até 2001, algumas das principais cidades da Itália, como Padova, Veneza e Milão não dispunham de tratamento terciário.	Em 1981 foi decretado o limite de 5% para a presença de fósforo nos detergentes para limpeza de roupas, com obrigação de incluir a informação nos rótulos dos produtos. Em 1989 esse limite foi alterado para 1%.	As diretrizes para controle da atividade industrial foram similares às adotadas para os sistemas de esgotos sanitários, também de acordo com as regiões afetadas pela eutrofização.	Algumas medidas para redução das emissões de fósforo pela atividade agrícola foram adotadas em áreas específicas, de acordo com as regiões afetadas pela eutrofização. Na bacia do rio Po, situado no norte do país, foi aprovada em 1996, uma diretiva para conter a emissão de poluentes, inclusive de fósforo, por parte da pecuária.
Holanda	Situada no delta dos três maiores rios da Europa - Rhine, Meuse e Scheldt - em 1975, foram estabelecidas diretrizes para a eficiência dos sistemas de tratamento de esgotos e remoção de fósforo. A partir de 1987, a formalização de acordos internacionais, como o <i>Rhine Action Plan</i> , bem como a diretiva contida na Diretiva nº 271/1991, da União Europeia, embasaram a melhoria da eficiência na remoção de fósforo pelas estações de tratamento da Holanda. Entre 1985 e 1995, houve uma redução de 67% na carga de fósforo lançada nas águas pelos esgotos, com diminuição de 10,8 para 3,5 mil ton/ano. Em 1998, 69% da população estava conectada a sistemas terciários, e em 2002, esse índice passou para mais de 90%.	Em 1987, através de acordos voluntários, foi iniciada a redução da presença de fósforo nos detergentes. Em 1990 foi firmado o acordo denominado <i>Voluntary Plan of Action - Laundry and Cleaning Products for Households</i> , que definiu a redução do uso de fosfato nos detergentes. Em 1992 o uso de fósforo foi incluído no rótulo ambiental utilizado para os produtos de limpeza. Em 2002, todos os detergentes comercializados na Holanda eram considerados livres de fosfato.	As melhorias nos sistemas de esgotos sanitários foram estendidas à atividade industrial. A quantidade de fósforo total lançada nas águas pelas indústrias, na Holanda, foi reduzida de 12,8 mil ton/ano, em 1985, para 3,34 mil ton/ano em 1995, uma redução de aproximadamente 74%.	Até 2002, as ações implementadas para controle do aporte de fósforo proveniente da atividade agrícola foram centralizadas em regiões específicas, como no Lago IJsselmeer. No período entre 1985 e 1995, estimou-se que o aporte de fósforo nas águas a partir dessa fonte foi alterado de 9,5 para 7,8 mil ton/ano, o que corresponde a uma redução de apenas 18%.

Fonte: GLENNIE et al., 2002.

Outro caso que merece ser citado é o da Alemanha, em que as discussões a respeito dos efeitos da presença de fósforo nas águas, e as medidas para controle da eutrofização, foram iniciadas no final da década de 1960. País considerado eminentemente industrial, a Alemanha, mais especificamente a antiga parte ocidental do país, direcionou esforços para melhoria da qualidade das águas e tratamento dos esgotos logo após a II Guerra Mundial, como consequência da intensa urbanização. Após a reunificação do país, ocorrida de 1989 a 1990, os investimentos foram estendidos também à região leste, tendo sido construídas mais de 2 mil novas estações de tratamento em cerca de 10 anos. Hoje, o índice de atendimento pelos sistemas de tratamento de esgotos no país é de quase 90% do esgoto coletado (RUDOLPF e BLOCK, 2001; STAFFEL-SCHIERHOFF, 2001).

Através do *Waste Water Charges Act*, de 1981, o governo alemão passou a receber impostos sobre o lançamento de alguns elementos, inclusive de fósforo, pelas operadoras dos sistemas de esgotos sanitários e pelas indústrias, em decorrência de lançamentos diretos nos corpos d'água, e da carga remanescente presente nos efluentes tratados; em 1998, a taxa recolhida foi de 720 milhões DM, dos quais, 82% teve origem na antiga parte oriental do país. Com relação aos detergentes, em 1975 entrou em vigor a lei *Washing and Cleaning Agents Law*, que, através da *Ordinance on Maximum Permissible Amounts of Phosphate*, obrigou a redução do teor de fosfato nos detergentes para 25%, em peso, em 1981, e para metade disso em 1984; desde a década de 1990, os detergentes fosfatados praticamente deixaram de ser comercializados no país. Em complemento, em 1993 o selo *Blue Eco Angel* para produtos de limpeza ambientalmente adequados, incluiu o critério de ausência de fosfato nos processos de certificação em sistemas de gestão da qualidade (STAFFEL-SCHIERHOF, 2001; GLENNIE et al., 2002).

Quanto à atividade agrícola, em 1980 a Alemanha passou a reduzir o uso de fertilizantes fosfatados, com alteração de 29,9 kg.P/ha em 1985, para 14,4 kg.P/ha em 1995; em 1998, cerca de 66% das emissões de fósforo tinham origem nas atividades ligadas à agricultura. Além da concentração do nutriente nos solos cultiváveis, pesou em favor das reduções adotadas, as vantagens econômicas encontradas e o aumento da preocupação ambiental por parte dos agricultores. Estima-se que as maiores cargas provenientes dessa fonte sejam atualmente decorrentes das perdas de solo em áreas onde as elevadas concentrações são ainda encontradas. (STAFFEL-SCHIERHOF, 2001).

De acordo com estudos de Behrendt et al. (1999), citados por GLENNIE et al. (2002), a carga de fósforo lançada nos rios da Alemanha foi alterada de 93,6 para 37,3 ton/ano, entre 1985 e 1995, uma redução de aproximadamente 60%. Enquanto isso, a redução verificada até aquele período na atividade agrícola, havia sido de somente 17%.

Já para STAFFEL-SCHIERHOF (2001), as emissões de fósforo na Alemanha no período entre 1993 e 1997 foram reduzidas em 60% com relação ao período de 1983 a 1987; o efeito da combinação de melhorias nos sistemas de tratamento de esgotos, banimento do uso de fósforo nos detergentes e controle dos efluentes industriais permitiu a redução de 80% das descargas de fósforo provenientes dessas fontes pontuais. No entanto, as emissões provenientes da atividade agrícola são citadas ainda como um ponto de preocupação, podendo ser encaradas como um problema.

Na Tabela 2 e Figura 11 podem ser verificadas as informações de ambos os autores.

Tabela 2: Quantidade de fósforo lançada nas águas, por fonte – Alemanha – 1985 a 1995.

Fonte	Carga (mil ton/ano)	
	1985	1995
Esgotos sanitários	56,9	11,4
Indústrias	7,1	1,3
Fontes difusas ¹	29,6	24,6
Total	93,6	37,3

¹ Considera-se que 70% das fontes difusas são decorrentes da agricultura
Fonte: GLENNIE et al., 2002.

Figura 11: Quantidade de fósforo lançada nas águas, por fonte – Alemanha – 1985 a 1995 (ton./ano).

Fonte: STAFFEL-SCHIERHOF, 2001.

No âmbito da Comunidade Europeia, a inserção da atividade agrícola e demais impactos difusos no gerenciamento dos recursos hídricos está prevista na Diretiva nº 60/2000, conhecida como Diretiva-Quadro, que une todas as legislações a respeito do assunto e estabelece um quadro jurídico para proteção da água e garantia de sua utilização sustentável. Em consequência, os Estados-Membros passaram a instituir programas de gerenciamento para cada região hidrográfica, exigindo a aplicação das melhores práticas ambientais, inclusive no que se refere à gestão do uso do fósforo (EC, 2000).

A Irlanda do Norte, por exemplo, que possuía 81% do seu território destinado à atividade agrícola à época em que foi implementada a legislação, estabeleceu um limite de 25 mg/kg para a concentração de fósforo nos solos, permitindo a aplicação de fertilizantes quando comprovado através de testes laboratoriais que a disponibilidade do nutriente não é suficiente para plantio (GLENNIE et al., 2002; DARDNI, 2008).

O *Department for Environment, Food and Rural Affairs* (DEFRA), do Reino Unido, publicou um documento para consulta aos mecanismos de controle das fontes difusas de poluição das águas, introduzindo o conceito de criação de zonas de proteção das águas, fornecendo suporte e orientação no desenvolvimento de ações para a redução dos impactos decorrentes do aporte de fósforo pela agricultura (DEFRA, 2008).

Já a questão das regras e metas para implantação de sistemas de tratamento dos esgotos sanitários, assunto regulamentado pela Diretiva nº 271/1991, foi abordado no sétimo relatório de acompanhamento dos resultados obtidos, publicado em 2013, que concluiu que até o ano de 2010 podiam ser notados progressos significativos, apontando, porém, diferenças substanciais no desempenho dos diferentes Estados-Membros, especialmente quando observadas as taxas médias de cumprimento das metas por parte dos países que aderiram à União Europeia a partir de 2004, para os quais, diante do ritmo para execução das melhorias necessárias, a perspectiva de conformidade poderia ser projetada somente para o ano de 2028. Além disso, constatou-se que apenas 11 das 27 capitais dos Estados-Membros da União possuem sistemas de esgotos compatíveis com as normas estipuladas há mais de 20 anos (EUROPA, 2013).

Quanto à presença de fósforo nos detergentes, o regulamento nº 648, de 31/03/2004, do Parlamento Europeu e do Conselho, estabeleceu condições de uso e fabricação dos detergentes no âmbito da Comunidade Europeia, e definiu critérios para a introdução desses produtos no mercado, no que se refere a rotulagem e biodegradabilidade,

determinando a manutenção das regras nacionais existentes com relação ao uso do fósforo. Estabelece, no entanto, a criação de uma Comissão para avaliação do assunto, mediante análise de dados técnicos, para, se o caso, apresentação de proposta para eliminação ou restrição progressiva do uso de detergentes fosfatados no âmbito da Comunidade, e, se necessário, apresentação de proposta legislativa. Em 15/03/2011, tal Comissão publicou seu Parecer Final sugerindo a alteração do Regulamento 648/2004, propondo a restrição ao uso de fosfatos em detergentes de uso doméstico para limpeza de roupas no âmbito da Comunidade Europeia, e apontando essa medida como ferramenta eficiente para redução dos riscos de eutrofização das águas na região. Propõe o estabelecimento de um limite de 0,5%, em peso, como limite global para o teor de fósforo em sua forma elementar, nos detergentes de uso doméstico para limpeza de roupas (EUROPA, 2004; EUROPA, 2007; EUROPA, 2011).

Como pontos principais do documento, a Comissão destaca a contribuição dessa medida para a melhoria da qualidade das águas e para a redução de custos com os sistemas de tratamento de esgotos, da seguinte forma (EUROPA, 2011, p.72):

“A avaliação e a análise do impacto das opções revela que a introdução a nível europeu de uma limitação à utilização de fosfatos e de outros compostos fosforados em detergentes para a roupa de uso doméstico reduzirá a contribuição dos fosfatos provenientes dos detergentes para os riscos de eutrofização das águas da EU e reduzirá o custo da remoção de fósforo para as estações de tratamento de águas residuais. Estas poupanças em termos de custos ultrapassam largamente os custos da reformulação dos detergentes para a roupa de uso doméstico com alternativas aos fosfatos.”

Como resultado, a sessão plenária do Parlamento Europeu realizada de 12 a 15/12/11, aprovou a nova regra para redução do fósforo nos detergentes, com vigência no âmbito dos 25 Estados-Membros. O detergente para a roupa não pode conter mais de 0,5% de fósforo, em peso, desde 30/06/13, e o detergente para máquinas de lavar louça não poderá conter mais de 0,3% de fósforo, em peso, a partir de 01/01/17. Considerando-se os dados de população, o consumo *per capita* de detergentes, a porcentagem da população que dispõe de tratamento terciário para tratamento de esgotos e o grau de preocupação com a eutrofização, a Comissão indica Portugal como um dos países que terá mais vantagens com a atual mudança nos detergentes (EUROPARL, 2011).

4.1.2.3 Outras Localidades e Brasil

Na África do Sul, desde o início da década de 1970 a eutrofização passou a ser apontada como um importante fenômeno de deterioração da qualidade das águas. A constatação de casos de contaminação por cianotoxinas em lagos e reservatórios, e a verificação de *blooms* de algas em diversos corpos hídricos, embasaram o estabelecimento, no ano de 1980, do limite de 1 mg/L para a concentração de ortofosfato nos esgotos sanitários a serem lançados na área de sete bacias hidrográficas classificadas como suscetíveis à eutrofização. Estudos efetuados nessas bacias indicaram que cerca de 35 a 50% do total de fósforo presente nos esgotos tinham origem no uso de detergentes, estimando-se que uma contribuição *per capita* da ordem de 5,20 kg/hab.ano de fósforo nos esgotos eram provenientes dessa fonte (WIECHERS e HEYNIKE, 1986; PILLAY, 1994).

A partir de pesquisas sobre o assunto, foram delineadas medidas voltadas para a restrição do uso de fosfato nesses produtos, não obstante, nenhuma ação de controle foi efetivamente implementada. PILLAY (1994) cita que, em 1993, todos os detergentes destinados à limpeza de tecidos comercializados no país eram fosfatados, apresentando, em média, 26% de P_2O_5 em peso.

Quase 20 anos depois, VAN GINKEL (2011) relata que, apesar da legislação que limita a concentração de fósforo nos esgotos sanitários, as ocorrências de eutrofização permaneciam disseminadas pelo país. Dentre as ferramentas de gestão indicadas para enfrentamento dessa questão, são apontadas a introdução de detergentes com baixo teor de fosfato, a estruturação de programa de controle da eutrofização adaptado às condições climáticas e sociais de cada região, monitoramento contínuo das ações implementadas e criação de um fundo de financiamento adequado para auxiliar nas despesas relacionadas com o controle da eutrofização.

Na Turquia, MINARECI et al. (2009) relatam problemas causados pela eutrofização no *Gediz River*, que possui mais de 400 km de extensão e atravessa uma região de grande importância no cenário econômico no oeste do país, com intensa atividade urbana e agrícola. Abordam a importância do aprimoramento do controle das fontes pontuais de fósforo nas águas em áreas mais urbanizadas, em especial dos esgotos sanitários, e

alertam para a contribuição proveniente do uso de detergentes fosfatados, ponderando que sua utilização não era, até então, regulamentada.

Particularidade merece ser citada com relação ao caso de Israel. Conhecido pela reduzida disponibilidade hídrica, em função de suas características geofísicas, e pela grande quantidade de sistemas avançados para tratamento de esgotos, devido à demanda pela água de reúso, a eutrofização não se tornou um problema ambiental preocupante para o país. A regulamentação da presença do fósforo nos detergentes ocorreu pela necessidade de redução dos teores de sódio na água de reúso, considerando-se que a forma de fósforo mais utilizada nos detergentes é a de tripolifosfato de sódio, conforme será abordado no item 4.3 deste trabalho. Em 1999 passou a vigorar uma nova versão da *Israeli Standard IS 438*, que alterou o limite para a presença de fósforo nos detergentes, reduzindo-o de 60% para a faixa de 25 a 50% em peso (FRIEDMAN, 2004).

No Brasil, os estudos a respeito da eutrofização foram intensificados no final da década de 1950, tornando-se referências os trabalhos desenvolvidos em represas localizadas na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), como a Billings e a Guarapiranga, além da Represa de Americana, localizada também em São Paulo (SILVA, 1972).

Datam desse período, os primeiros relatos que indicam a necessidade de se promover ações contra a eutrofização da Represa Guarapiranga. Recentemente, em especial a partir de 1992, a evolução no cenário de degradação, decorrente da urbanização e da ocupação indiscriminada do solo na bacia hidrográfica, estimulou a implementação de planos de recuperação como o Programa de Saneamento Ambiental da Bacia do Guarapiranga e o Programa Mananciais. Nesse sentido, foram planejadas ações envolvendo melhorias em infraestrutura, saneamento básico, desenvolvimento institucional e gestão do uso do solo (PEDROSO, 1960; NAKAMURA et al., 2012).

No ano de 2006, entrou em vigor a Lei nº 12.233, denominada Lei Específica do Reservatório Guarapiranga, na qual se estabeleceu uma Meta de Qualidade de Água a ser atingida até o ano de 2015, a qual está traduzida em função da carga de fósforo total afluente ao reservatório, denominada Carga Meta Total. Para atendimento dessa Meta, algumas ações prioritárias foram estipuladas no Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental (PDPA), envolvendo o disciplinamento e controle do uso do solo, desenvolvimento de ações de prevenção e recuperação urbana e ambiental, instalação e operação de infraestrutura de saneamento ambiental, instalação de estruturas destinadas

à redução da poluição nos corpos hídricos receptores e ampliação das áreas especialmente protegidas, ou dedicadas especificamente à produção de água. Com base na ferramenta de análise Modelo Matemático de Correlação Uso do Solo e Qualidade da Água (MQUAL), projeta-se uma redução de 33% na carga de fósforo total até o ano 2021, caso sejam executadas as ações previstas, dentre as quais encontra-se estipulada a redução no teor de fósforo nos detergentes utilizados nos domicílios (SÃO PAULO, 2006; NAKAMURA et al., 2012).

Pode ser citado também no Brasil, o caso do Lago Paranoá, em Brasília. Construído juntamente com a edificação da capital do país, a cidade de Brasília, Paranoá foi inaugurado para servir à finalidade de receber atividades de lazer e recreação. No entanto, devido principalmente aos lançamentos de esgotos sanitários sem tratamento e de efluentes de origem não doméstica, como de matadouros clandestinos, nas décadas de 1970 e 1980 o Lago virou cenário de *blooms* de cianobactérias, mortandade de peixes, e florações de macrófitas. “Brasília Fede” era a manchete dos principais jornais da época (SILVA, 1972; PINTO et al., 1999; ANGELINI et al., 2008).

Nos anos de 1993 e 1994, com o aumento da pressão da opinião pública para a adoção de uma solução, foram implantadas duas ETEs para atendimento às regiões norte e sul de Brasília, compostas por processos avançados de tratamento dos esgotos, que permitiram reduzir em cerca de 70% o aporte de nitrogênio e fósforo. Nos anos seguintes, foi ampliado o atendimento pelo sistema de coleta dos esgotos, que passou a atender 95% da população e também, adotou-se um programa de monitoramento da qualidade das águas, visando intensificar as ações para coibir os lançamentos irregulares nas redes coletoras de esgotos, medidas que contribuíram para uma sensível melhoria na qualidade das águas. Como resultado, o Paranoá passou a ser considerado um dos primeiros lagos tropicais a apresentar redução no aporte de nutrientes, após um período de eutrofização que pode ser considerado longo (PINTO et al., 1999; ANGELINI et al., 2008; ABBT-BRAUN et al., 2014).

4.2 Fósforo nos Esgotos Sanitários

Nos esgotos, assim como nas águas naturais, o fósforo apresenta-se como fosfato, podendo ser encontrado nas formas orgânica e inorgânica. O fósforo orgânico corresponde à fração que se encontra combinada à matéria orgânica, como em proteínas e aminoácidos, e sua origem é prioritariamente fisiológica. O fósforo inorgânico é encontrado nas formas de ortofosfato e polifosfato, e tem como principal origem os detergentes e outros produtos de uso doméstico, além dos efluentes industriais (APHA, 2005; PIVELI e KATO, 2005; VON SPERLING, 2005; JORDÃO e PESSOA, 2011).

A faixa de concentração considerada típica de fósforo nos esgotos sanitários, bem como a contribuição *per capita*, é bastante variável de acordo com os diferentes autores. METCALF & EDDY (2014) consideram que a concentração de fósforo total nos esgotos esteja situada entre 3,7 a 11,0 mg/L com contribuição *per capita* típica de 2,1 g/hab.dia. A fração orgânica é considerada entre 2,1 e 6,3 mg/L, com contribuição de 1,2 g/hab.dia, e a inorgânica, entre 1,6 e 4,7 mg/L, com contribuição de 0,9 g/hab.dia.

Para VON SPERLING et al. (2009), a concentração de fósforo total nos esgotos no Brasil é da ordem de 4,0 a 12,0 mg/L, com contribuição *per capita* de 0,7 a 2,0 g/hab.dia, sendo que aproximadamente 40% tem origem orgânica e 60% tem origem inorgânica. No Brasil, a faixa de concentração típica é considerada de 5,0 a 8,0 mg.P/L.

Na Tabela 3, pode-se visualizar as diversas faixas de concentração de fósforo nos esgotos, de acordo com diferentes autores.

Tabela 3: Fósforo nos esgotos – Concentração e contribuição típica.

Autor	Concentração Típica (mg.P/L)			Contribuição Típica (g/hab.dia)		
	Fósforo Total	Fração Orgânica	Fração Inorgânica	Fósforo Total	Fração Orgânica	Fração Inorgânica
METCALF e EDDY (2014)	3,7 - 11,0	2,1 - 6,3	1,6 - 4,7	2,1*	1,2	0,9
VON SPERLING et al. (2009)	4,0 - 12,0**	1,0 - 5,0	3,0 - 7,0	0,7 - 2,0	0,2 - 0,8	0,5 - 1,2
PIVELI e KATO (2005)	6,0 - 10,0	-	-	-	-	-
RANDALL et al (2010)	4,0 - 8,0	-	3,0 - 7,0	-	-	-
JORDÃO e PESSÔA (2011)	5,0 - 20,0	2,0 - 7,0	3,0 - 13,0	-	-	-

* No Brasil, a faixa de contribuição de fósforo total, de acordo como o autor, é de 0,6 a 1,0 g/hab.dia.

** No Brasil, a faixa de concentração típica é de 5,0 a 8,0 mg.P/L

Fonte: PIVELI e KATO, 2005; VON SPERLING et al., 2009; RANDALL et al., 2010; JORDÃO e PESSÔA, 2011; METCALF & EDDY, 2014.

Alguns pesquisadores apontam diferentes contribuições de fósforo total por parte das águas denominadas negras e amarelas, que tem origem no vaso sanitário, e das águas cinzas, oriundas das atividades de cozinha e lavanderia, assunto que será abordado no item 4.2.1 deste trabalho (ABDUL NOUR et al., 2006; GONÇALVES et al., 2006b).

As diferenças nas estimativas para quantificação da presença de fósforo, assim como no caso de demais constituintes dos esgotos sanitários, podem ser atribuídas à sua suscetibilidade frente às diferentes condições culturais e socioeconômicas da população, nas diversas localidades e países (VON SPERLING, 2005; RANDALL et al., 2010; JORDÃO e PESSÔA, 2011; METCALF & EDDY, 2014).

Enquanto nos Estados Unidos, por exemplo, METCALF & EDDY (2014) indicam que a contribuição de fósforo total nos esgotos situa-se na faixa de 1,5 a 4,5 g/hab.dia, na Alemanha a faixa considerada é de 1,2 a 1,6 g/hab.dia, e no Brasil, de 0,6 a 1,0 g/hab.dia. Na Tabela 4 podem-se visualizar as estimativas de contribuição *per capita* de fósforo nos esgotos, nos diferentes países, de acordo com os autores.

Tabela 4: Contribuição *per capita* de fósforo nos esgotos, nos diferentes países.

País	Contribuição per Capita Ptotal (g/hab.dia)
Alemanha	1,2 - 1,6
Brasil	0,6 - 1,0
Dinamarca	1,5 - 2,0
Egito	0,4 - 0,6
Estados Unidos	1,5 - 4,5
Grécia	1,2 - 1,5
Itália	0,6 - 1,0
Japão	0,15 - 0,4
Suécia	0,8 - 1,2
Turquia	0,4 - 2,0
Uganda	0,4 - 0,6

Fonte: METCALF & EDDY, 2014.

Outros fatores que podem explicar as diferenças regionais para a concentração de fósforo nos esgotos são os níveis e a intensidade de controle das atividades industriais, bem como, as iniciativas para regulamentação do uso de fósforo nos detergentes.

Para PIVELI e KATO (2005), as diferenças com relação à presença de fósforo nos

esgotos no Brasil e nos Estados Unidos, podem ser explicadas em grande parte pelo nível de acesso da população ao consumo de detergentes, já que no Brasil o uso desse produto tende a ser limitado pela condição sócio econômica da população. Podem ser explicadas também, pela baixa dureza de grande parte das águas naturais do Brasil, o que torna desnecessário o uso de detergentes com elevada concentração de fosfato.

4.2.1 Fontes de Fósforo nos Esgotos

As principais fontes domésticas de fósforo nos esgotos sanitários são as excreções humanas e os produtos industrializados utilizados nas residências, como detergentes, alimentos e alguns itens de higiene pessoal (APHA, 2005; VON SPERLING, 2005; CEEP, 2008; JORDÃO e PESSOA, 2011; COMBER et al., 2013).

As contribuições dessas fontes de fósforo nos esgotos podem ser bastante variáveis de acordo com as diferentes localidades, e portanto, seu dimensionamento envolve um trabalho de avaliação das condições regionais. Não obstante, a realização dessa estimativa é considerada uma atividade importante para subsidiar as decisões relativas ao controle das emissões de fósforo no meio ambiente (CEEP, 2008).

COMBER et al. (2013) acrescentam que o dimensionamento das fontes que contribuem para o aporte de fósforo nos esgotos é fundamental para a definição das medidas regulatórias adequadas à situação econômica, social e ambiental de cada localidade, de forma que os custos não recaiam de maneira desproporcional sobre as operadoras dos sistemas de saneamento. A realização desses levantamentos, no entanto, envolve um detalhado trabalho de pesquisa e compilação de dados sobre número de pessoas conectadas ao sistema de esgotos, seus costumes, e a quantidade consumida dos produtos de uso doméstico a serem verificados.

Os excretas compõem as denominadas águas negras, que são aquelas provenientes da utilização do vaso sanitário, as quais contêm grande quantidade de material fecal, urina e papel higiênico. De acordo com dados apresentados por ABDUL NOUR et al. (2006),

o valor referencial para a contribuição *per capita* de fósforo nos esgotos sanitários por meio das águas negras, é da ordem de 1,7 g.P/hab.dia, dos quais, cerca de 50% tem origem na urina.

O fósforo está envolvido em diversos processos orgânicos e é especialmente importante para o metabolismo de gorduras, carboidratos e proteínas, para a absorção de vitaminas do grupo B, e para liberação de energia. Grandes concentrações de fósforo são encontradas em alimentos naturais, como cereais, carnes e derivados do leite, em multivitamínicos e suplementos minerais, onde as concentrações são variáveis de acordo com a faixa etária da população, bem como, em bebidas e alimentos processados.

A contribuição de fósforo nos esgotos sanitários por meio das águas negras é fortemente influenciada pelas diferentes características regionais e culturais, bem como pela condição socioeconômica da população, pela idade e pela dieta alimentar. Algumas estimativas para a contribuição dessa fonte de fósforo nos esgotos apontam, para a Europa, por exemplo, uma contribuição *per capita* entre 1,5 e 1,6 g.P/dia, enquanto para o Haiti a estimativa é de 0,8 g.P/dia, para a Índia é de 1,1 g.P/dia, para a África do Sul é de 1,4 g.P/dia e para a China é de 1,6 g.P/dia (CEEP, 2008; COMBER et al., 2013).

JÖNSSON et al. (2005) informam que na Suécia, para pessoas com idade entre 17 e 74 anos, o consumo de fósforo na dieta alimentar foi estimada em 1,43 g.P/hab.dia, sendo que cerca de 1,4 g.P/hab.dia é lançada nos esgotos pelas fezes e urina.

De acordo com BALMÉR e HULTMAN (1988), citando os trabalhos desenvolvidos em diversos países por Alexander e Stevens (1976), a contribuição *per capita* de fósforo nos esgotos, de origem fisiológica, situa-se entre 1,0 e 1,6 g.P/hab.dia, com valor médio de 1,4 g.P/hab.dia.

Além das águas negras, o fósforo presente nos esgotos sanitários tem origem também nas denominadas águas cinzas, que são oriundas da utilização de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquinas de lavar roupa, máquinas de lavar louça e tanque. As águas cinzas contém componentes provenientes da utilização de sabão ou outros produtos destinados à limpeza de roupas e louças, ou da higiene pessoal (ABDUL NOUR, 2006; GONÇALVES et al., 2006b).

Estima-se que 68% do volume total de esgotos seja proveniente das águas cinzas.

Pesquisa brasileira desenvolvida pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) em 2005, indicou que as maiores contribuições de fósforo nas águas cinzas na área pesquisada tinham origem no tanque e na máquina de lavar roupa, situação explicada pela elevada contribuição dos detergentes e sabões que continham fósforo em suas formulações. Para GONÇALVES et al. (2006b, p. 174) tal fato “explica as concentrações nas amostras do tanque, máquina de lavar e cozinha, sempre maiores que nas amostras de lavatório e chuveiro”.

A concentração de fósforo total obtida nos diferentes componentes das águas cinzas de acordo com essa pesquisa pode ser visualizada na Tabela 5.

Tabela 5: Concentração de fósforo total nas águas cinzas.

Fonte de Água Cinza	P-total (mg.P/L)
Lavatório	0,1 - 1,1
Chuveiro	0,0 - 0,5
Tanque	0,4 - 34,7
Máquina de lavar roupa	2,8 - 26,1
Pia da cozinha	3,5 - 13,3
Mistura	1,1 - 13,2

Fonte: GONÇALVES et al., 2006b.

Os restos dos alimentos costumam também ser apontados como fonte de fósforo nos esgotos sanitários, com origem nos serviços de limpeza de louças contendo resíduos sólidos. Estudos desenvolvidos para a Alemanha no ano de 1978, apontam uma contribuição de fósforo nos esgotos por meio desses resíduos na faixa de 0,1 a 0,3 g.P/hab.dia; dados de 2008 referentes ao Reino Unido indicam que a contribuição dos restos de alimentos para o aporte de fósforo nos esgotos poderia ser calculada em 0,03 g.P/hab.dia (CEEP, 2008; COMBER et al., 2013).

Nos produtos de lavatório e chuveiro, o fósforo é usualmente utilizado em pequenas quantidades, em produtos como *shampoos*, condicionadores, cremes para cabelo, cremes dentais, alguns tipos de gel para banho e sabonetes. A contribuição dessas fontes para o total de fósforo presente nos esgotos é usualmente considerada baixa.

Nos cremes dentais, por exemplo, o fósforo participa da composição do íon monofluorofosfato (MFP), que assim como o fluoreto tem a função de tornar os dentes mais resistentes à cárie. No Brasil, a Portaria nº 3.011, do Ministério da Saúde, de 01/12/09, estipula o limite de 0,15% de MFP em peso, por produto manufaturado, destinado ao consumidor final (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2009).

No Reino Unido, COMBER et al. (2013) informam que a contribuição dos cremes dentais para o fósforo total nos esgotos sanitários foi calculada em 0,022 g.P/hab.dia.

Outra importante fonte de fósforo nos esgotos sanitários, e que merece ser citada, tem origem em atividades públicas e comerciais, como pequenas indústrias, escolas, restaurantes, lavanderias, universidades e hospitais, dentre outros. CEEP (2008, p. 4) indica alguns resultados para dimensionamento da contribuição proveniente dessas atividades, conforme diferentes estudos realizados na Europa:

- Alemanha, ano 1978: 0,9 g.P/hab.dia;
- Alemanha, ano 2006: 1,2 g.P/hab.dia;
- França, ano 2000: 1,2 a 2,0 g.P/hab.dia.

Em alguns casos, dependendo das características econômicas e do desenvolvimento urbano de cada localidade, a contribuição dessa fonte pode ser considerada significativa. De um total de 45 mil ton./ano de fósforo que são lançadas nos esgotos britânicos, COMBER et al. (2013) estimaram que 7% tem origem nesse tipo de atividade; dos 93% oriundos das residências, o que equivale a 2,03 g.P/hab.dia, 40% são decorrentes do material fecal e da urina, 29% dos alimentos processados, bem como do uso de aditivos e suplementos alimentares, 14% do uso de detergentes para máquinas de lavar roupa, 9% dos detergentes para máquina de lavar louça, 6% da água de abastecimento público, 1% dos restos de alimentos e 1% dos produtos de higiene pessoal.

Também merecem ser citados como fonte de fósforo nos esgotos sanitários, os efluentes industriais, ou efluentes não domésticos (END). SOLT (1975), destaca que as origens de fósforo nos esgotos por essa fonte têm relação, basicamente, com as atividades de processamento de alimentos, incluindo vegetais, carnes e derivados de leite, produção de refrigerantes, estando presente também nos efluentes de usinas de açúcar e álcool,

medicamentos e preparação de metais, além de estar relacionado com os processos de limpeza e lavagem das linhas de produção em indústrias têxteis, frigoríficos e curtumes, dentre outras.

O lançamento de END na rede de esgotos sanitários necessita ser precedido de uma criteriosa avaliação das suas características, frente à capacidade e concepção do sistema, de forma a serem estabelecidos critérios que evitem que as substâncias presentes em sua composição causem prejuízos em função dos efeitos físico-químicos advindos das suas cargas poluidoras, bem como, que sejam ocasionados custos adicionais para o sistema de tratamento. Além disso, eventuais lançamentos indiscriminados podem acarretar, muitas vezes, problemas operacionais e dificuldades para atendimento ao nível de eficiência requerido para o efluente tratado (LARA et al., 1999; JORDÃO e PESSOA, 2011; PAGANINI, 2007).

4.2.2 O Setor de Saneamento no Brasil

No decorrer do século XX, os investimentos em saneamento básico no Brasil ocorreram de forma pontual em períodos específicos, podendo-se destacar as ações desenvolvidas no âmbito do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), no decorrer das décadas de 1970 e 1980. De acordo com TUROLLA (2002), o Plano visou a expansão dos índices de cobertura com água e esgoto por meio de incentivos às concessões dos serviços de saneamento municipais às recém-criadas Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESBs), às quais foi concedido acesso a fontes de financiamento e a empréstimos do Banco Nacional de Habitação (BNH).

Dando-se ênfase à ampliação dos índices de atendimento com abastecimento de água, o Plano, no entanto, ofereceu pouca contribuição para o aumento dos índices de coleta e tratamento de esgotos. No final dos anos 1980, com o colapso do PLANASA, revelou essa lacuna no setor de saneamento. A inexistência de regulamentação e de diretrizes específicas acentuou o quadro de deficiência de cobertura, com reflexos até os dias atuais (TUROLLA, 2002; LEONETI et al., 2011).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o índice médio nacional de atendimento da população urbana com abastecimento de água em 2009 foi de 95,2%, enquanto em termos de esgotamento sanitário, o atendimento demonstra ser consideravelmente menor, com 52,0% de coleta e 37,9% de tratamento dos esgotos coletados (SNIS, 2011).

Acentuou-se também a desigualdade regional no Brasil. Enquanto no sudeste estima-se um investimento *per capita* de R\$ 358,00 para se atingir a universalização dos serviços, em água e esgoto, com comprometimento de 4% da renda *per capita* da população com relação ao total necessário a ser investido, a região norte necessita de um investimento *per capita* de R\$ 641,00, aproximadamente, com comprometimento de 15% da renda *per capita*. Em números absolutos, de acordo com a Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais (AESBE), seria necessário um investimento médio de R\$ 11 bilhões ao ano, a partir de 2006, para que a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil fosse alcançada em 2025. Ao longo dos últimos anos, os investimentos realizados situaram-se próximos de R\$ 3 bilhões (AESBE, 2006).

A Figura 12 apresenta o total de investimento *per capita* necessário para universalização do saneamento básico no Brasil, em água e esgoto, e a proporção relativa ao comprometimento da renda *per capita* frente ao investimento necessário, explicitando a desigualdade regional.

Figura 12: Investimentos para universalização do saneamento no Brasil – água e esgoto, em 2006.

Fonte: LEONETI et al., 2011.

No Estado de São Paulo, ainda que os índices de atendimento sejam superiores à média do país, estudos realizados pelo Ministério das Cidades com base no ano de 2003, indicam que o custo da universalização do saneamento estimado até o ano de 2020 seja de aproximadamente R\$ 40 bilhões (GALVÃO JUNIOR et al., 2009).

Atualmente, as principais normas que regulam o setor de saneamento no Brasil são representadas pela Lei 11.445, de 05 de janeiro de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, e pela Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997, referente à Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Ambas possuem referências específicas sobre garantia da sustentabilidade dos investimentos, sendo que a Lei 11.445/07 preconiza que os serviços de saneamento básico deverão observar as metas para universalização do atendimento, admitindo soluções graduais e progressivas que garantam a factibilidade da disponibilização e aplicação dos recursos financeiros levando-se em conta os fatores econômicos e sociais de cada região (BRASIL, 2007).

Em consonância com os termos da legislação, ANDRADE NETO e CAMPOS (1999) indicam que o caminho da universalização do saneamento é o gradualismo, priorizando a abrangência, para posteriormente estabelecer a evolução da eficácia a partir de um patamar aceitável de segurança sanitária.

LEONETI et al. (2011) acrescentam ainda, que os investimentos em saneamento devem atender ao conjunto de requisitos de ordem técnica, ambiental, social e econômica, de forma a contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Tais posicionamentos vão ao encontro das experiências vivenciadas em outras localidades do mundo a respeito da gestão do aporte de fósforo nas águas, conforme abordado no item 4.1.2 do presente trabalho, que demonstram a existência de uma lógica temporal no direcionamento dos investimentos, sendo possível observar uma tendência para, inicialmente, dotar os sistemas de tecnologia para remoção de matéria carbonácea, que corresponde ao tratamento secundário dos esgotos, para posteriormente serem estabelecidos critérios para implantação dos sistemas terciários, levando em conta a localização do ponto de lançamento e a contribuição ambiental prevista. Paralelamente, podem ser verificadas outras ações de controle, como a regulamentação ou banimento do uso de fósforo nas fórmulas de detergentes em pó, a fiscalização dos despejos industriais, e o controle do uso de fertilizantes em áreas cultivadas nas bacias hidrográficas que possuem mananciais com histórico de eutrofização.

ANDRADE NETO e CAMPOS (1999) apontam que a escolha da tecnologia para tratamento dos esgotos deve compatibilizar as condições culturais, econômicas e ambientais da região a ser atendida, analisando-se, minimamente, os seguintes aspectos:

- Eficiência pretendida ou requerida;
- Disponibilidade de área, condições do solo e alternativas locais;
- Variações qualitativas e quantitativas do efluente a ser tratado;
- Risco de maus odores e de proliferação de vetores;
- Possibilidade de modulação e expansão;
- Benefícios sociais e econômicos, diretos e indiretos; e
- Custos e demandas operacionais envolvidas na implantação, operação e manutenção.

Com relação ao gerenciamento do lodo de ETE no Brasil, merece ser citada a Lei 12.305/10, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e que tem como proposta a prática de hábitos de consumo sustentáveis e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos, considerando-se seu valor econômico e social, e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos, que correspondem à parcela que não pode ser reciclada ou reutilizada (BRASIL, 2010).

A questão da adequada destinação de resíduos e sua contribuição para a gestão de um sistema de tratamento de esgotos são pontos reconhecidos também pela Agenda 21, instrumento aprovado na Conferência Mundial de Meio Ambiente - Rio 92, que incluiu no seu capítulo 21 o tema “Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com esgotos”. Este capítulo define como programas prioritários, a redução na geração de resíduos, o aumento da reutilização e reciclagem, a implementação de tratamento ambientalmente saudável, e a ampliação do alcance dos serviços disponíveis (LARA et al., 1999).

Além da necessidade de inserção de temas como reciclagem e recuperação na rotina do

setor, TUROLLA (2002) aponta a necessidade de se considerar o impacto das políticas públicas voltadas para a universalização do atendimento, que envolvem aspectos como desenvolvimento urbano, meio ambiente e saúde pública. Tais questões extrapolam o setor de saneamento, porém o afetam diretamente, impondo pesados custos econômicos às operadoras dos serviços e relevantes impactos sociais.

ANJOS JÚNIOR (2011) acrescenta também, importantes desafios estratégicos que se colocam no horizonte das operadoras de serviços de saneamento, como a gestão dos recursos financeiros e o gerenciamento dos empreendimentos, uma vez que o enfrentamento das metas de universalizar os serviços, exige posicionamento e requer a utilização eficiente dos recursos disponíveis. Outro importante desafio é a gestão da demanda, de forma a alinhar questões como atendimento das necessidades dos clientes, prestação de serviços de qualidade e utilização eficiente dos recursos naturais, econômicos e financeiros, possibilitando o atendimento das demandas de longo prazo, otimizando a capacidade instalada.

4.2.3 Os Detergentes como Fonte de Fósforo nos Esgotos

A elaboração de estimativas para quantificação da contribuição dos detergentes com relação ao total de fósforo presente nos esgotos é um assunto que evoluiu nas últimas décadas, em função da expansão do uso dos produtos destinados à limpeza de tecidos, do aumento na concentração de fósforo nos esgotos sanitários e da ocorrência de eventos de eutrofização. Pesquisas históricas desenvolvidas em diversas localidades da Europa e da América do Norte indicaram que esses produtos poderiam contribuir para o aumento da concentração de fósforo nos esgotos em percentuais variáveis entre 20% e 80%, dependendo das condições econômicas e culturais de cada região (IJC, 1969, DEVEY e HARKNESS, 1975; SHANNON, 1975; IJC, 1980; HARTIG e HORVATH, 1982; LITKE, 1999).

Na América do Norte, na região dos Grandes Lagos, por exemplo, estimativas apresentadas por IJC (1969) indicam que os detergentes seriam responsáveis por cerca

de 50% do fósforo total lançado pelo Canadá e 70% do fósforo lançado pelos Estados Unidos. Projeções efetuadas indicaram que, caso nenhuma medida de gestão fosse adotada, da carga total de fósforo lançada na bacia hidrográfica no ano de 1986, estimada em 27 mil t/ano, com uma contribuição *per capita* da ordem de 3,5 kg/hab.ano, cerca de 2,5 kg/hab.ano, ou 70%, teriam origem nos detergentes fosfatados. Como resultado, foi sugerida a ação combinada em duas frentes, para ambos os países: redução do uso do fósforo nos detergentes e melhoria das estações de tratamento de esgotos, de forma a permitir a remoção de 95% da carga de fósforo. Sem a redução do aporte de fósforo proveniente dos detergentes, calculou-se que haveria um acréscimo de 2 a 3 vezes nos custos estimados dos sistemas de tratamento de esgotos a serem implantados, em decorrência do aumento na demanda por produtos químicos e da geração de uma maior quantidade de resíduos sólidos.

De acordo com SCHMIDTKE (1980), a concentração de fósforo nos esgotos era da ordem de 10 mg/L na província de Ontário, no Canadá, antes do controle da utilização de fósforo nos detergentes, quando a composição desses produtos indicava a presença de aproximadamente 25% de P_2O_5 , em peso. Com a limitação de 20% estabelecida em agosto de 1970, a concentração de fósforo foi reduzida para 8,8 mg/L e, após dezembro de 1972, quando os limites se tornaram mais restritivos, passando para 5%, a concentração de fósforo nos esgotos foi alterada para a faixa de 6,8 mg/L.

SHANNON (1975) e SCHMIDTKE (1980) relatam um experimento desenvolvido na estação de tratamento da *Canadian Forces Base (CFB)*, situada em Ottawa, na Província de Ontário, no período entre agosto a dezembro de 1972, antes da reformulação dos detergentes, e entre fevereiro a setembro de 1973, após a citada reformulação, e descrevem que a contribuição de fósforo total no esgoto bruto foi alterada de 5,2 g/hab.dia para 2,3 g/hab.dia, uma redução de 56%. Da comparação do registro diuturno dos dados ao longo do período estudado, verifica-se que o pico na concentração diária de fósforo total foi alterado de 13 para 4 mg.P/L, antes e depois da reformulação dos detergentes.

A Figura 13, a seguir, ilustra a concentração de fósforo nos esgotos registrada na província de Ontário, entre 1967 e 1977, indicando as reduções observadas a partir de agosto de 1970, quando a presença de fósforo nos detergentes foi limitada em 20%, em peso, e a partir de dezembro de 1972, quando esse limite passou para 5%, em peso.

Na Figura 14, pode-se visualizar o registro diuturno das concentrações de fósforo registradas no esgoto bruto da estação de tratamento CFB, no Canadá, para o período estudado antes e depois da reformulação dos detergentes.

Figura 13: Concentração de fósforo nos esgotos – Província de Ontário, Canadá – De 1967 a 1977.

Fonte: SCHMIDTKE, 1980.

Figura 14: Comportamento diuturno das concentrações de fósforo no esgoto bruto na estação de tratamento esgotos CFB, Ontário, Canadá, entre agosto/1972 e setembro/1973.

Fonte: SHANNON, 1975; SCHMIDTKE, 1980.

Na Europa, algumas experiências são relatadas por GLENNIE et al. (2002, p. 21-74):

- **Alemanha:** A quantidade de fósforo lançada nos esgotos através dos detergentes foi reduzida de 57 mil ton./ano em 1975 para 35 mil ton./ano em 1985, tornando-se praticamente nula em 1995, quando os detergentes fosfatados deixaram de ser comercializados no país. Aliada à execução de melhorias nos sistemas de tratamento de efluentes, a quantidade de fósforo total lançada nas águas foi alterada de 57 mil ton/ano em 1985, para 11 mil ton/ano em 1995, o que corresponde a uma redução de aproximadamente 80%. Da redução total verificada, cerca de 50% foi atribuída à substituição do fósforo nos detergentes.
- **Holanda:** A substituição de fosfatos por zeólitas nos detergentes, ocorrida em 1987, foi seguida por melhorias gradativas nos sistemas de tratamento de esgotos, resultando numa redução média de 67% do aporte de fósforo total nas águas entre 1985 e 1995. Nesse período, a carga de fósforo lançada nas águas por essa fonte foi reduzida de 10,8 mil ton./ano para 3,54 mil ton./ano.
- **Suíça:** Estima-se que a combinação de restrição ao uso de fósforo nos detergentes e a implantação de sistemas terciários de tratamento de esgotos tenha resultado numa redução de 60% na quantidade de fósforo lançada nas águas, entre 1980 e 1994, o que equivale a 2,6 mil toneladas/ano. As expectativas iniciais de redução do aporte de fósforo nas águas, calculadas pela entidade *Federal Office of the Environment* na faixa de 15% a 45%, foi superada em 90% dos lagos da Suíça; a redução da eutrofização é visível especialmente nos lagos Geneva e Murten, bem como no Rio Reno.
- **Itália:** As medidas para introdução dos detergentes livres de fosfato foram iniciadas em 1981 e, posteriormente, na década de 90, tiveram início as implantações de melhorias nos sistemas de tratamento de esgotos. No entanto, outras medidas ainda são necessárias.
- **Hungria:** Considerado representante típico dos problemas apresentados pelos países candidatos que aderiram recentemente à Comunidade, os detergentes são classificados como “ambientalmente amigo” quando possuem menos de 7% de P_2O_5 , “dentro de limites seguros” quando a concentração fica entre 7% e 15%,

“máximo permitido” quando a concentração é de até 20%, e “proibido” quando o produto possui mais de 20% de P_2O_5 . Em relação ao tratamento de esgotos, cerca de 50% da população do país dispõe do serviço, sendo que os sistemas existentes não removem fósforo. Analisando-se diferentes cenários de investimentos com o objetivo de reduzir o aporte de fósforo no Rio Danúbio, concluiu-se que o banimento dos detergentes fosfatados poderá oferecer os mesmos resultados que a implantação de sistemas terciários nos sistemas de tratamento de esgotos existentes, porém com custos bastante inferiores, mais adequados à situação econômica do país.

Cumprе ressaltar, que face às mudanças implementadas ao longo dos anos através das medidas de regulamentação do uso de detergentes fosfatados, estudos mais recentes desenvolvidos na Europa e na América do Norte, indicam que a contribuição desses produtos para o fósforo presente nos esgotos situa-se na faixa de 7,5 a 14%, conforme será abordado no item 4.2.4 do presente trabalho (GILMOUR et al., 2008; NOWOSIELSKI, 2009; COMBER et al., 2013).

Para o Brasil, VAN HAANDEL et al. (2009, p. 227) citam que “a principal fonte de fósforo nos esgotos está no polifosfato presentes nos sabões em pó”, apontando, inclusive, a existência de pressão da sociedade para que seja feita a substituição desse componente por elemento alternativo.

Em relação à contribuição das medidas de restrição ao uso de fósforo nos detergentes para redução da eutrofização, os resultados obtidos demonstram ser bastante variáveis, podendo ser influenciados por algumas condições, como por exemplo, características regionais de uso e ocupação do solo, nível de urbanização, condições socioeconômicas da população, intensidade das atividades não pontuais desenvolvidas na bacia hidrográfica, especialmente da atividade agrícola, além das condições hídricas e hidrológicas de cada região. A redução da concentração de fósforo nas águas devido à sua remoção nos esgotos varia, normalmente, entre 4 e 20% (BOOMAN e SEDLAK, 1986; BAUER, 2004).

BALMÉR e HULTMAN (1988) acrescentam que nas áreas consideradas mais sensíveis à eutrofização são normalmente necessárias medidas conjuntas à substituição do fósforo

nos detergentes, para promover melhorias ambientais.

Além da questão ambiental, foram verificados reflexos positivos na redução dos custos com operação dos sistemas de tratamento. Ao se evitar que uma parcela significativa de fósforo chegasse até as estações, por meio da regulação do uso de fosfato nos detergentes, verificou-se a redução dos custos como a operação dos sistemas, devido à diminuição da quantidade de produtos químicos adquiridos para o processo de tratamento e a diminuição da quantidade de resíduos gerados (HORVATIN, 1985; GLENNIE et al., 2002; FRIEDMAN, 2004; FLOYD et al., 2006; EUROPA, 2007)

No Reino Unido, FLOYD et al. (2006) estimou em € 416 milhões o montante de recursos para implantação de sistemas de tratamento terciários, visando suprir o *déficit* de atendimento existente, que poderiam ser evitados mediante o banimento do uso do fósforo nos detergentes. Extrapolando os dados do Reino Unido para as condições existentes Comunidade Europeia, o volume dos investimentos que poderia ser evitado chega a € 2 bilhões.

No documento que acompanhou a proposta de alteração do Regulamento nº 648/2004, a respeito da regulamentação do uso de fósforo nos detergentes no âmbito dos 25 Estados-Membros, a Comunidade Europeia relatou que o custo para implantação de sistemas terciários para tratamento de esgotos, mediante os níveis de atendimento existentes e requeridos, poderia ser estimado em € 1 a 7 por kg.P, valor que poderia ser de 2 a 7 vezes menor com a restrição à presença de fósforo nos detergentes (FLOYD et al., 2006; EUROPA, 2007; EUROPA, 2010).

O documento alerta também, para a provável ampliação nessas diferenças no período de longo prazo, devido ao possível aumento dos preços dos produtos químicos utilizados nos sistemas de tratamento destinados à remoção do fósforo, como os sais de ferro, em decorrência do aumento da demanda, além da perspectiva de crescente deficiência nas alternativas viáveis para disposição dos resíduos a serem gerados em quantidades cada vez maiores.

Acrescente-se a essas questões, o fato de que a redução da parcela de fósforo lançada nos esgotos pelos detergentes pode afetar o dimensionamento das estações de tratamento, possibilitando a postergação de investimentos em sistemas destinados à remoção de nutrientes, cujos custos são elevados, e permitindo a ampliação dos níveis de atendimento com abastecimento de água e coleta de esgotos. Assim, em países com

déficit de atendimento pelos serviços de saneamento básico, tal medida pode auxiliar no planejamento de etapas para execução das melhorias necessárias, tendo em vista a necessidade de garantia das condições de saúde pública.

Outra questão que merece ser abordada em relação ao controle da presença de fósforo nos detergentes é a possibilidade de sua contribuição para a desaceleração no ritmo de exploração das fontes de fósforo no meio ambiente. Sua substituição por materiais alternativos pode ser considerada uma medida ambientalmente sustentável, na medida em que pode contribuir para a preservação das reservas naturais.

4.2.4 Metodologias para Determinação da Contribuição dos Detergentes com relação ao Fósforo Presente nos Esgotos

A determinação da carga de fósforo presente nos esgotos é efetuada mediante o monitoramento dos dados de concentração e vazão que chegam até as estações de tratamento. Nos casos onde não é possível adotar essa metodologia, utiliza-se normalmente uma projeção com base em dados populacionais da bacia hidrográfica, vazão estimada para o sistema e faixa de contribuição *per capita* de fósforo. Destaca-se, porém, que neste último caso, a confiabilidade dos resultados é normalmente considerada como a mais baixa (WITE e HAMMOND, 2006).

Com relação à aplicação direta de metodologia envolvendo a utilização de dados de mercado e de informações sobre a formulação dos produtos são citadas algumas restrições, visto que o levantamento envolve o acesso a informações comerciais que muitas vezes são consideradas sigilosas por parte das indústrias do setor, o que dificulta a obtenção dos dados necessários. Tal situação foi abordada em NOWOSIELSKI (2009), em trabalho efetuado para estimar a contribuição dos detergentes para a presença de fósforo nos esgotos do Reino Unido. Devido às dificuldades de obtenção de dados específicos junto aos fabricantes, a quantidade de fósforo foi calculada com base em informações sobre consumo de fósforo pelas indústrias, fornecidas pela *UK Cleaning Products Industry Association* (UKCPI), os quais foram utilizados

conjuntamente com informações demográficas e informações a respeito do número de pessoas atendidas pelo sistema de esgotos sanitários. Tal procedimento resultou no cálculo da contribuição *per capita* de fósforo com origem nos detergentes da ordem de 0,16 g.P/hab.dia, o que corresponde a 7,5% do total de fósforo nos esgotos.

Em levantamento realizado por WIND et al. (2007) foi estimada a contribuição dos detergentes para tecidos e para louças para o aporte de fósforo nos esgotos, para todos os países componentes da União Europeia. Para tanto, foram utilizadas informações fornecidas pela *International Association for Soaps, Detergents and Maintenance Products* (AISE) a respeito do volume comercializado de detergentes, dados de literatura para obtenção do volume de fósforo utilizado pelas indústrias desse segmento e informações sobre a regulamentação do uso de fósforo nos produtos. As informações foram levantadas por país, sendo que no caso dos detergentes para louças, considerou-se que 100% do mercado é suprido pelos detergentes com fosfato.

Os autores apontam as incertezas decorrentes das possíveis alterações ocorridas com relação aos dados sobre volume de fósforo utilizado pela indústria, cuja fonte é do ano de 1998, destacando, entretanto, tratar-se de um importante referencial para os cálculos, partindo de uma condição que pode ser considerada menos conservadora.

Nesta mesma linha, COMBER et al. (2013) afirmam que a determinação da contribuição dos detergentes para o fósforo total presente nos esgotos deve levar em conta o volume consumido de produto, as restrições legais relativas ao assunto em cada localidade, e sua evolução ao longo dos anos. Para dimensionar essa fonte de fósforo no Reino Unido, os autores utilizaram as seguintes informações:

- Dados mercadológicos a respeito da produção de detergentes e utilização de fósforo nesses produtos, conforme posicionamento das indústrias do setor.
- Informações regulatórias sobre concentração de fósforo nos detergentes comercializados no país e número de pessoas conectadas ao sistema de coleta e tratamento de esgotos.
- Dados sobre comportamento de consumo, como hábitos de lavagem e quantidade utilizada do produto, foram estimados com base nos parâmetros bibliográficos adotados por GILMOUR et al. (2008).

- Os resultados indicam a emissão na faixa de 0,155 a 0,275 g.P/hab.dia nos esgotos devido ao uso de detergentes que contém fósforo em suas formulações, o que corresponde a uma contribuição anual de 3.360 a 6.048 ton.P/ano. Em termos percentuais, a partir desse trabalho, a contribuição dos detergentes para o total de fósforo presente nos esgotos sanitários foi estimada em 14%.

Outra forma de determinação a ser citada, é a realização de um estudo comparativo dos resultados referentes à concentração de fósforo, obtidos no esgoto afluente às estações de tratamento antes e depois da adoção de medidas de restrição ou banimento do uso de fosfatos nos detergentes.

Nesse sentido, HARTIG e HORWATH (1982) relatam os resultados de estudos desenvolvidos nas 58 maiores estações de tratamento do estado de Michigan. Foram selecionadas as unidades com vazão superior a 44 L/s, nas quais foi efetuada a avaliação dos dados mensais de monitoramento das concentrações de fósforo total e das vazões no período entre 1976-1977 e 1978-1979, antes e após o banimento do fósforo nos detergentes comercializados no estado. De acordo com pesquisa conduzida pelo *Department of Natural Resources*, em 1976 a concentração média de fósforo nos detergentes comercializados no estado era de 5,7% em peso; em outubro/1977 o limite para a concentração de fósforo nesses produtos foi fixado em 0,5% em peso.

Os dados mensais relativos às concentrações de fósforo total no esgoto afluente às estações de tratamento estudadas, bem como as respectivas vazões, foram obtidos nos relatórios disponibilizados pelo NPDES, programa federal para monitoramento das fontes pontuais de poluentes nos corpos hídricos, cuja administração e acompanhamento dos dados levantados, na maioria dos casos, é efetuada pelos próprios estados.

Por meio do emprego de métodos estatísticos, as informações levantadas nos relatórios de monitoramento disponibilizados pelo NPDES permitiram observar uma redução de 23% na concentração de fósforo total no esgoto afluente, que foi alterada de, em média, 6,5 mg.P/L para cerca de 5 mg.P/L (HARTIG e HORVATH, 1982).

Trabalho similar foi desenvolvido por SHARFSTEIN et al. (1977), na estação de tratamento *New York City's Tallman Island*, situada na cidade de *New York*, junto ao *East River*, nas proximidades da sua confluência com o *Long Island Sound*. Foram

analisados dados médios mensais relativos à concentração de fósforo total e ortofosfato no esgoto afluyente à estação no período entre novembro/1971 e janeiro/1976, com base em coletas de amostras semanais. Em dezembro/1971 o limite para a presença de fósforo nos detergentes no estado foi estabelecido em 8,7%, em peso; em janeiro/1973, o uso de fósforo nesses produtos foi limitado a 0,5% e em janeiro/1976, esse limite foi estendido a todos os produtos domésticos comercializados à base de fósforo, excluindo os detergentes em pó para lavagem de louças. Verificou-se uma redução de mais de 61% na concentração de ortofosfato e de 60% na concentração de fósforo total entre novembro/1971 e janeiro/1976.

HORVATIN (1985) relata o trabalho desenvolvido em 24 estações de tratamento americanas situadas na região dos Grandes Lagos, com porte e processos de tratamento similares. O objetivo foi comparar a situação dos sistemas situados nos estados onde o banimento do uso de fósforo nos detergentes já estava em vigor, com aquelas situadas em locais onde esse assunto ainda não tinha regulamentação, e verificar os ganhos ambientais e econômicos. Foram analisados os dados dos anos de 1982 e 1983 a respeito das concentrações de fósforo e regime de vazões do esgoto afluyente às estações de tratamento estudadas, sendo obtidos os seguintes resultados:

- Verificou-se uma redução de 23% na concentração de fósforo total entre as estações situadas nos diferentes estados. Nas estações de tratamento localizadas em estados com vigência de banimento, a concentração de fósforo total era de 4,3 mg.P/L, enquanto nos estados sem regulamentação do assunto, a concentração era de 5,6 mg.P/L. Em termos de contribuição *per capita*, a diferença verificada foi de 32%, com alteração de 1,4 kg/hab.ano para 0,95 kg/hab.ano. Não foi verificada diferença nas vazões afluentes, na comparação entre as diferentes situações.
- No que se refere a custos, verificou-se uma redução de 30% nos custos totais de operação dos sistemas situados nos estados com vigência da regulamentação do fósforo nos detergentes, e de 47% no custo *per capita*, o qual passou de US\$2,44/hab.ano para US\$1,29/hab.ano. Não foram verificadas diferenças na eficiência do tratamento.

Para confirmação desses resultados, foi efetuado um estudo de caso na estação de tratamento de Midland, em Michigan, por meio da comparação dos resultados obtidos para concentração de fósforo total no esgoto afluente nos períodos julho/1976-junho/1977, e julho/1978-junho/1979, antes e após o banimento do fósforo nos detergentes. Verificou-se uma redução de 31% na concentração de fósforo total no esgoto afluente após o banimento do uso de fósforo nos detergentes, com alteração de 6,4 mg.P/L para 4,4 mg.P/L. Com relação aos custos operacionais da estação decorrentes da remoção de fósforo, foi verificada uma redução de 25,5% com alteração de US\$2,06/hab.ano para US\$1,53/hab.ano (HORVATIN, 1985).

Na Figura 15, pode ser visualizado um resumo comparativo dos resultados obtidos nas pesquisas realizadas no estado americano de Michigan, referentes à concentração de fósforo total nos esgotos antes e após o banimento do uso de detergentes fosfatados, e nos estados americanos situados na Região dos Grandes Lagos, que retrata as diferenças em locais com e sem regulamentação desses produtos.

Figura 15: Resumo comparativo da concentração de fósforo nos esgotos antes e depois do banimento, e em locais com e sem regulamentação dos detergentes – Estados Unidos.

Fonte: HARTIG e HORWATH, 1982; HORVATIN, 1985.

BOOMAN e SEDLAK (1986) indicam, entretanto, que experiência similar para

acompanhamento dos resultados de longo prazo apresentados em sistemas de tratamento de Michigan e Wisconsin, nos Estados Unidos, também por meio de análise dos resultados antes e após o banimento do uso de fósforo nos detergentes, permitiu verificar que esse tipo de análise está sujeita a alguns fatores que podem interferir nos resultados, como intensidade do crescimento populacional, ampliação dos índices de atendimento pelo sistema de esgotos sanitários, instalação de novas indústrias e alteração no tipo de detergente utilizado nos processos industriais.

Algumas pesquisas apontam para o uso combinado de análise físico-química nos esgotos e informações sobre comportamento de consumo.

Na experiência relatada por SHANON (1975), a avaliação da contribuição dos detergentes para o fósforo presente nos esgotos envolveu o monitoramento do afluente de uma estação de tratamento de esgotos de pequeno porte do Canadá, implantada para atender uma comunidade militar composta por 150 pessoas.

Foram definidas quatro situações diferentes para análise de acordo com o componente utilizado no detergente, uma das quais com livre utilização de detergentes contendo fósforo, e as três subsequentes com a utilização de substitutos aos fosfatos em suas formulações. Todos os produtos utilizados tinham comercialização regular no Canadá e nos Estados Unidos, sendo que o trabalho foi efetuado da seguinte forma:

- Questionários prévios foram aplicados a todos os envolvidos, para obter informações sobre as quantidades utilizadas dos produtos e, posteriormente à pesquisa, novos questionários foram respondidos visando identificar as preferências dos usuários com relação aos produtos. Foram calculadas estimativas para o aporte de fósforo no esgoto de acordo com os diferentes períodos estudados, com base nas informações coletadas sobre consumo, concentração de fósforo nos produtos e dados de literatura.
- Foram realizadas coletas horárias contínuas ao longo de duas semanas, para cada uma das situações estipuladas, além da composição de seis amostras a cada quatro horas, por dia. Com relação à série de fósforo, foram analisados os parâmetros fósforo total, ortofosfato, fósforo solúvel e polifosfato.

Verificou-se que a substituição do detergente fosfatado resultou numa redução de 24% no fósforo total presente nos esgotos domésticos, durante o período estudado. As maiores diferenças foram observadas com relação ao polifosfato, cuja diferença na concentração chegou a 65%, de acordo com a composição do detergente utilizado, conforme Tabela 6.

Tabela 6: Pesquisa realizada no Canadá – Carga de fósforo nos esgotos e componente utilizado nos detergentes – Kg a cada 2 semanas.

Experimento	Componente do Detergente	Carga Afluyente (kg / 2 semanas)			
		Fósforo total	Fósforo solúvel	Ortofosfato	Polifosfato
1	Ácido nitrilotriacético	8,0	6,5	2,0	1,4
2	Carbonato	8,1	7,0	1,9	1,7
3	Fosfato	15,1	10,0	2,0	4,0
4	Citrato	6,2	5,8	2,4	0,9

Fonte: SHANNON, 1975.

Procedimento similar foi relatado no trabalho apresentado por GILMOUR et al. (2008) em uma sub-bacia hidrográfica da Escócia, no Reino Unido. A pesquisa combina estudo de comportamento de consumo, utilização de dados de literatura, resultados laboratoriais de amostras de esgoto e monitoramento de vazões, dados operacionais e aplicação de questionário ao público-alvo. Seguem algumas informações sobre o projeto e os resultados obtidos:

- O questionário foi aplicado a 113 pessoas, em 47 residências, e teve como objetivo averiguar a disponibilidade de máquinas de lavar roupas, verificar a frequência do seu uso e identificar quais as marcas de produtos utilizadas. Foi estipulado o peso de 88 g de detergente, por residência, por processo de lavagem, para subsidiar o cálculo das contribuições de fósforo.
- Verificou-se que quase 100% dos produtos utilizados na lavagem de roupas

continham fósforo nas formulações, com quantidade em peso na faixa de 2,5%, sendo que em uma das marcas verificou-se a quantidade de 30% em peso. Os resultados indicaram uma contribuição de 0,23 g.P/hab.dia.

- Para as análises laboratoriais, foram coletadas alíquotas horárias de esgoto afluente à estação de tratamento que atende a sub-bacia, em dois períodos de uma semana, com composição de amostras diárias proporcionais à vazão. Foram analisados os parâmetros demanda bioquímica de oxigênio, sólidos suspensos totais, fósforo total e ortofosfato.
- A concentração média de fósforo total situou-se em 13,8 mg.P/L e a de ortofosfato em 8,8 mg.P/L, com resultados mais altos na quinta-feira e no final de semana. A contribuição de fósforo total foi calculada em 2,1 g.P/hab.dia.
- Com base nos dados levantados, verificou-se que os detergentes destinados à limpeza de roupas contribuíam, em média, para 11% do fósforo lançado nos esgotos na área de estudo.

Ao final, os autores sugerem que a mesma verificação seja efetuada em outras bacias hidrográficas do Reino Unido, a fim de verificar a aplicabilidade do modelo adotado. No entanto, conclui-se que a utilização de amostras de esgoto, monitoramento de vazão e verificação do comportamento de consumo através da aplicação de questionários demonstrou ser uma metodologia adequada para identificação das fontes domésticas de fósforo nos esgotos.

4.2.5 Remoção do Fósforo nos Esgotos Sanitários

A função de um sistema de tratamento de esgotos sanitários é reduzir as cargas poluidoras presentes nos esgotos a níveis aceitáveis, de forma a atender as exigências estabelecidas pela legislação vigente, contribuindo para a manutenção e melhoria dos

usos e da qualidade dos corpos receptores e, assim, evitar possíveis efeitos adversos ao meio ambiente e à saúde pública.

Os sistemas de tratamento de esgotos podem ser classificados nos níveis preliminar, primário, secundário ou terciário, de acordo com a eficiência de suas unidades em relação à capacidade de remoção das cargas poluidoras. Enquanto o tratamento preliminar visa a remoção apenas de sólidos grosseiros e areia, o tratamento primário objetiva remover sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. Já o tratamento secundário, ou convencional, é destinado principalmente à remoção da matéria orgânica através da sua mineralização, e dos sólidos em suspensão, e o tratamento terciário, ou avançado, visa remover microorganismos, nutrientes e compostos tóxicos, além dos poluentes não removidos no tratamento secundário (VON SPERLING, 2005).

METCALF & EDDY (2014) acrescentam a esses o nível primário avançado, destinado a aumentar a capacidade de remoção de sólidos sedimentáveis e de matéria orgânica, normalmente através de adição química ou filtração, e o nível secundário com remoção de nutrientes, que além da matéria orgânica e de sólidos em suspensão promove a remoção de nitrogênio e fósforo. Pode-se também, segregar o nível avançado do nível terciário, visto sua utilização para remoção de materiais suspensos e dissolvidos após tratamento biológico, especialmente quando é requerido o reúso da água.

Esta classificação em níveis também pode estar associada às características dos processos e operações adotados, onde o tratamento preliminar e o primário referem-se às operações físicas unitárias, o tratamento secundário refere-se aos processos biológicos e químicos, e o tratamento terciário a uma combinação dos três (JORDÃO e PESSOA, 2011; PAGANINI, 2007; METCALF & EDDY, 2014).

A remoção do fósforo presente nos esgotos sanitários se dá, prioritariamente, nos sistemas denominados terciários ou avançados. Ainda que algumas configurações de tratamento secundário permitam uma considerável redução da concentração de fósforo, a capacidade de remoção desses sistemas situa-se, usualmente, na faixa de 10% a 40%, variando conforme o processo adotado. Por meio do tratamento terciário ou avançado, a taxa de remoção de fósforo pode ser superior a 95%, com capacidade de gerar efluentes com concentração do nutriente da ordem de 0,1 mg.P/L. Com relação ao tratamento primário avançado, a eficiência de remoção de fósforo situa-se na faixa de 75% a 90%, de acordo com a dosagem do coagulante; no entanto, essa opção de sistema tende a não

ser considerada prioritária devido aos elevados custos operacionais decorrentes da utilização de produtos químicos e da taxa de geração de lodo (VON SPERLING, 2005; VOLCHAN JR et al., 2009).

A remoção de fósforo dos esgotos sanitários pode ser composta por métodos físico-químicos ou biológicos. A remoção físico-química envolve a utilização de mecanismos físicos e a adição de produtos químicos aos esgotos, normalmente cal, sais metálicos de alumínio ou de ferro, ou polímeros, promovendo a precipitação do fosfato e a sua adsorção ao lodo. Diversas tecnologias podem ser utilizadas, como coagulação, floculação, sedimentação, filtração ou flotação (VOLCHAN JR et al., 2009).

Os produtos químicos são considerados auxiliares eficientes em processos de sedimentação por precipitação e no desaguamento do lodo. No entanto, acarretam um aumento dos constituintes dissolvidos nos esgotos e, conseqüentemente, da quantidade de lodo gerada. Também, eleva os custos decorrentes da aquisição dos produtos químicos e equipamentos (JORDÃO e PESSOA, 2011; PAGANINI, 2007).

De acordo com VAN HAANDEL et al. (2009), os métodos físico-químicos são empregados atualmente, na maioria dos sistemas de tratamento de esgotos projetados com previsão para remoção de nutrientes, como auxiliares ou complementares dos processos biológicos. Trata-se de uma configuração que demonstra maior eficiência na remoção de fósforo, comparativamente a outras configurações, além de reduzir a quantidade de produtos químicos utilizada, com diminuição dos custos operacionais.

Os métodos biológicos correspondem à remoção através do metabolismo dos microrganismos naturalmente presentes no meio, promovido pela alternância entre as condições aeróbias e anaeróbias. Nesse processo, denominado desfosfatação, o fósforo em excesso presente nos esgotos é incorporado ao lodo presente nos processos de tratamento, e, juntamente com este, descartado (VON SPERLING, 1997; VON SPERLING, 2005; PAGANINI, 2007; VAN HAANDEL et al. 2009; METCALF & EDDY, 2014).

Com base em VON SPERLING (2005), alguns sistemas podem ser citados pelos bons resultados na remoção de fósforo nos esgotos, como:

- Infiltração lenta e rápida;

- Lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e de lagoa de alta taxa;
- Reator anaeróbio do tipo UASB seguido de flotação por ar dissolvido;
- Lodo ativado convencional com remoção biológica de nitrogênio e fósforo; e
- Lodo ativado convencional seguido de filtração terciária.

Acrescentam-se a estes, os sistemas de disposição de efluentes no solo e reúso agrícola (PAGANINI, 1997; PINTO et al., 2009; PIVELI et al., 2009).

Os sistemas de infiltração correspondem a processos onde o solo é o meio utilizado para tratamento e disposição dos esgotos, e a depuração é processada por meio da infiltração e percolação. Por não requerer uso de equipamentos, os sistemas de infiltração são denominados naturais; as taxas de aplicação são controladas, levando-se em conta as propriedades do solo, as condições climáticas e o tipo de cobertura vegetal. Dinâmica similar se dá nos sistemas de tratamento por irrigação (PAGANINI, 1997; VON SPERLING, 2005; VON SPERLING et al., 2009).

Os sistemas de disposição no solo são também processos naturais de tratamento, recomendados para terrenos com baixa permeabilidade; pelo método de escoamento à superfície, o esgoto afluente é tratado através de sua aplicação por aspersores ou tubos perfurados em um plano inclinado, utilizando o sistema solo-plantas como elemento depurador (PAGANINI, 1997).

Também podem ser citados como sistemas naturais com elevada capacidade de remoção de fósforo, os leitos cultivados ou *wetlands*. Neste caso, a disposição controlada ocorre em áreas inundadas ou saturadas por água superficial, e a retirada do fósforo é efetuada por vegetais adaptados a essas condições, que utilizam o nutriente em seus processos metabólicos. De acordo com MOTA e VON SPERLING et al. (2009), a utilização de *wetlands* para o tratamento do esgoto é uma prática que pode ser impactante, devendo ser precedida por outros processos de tratamento, como lagoas de estabilização, tanques sépticos e reatores anaeróbios, dependendo do tipo de *wetland* projetada.

Vale ressaltar no entanto, que para garantir bons resultados, o planejamento de sistemas de disposição no solo deve levar em conta os princípios da engenharia agrônômica, devido à presença de constituintes que podem afetar as condições do solo e a

produtividade vegetal, bem como, da engenharia sanitária, já que algumas regras devem ser observadas a fim de serem evitados problemas ambientais e de saúde pública.

A tomada de decisão com relação ao sistema de tratamento a ser adotado para remoção de fósforo deve levar em conta, além da eficiência requerida, alguns critérios técnicos estratégicos, tais como a extensão de área demandada para implantação do sistema e a expectativa de geração de lodo. A área necessária para implantação de um sistema de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa de alta taxa, por exemplo, pode ser mais de 10 vezes superior à área necessária para execução de um sistema de lodo ativado convencional com filtração terciária; enquanto isso, comparando-se esses dois sistemas, verifica-se que a quantidade de lodo gerada tende a ser duas vezes maior em um sistema de lodo ativado convencional com filtração terciária.

Outro aspecto a ser ponderado é o econômico, já que o custo para implantação, operação e manutenção de sistemas é bastante variável de acordo com o tipo de tratamento, suas características operacionais e a eficiência requerida. Efetuando-se um comparativo entre os sistemas citados anteriormente, é possível verificar que o custo de implantação de uma lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e de lagoa de alta taxa situa-se na faixa de R\$ 50,00 a R\$ 90,00 por habitante, e o custo de operação e manutenção é estimado em R\$ 3,50 a R\$ 6,00 por habitante ao ano. Já em um sistema de lodo ativado convencional com filtração terciária, o custo de implantação é estimado na faixa de R\$ 130,00 a R\$ 190,00 por habitante, e o custo de operação e manutenção, em R\$ 15,00 a R\$ 25,00 por habitante ao ano. Tais diferenças podem representar mais de 300% no custo de implantação, bem como, no custo anual de operação e manutenção, sendo justificadas por alguns pontos, como complexidade do sistema, elevado índice de mecanização, elevado consumo de energia, necessidade de operação sofisticada e geração de grandes quantidades de lodo (VON SPERLING, 2005).

Na Tabela 7, a seguir, podem ser verificadas informações dos sistemas que apresentam bom desempenho na remoção de fósforo, abrangendo a área necessária, a eficiência prevista, o volume de lodo produzido e os custos estimados.

Além das exigências técnicas, econômicas e financeiras, o planejamento da implantação de uma ETE deve também buscar atender aos anseios da comunidade. JORDÃO e PESSÔA (2011) citam que a observação das experiências já vivenciadas em diversos países indica a existência de uma lógica relacionada com a evolução tecnológica na

implantação de estações de tratamento, de acordo com os objetivos propostos, iniciando-se basicamente pelas medidas voltadas para garantia das condições de saúde pública, passando pelas melhorias ambientais, até atingir a manutenção de condições adequadas à população situada no entorno do empreendimento.

Tabela 7: Sistemas com os melhores resultados na remoção de fósforo dos esgotos – eficiência prevista,

Sistema	Eficiência Remoção Ptotal (%)	Área Necessária (m²/hab)	Volume de Lodo (L/hab.ano)		Custos	
			Lodo líquido a ser tratado	Lodo desidratado a ser disposto	Implantação (R\$/hab)	Operação e Manutenção (R\$/hab.ano)
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa - lagoa de alta taxa	50 - 60	2 - 3,5	55 - 160	20 - 60	50 - 90	3,5 - 6
Infiltração lenta	> 85	10 - 50	-	-	20 - 60	1 - 3
Infiltração rápida	> 50	1 - 6	-	-	30 - 70	1,5 - 3,5
UASB - flotação por ar dissolvido	75 - 88	0,05 - 0,15	300 - 470	25 - 75	60 - 90	6 - 9
Lodos ativados convencional com remoção biológica N/P	75 - 88	0,12 - 0,25	1100 - 3000	35 - 90	130 - 190	15 - 25
Lodos ativados convencional - filtração terciária	50 - 60	0,15 - 0,3	1200 - 3100	40 - 100	130 - 190	15 - 25

demanda de área, lodo produzido e custos estimados.

Fonte: VON SPERLING, 2005.

Aponta-se que nas localidades que já apresentam considerável evolução na redução de sólidos em suspensão e de demanda bioquímica ou química de oxigênio, novos desafios são cada vez mais impostos à operação de sistemas de tratamento de esgotos, em função de fatores como variações no crescimento populacional, intensificação no ritmo de urbanização, dificuldades na obtenção de áreas para locação dos sistemas, alterações nas características dos esgotos devido a mudanças no perfil de consumo da população, aumento da conscientização ambiental e intensificação das discussões sobre escassez hídrica. Tais fatores resultam em uma tendência de aumento das exigências para estabelecimento de padrões de lançamento, cada vez mais restritivos, e de incremento nas demandas para reúso dos efluentes tratados, exigindo a busca de alternativas que contribuam para a manutenção do bem-estar e da qualidade de vida da população vizinha às estações de tratamento, como é o caso dos mecanismos para minimização de

odores e melhorias no aspecto visual. A representação esquemática dessa sequência de objetivos e fases pode ser visualizada na Figura 16.

Figura 16: Sequência de objetivos e fases a serem atendidos na implantação de uma ETE.

Fonte: JORDÃO e PESSÔA, 2011.

Além disso, ao longo do tempo, conforme citam METCALF & EDDY (2014, p. 1867), “o esgoto passou a ser encarado como fonte recuperável de recursos”, de forma que alguns desafios e oportunidades passarão a ser considerados pelos gestores de sistemas de esgotos sanitários ao longo das próximas décadas, tais como:

- Busca pela gestão integrada dos sistemas;
- Planejamento de alternativas voltadas para a recuperação de energia e recursos;
- Possibilidade de reúso do efluente tratado para o abastecimento público;
- Avaliação do uso de tecnologias de baixo impacto;
- Análise de projetos sob a ótica do triple bottom line, ou tripé da sustentabilidade, integrando os elementos social, ambiental e financeiro.

Nesse contexto, para a questão do controle de nutrientes, e em especial do fósforo, na medida em que são fomentadas as discussões a respeito da escassez do elemento químico na natureza, sistemas voltados para recuperação e aumento das taxas de retorno ao ciclo tendem a ser cada vez mais considerados necessários.

Historicamente, a atividade agrícola sempre foi considerada uma abordagem viável quando se trata de tratamento dos esgotos e recuperação do fósforo, devido ao potencial uso na fertirrigação de culturas, concomitante com a otimização de custos. Conforme PAGANINI (2008), pode-se citar uma série de benefícios ambientais relacionados com essa prática, como minimização das descargas de esgotos e efluentes em corpos d'água, preservação dos recursos hídricos subterrâneos, evitando-se, por exemplo, a subsidência de terrenos provocada pela retirada excessiva das águas, preservação do solo pela acumulação de húmus e pelo aumento da resistência à erosão, e aumento da capacidade de retenção da água pelo solo em função da elevação da concentração de matéria orgânica no meio.

A aplicação de esgotos e efluentes de ETEs na agricultura é uma prática difundida em diversas localidades do mundo. Em Israel cerca de 80% dos esgotos gerados são aplicados na irrigação, nos Estados Unidos 14 mil ha de culturas são irrigados com esgoto tratado, e na Alemanha, a extensão de culturas irrigadas com esgotos atinge 28 mil ha. Merecem destaque também os casos da China, onde cerca de 1.330 mil ha são irrigados com esgoto e do México, que irriga cerca de 250 mil ha com esgoto, sendo que na capital cerca de 80 mil ha dispõem dessa prática para cultivo de forrageiras e cereais (PAGANINI, 2008; PINTO et al., 2009; PIVELI et al., 2009).

No Brasil, diversos trabalhos conduzidos nos últimos anos pelo Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) são voltados para o desenvolvimento e a experimentação de técnicas para reúso de efluentes visando a economia de recursos naturais, a reciclagem de nutrientes, o aumento da rentabilidade destas atividades e a proteção de corpos d'água, com temas voltados para a possibilidade de uso agrícola. As pesquisas e experiências desenvolvidas em escala real a respeito do uso de efluentes na atividade agrícola demonstram que os resultados são bastante positivos (MOTA e VON SPERLING, 2009).

Entretanto, não obstante as suas vantagens, podem ser verificadas observações a respeito dos possíveis riscos sanitários, especialmente quanto ao controle de patógenos

e vetores, o que muitas vezes pode inviabilizar sua implantação. A prática requer cuidados específicos e a observação de diretrizes microbiológicas e químicas, no sentido de se maximizar a capacidade de assimilação do solo e evitar o risco de acumulação de poluentes. Para tanto, devem ser consideradas as condições específicas de cada localidade, como por exemplo, tipo de cultura plantada, propriedades do solo e suas características morfológicas, clima e precipitação pluviométrica, dentre outros. Fatores sociais e culturais também devem ser considerados, como dietas alimentares, existência de lançamentos de efluentes industriais e condições de saúde da comunidade atendida pelo sistema (HESPANHOL, 2002; PINTO et al., 2009; PIVELI et al., 2009).

De acordo com PIVELI et al. (2009), necessita-se adotar ações de monitoramento e controle, de forma a garantir a segurança dos agricultores e dos produtos, eliminando eventuais efeitos deletérios sobre a qualidade do solo e do lençol freático.

Para PINTO et al. (2009), embora o uso agrônômico do esgoto tratado seja uma importante e viável alternativa para tratamento dos esgotos, a decisão pela sua escolha pode ser considerada bastante complexa, uma vez que além dos aspectos técnicos e legais, requer uma adequada condição organizacional da empresa operadora de saneamento, com vistas à manutenção da confiabilidade operacional do sistema a ser projetado, ao domínio das técnicas de irrigação a serem utilizadas, à realização de acompanhamento e monitoramento periódico das condições do solo e do lençol freático.

De acordo com PAGANINI (2008), a prática do reúso agrícola de esgotos pode ser considerada atualmente um desafio. Somente o entendimento da complexidade de seu mecanismo, e a análise do comportamento e dos efeitos dos componentes dos efluentes no solo permitirá que seja plenamente aceita.

Além do reúso agrícola, podem ser apontadas outras alternativas para recuperação do fósforo presente nos esgotos. O sistema de tratamento de esgotos *Durham Advanced Wastewater Treatment Facility*, localizado em Tigard, no estado norte-americano de Oregon, utiliza desde 2009 uma tecnologia para extração do fósforo presente nos esgotos através da aplicação de magnésio. O sistema está projetado para remover cerca de 90% de fósforo e possui capacidade de produzir 500 ton./ano de fosfato de magnésio amônio (estruvita), cuja fórmula química é $MgNH_4PO_4$, ou MAP, com produção comercial de um fertilizante chamado *Crystal Green* (RANDALL, 2010; CWS, 2014).

As pesquisas relativas à produção de estruvita a partir do fósforo e do nitrogênio presentes no esgoto evoluem na medida em que aumentam as preocupações com relação aos efeitos deletérios da quantidade excessiva de nutrientes lançada nas águas. São alavancadas pela possibilidade de recuperação do fósforo, visto tratar-se de recurso natural finito, e pela perspectiva de utilização do produto para fins comerciais. RANDAL (2010) cita que a precipitação do fósforo como estruvita pode ser considerada uma alternativa desejável sob os pontos de vista econômico e ambiental, mas que requer alguns cuidados operacionais, devido à formação dos cristais, especialmente em equipamentos como centrífugas e bombas, o que pode acarretar aumento dos custos.

PINTO et al. (2009) alertam que os custos envolvidos no processo de produção da estruvita podem reduzir o interesse comercial e afetar a decisão pela sua implementação enquanto alternativa para recuperação do fósforo. Porém, apontam que processos mais viáveis economicamente para remoção do nutriente, à base de alumínio, formam compostos não utilizáveis na agricultura e, portanto, com reduzido valor comercial.

LARSEN e LIENERT (2007) abordam a recuperação do fósforo presente na urina. A *Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology* (EAWAG) opera desde 2006, diversos projetos piloto na Suécia, Suíça, Alemanha, Áustria e Holanda para separação da urina presente nos esgotos e reaproveitamento do fósforo, utilizando a tecnologia denominada *NoMix*. A urina é separada nas residências e acumulada em reservatórios específicos para posterior transporte aos centros de tratamento.

De acordo com estudos efetuados, mais de 50% do fósforo presente nos esgotos pode ter origem na urina, e a proposta é separar a urina da parte sólida dos esgotos sanitários através da instalação de mecanismos específicos nas redes coletoras residenciais e nos vasos sanitários. Os resultados obtidos demonstram a possibilidade de recuperar o fósforo presente no meio, reduzindo a carga do nutriente que chega até as ETEs, além de contribuir para a construção de sistemas de tratamento de menor porte, preparados somente para a redução de sólidos e de matéria orgânica, bem como para a viabilização de processos de tratamento capazes de remover os chamados poluentes emergentes, como os hormônios e os compostos farmacêuticos. Verificou-se a viabilidade na remoção de fósforo, especialmente em regiões com rápido crescimento populacional, em áreas próximas a lagos e em regiões costeiras, porém foram apontadas dificuldades

operacionais relativas ao transporte do material coletado nas residências até os centros de tratamento e à manutenção das condições de funcionamento dos equipamentos pelos usuários (ABDUL NOUR et al., 2006; LARSEN e LIENERT, 2007; RANDALL, 2010; METCALF & EDDY, 2014).

Para GONÇALVES et al. (2006a), tais procedimentos estão alinhados ao denominado “saneamento ecológico”, ou ECOSAN, pois os esgotos sanitários passam a ser reconhecidos como recurso que pode ser reutilizado, e não como resíduo.

CHAO (2006) relata a experiência de remoção de fósforo em estações de tratamento de esgotos que recebem lodo proveniente de estações de tratamento de água (ETAs) que utilizam sulfato de alumínio como coagulante. Sob essas condições, o fósforo presente nos esgotos é removido por adsorção, sendo imobilizado pelo sulfato de alumínio; o fósforo aderido ao material adsorvente pode ser reutilizado, colaborando com a reciclagem do nutriente. Para o setor de saneamento, trata-se de uma alternativa tecnológica para aproveitamento e destinação do lodo de ETAs, utilizado como insumo na remoção do fósforo em ETEs.

Além das técnicas para recuperação do fósforo presente no fluxo líquido que está sendo tratado, muito se discute também a respeito da possibilidade de reaproveitamento da fração do nutriente que, após o tratamento, fica retida nos resíduos originados desse processo, denominado lodo. A quantidade de lodo e a concentração de fósforo nesses resíduos são variáveis em função das características do efluente e dos processos de tratamento adotados. Em processos de tratamento secundários compostos por lodos ativados convencionais, por exemplo, o volume de lodo desidratado a ser disposto situa-se na faixa de 35 a 90 L/hab.ano, com teor de sólidos de 20 a 40%, e concentração típica de fósforo de 5,5% em relação ao teor de sólidos. Já em processos terciários com precipitação química, a quantidade de lodo gerada pode ser até 7 vezes maior, comparativamente aos processos onde a precipitação não é aplicada, caso dos sistemas de lodos ativados (VON SPERLING, 2005; METCALF & EDDY, 2014).

Nas situações de aplicação do lodo de esgoto nas atividades produtivas, como é o caso da agricultura, o termo usualmente utilizado para sua definição é “biossólido”. Busca-se assim, de acordo com VON SPERLING (2005), diferenciar a aplicação produtiva da disposição final considerada improdutivo, situação em que se enquadram o aterro sanitário e a incineração.

Devido à composição predominantemente orgânica, o biossólido possui grande potencial para reciclagem em diversas formas de disposição no solo, como a produção agrícola, a silvicultura, a floricultura, o paisagismo, a recuperação de áreas degradadas, a produção de substratos para cultivo de mudas, a fabricação de fertilizantes e a produção de solos sintéticos. Dentre estas, a utilização para produção agrícola é considerada bastante atrativa tanto economicamente, como ambientalmente, visto tratar-se de alternativa para retorno do fósforo ao seu ciclo natural. Pelas suas características e composição, observando-se sua origem e o processo de tratamento adotado, o biossólido pode auxiliar também no condicionamento do solo, tornando as suas características adequadas ao crescimento vegetal, contribuir para a redução nas quantidades de resíduos encaminhadas para aterros sanitários e promover a redução do consumo de fertilizantes (PESCOD, 1992; ANDREOLI et al., 2001; LOPES et al., 2004).

METCALF & EDDY (2014) destacam que na maioria dos sistemas agrícolas, o biossólido apresenta capacidade de suprir a demanda de fósforo e outros nutrientes necessários ao crescimento vegetal, sendo que em algumas aplicações, dependendo das características dos esgotos, do tipo de tratamento adotado, das condições do solo e do tipo de cultura plantada, observa-se a necessidade de aumentar a concentração de algum dos nutrientes.

Na Tabela 8 podem ser verificados os valores típicos para fósforo e outros nutrientes nos biossólidos e nos fertilizantes comerciais.

Tabela 8: Valores típicos para fósforo e outros nutrientes – Fertilizantes e Biossólidos.

Produto	Nutrientes (%)		
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio
Exemplo de Fertilizante (5:10:10)	5	10	10
Biossólido	3,3	2,3	0,3

Fonte: METCALF & EDDY, 2014.

Resultados promissores de estudos e experiências em escala real a respeito desse assunto, têm embasado a adoção da prática em diversas localidades do Mundo. Em

países como Noruega, França e Dinamarca, por exemplo, o índice de utilização de biossólido em áreas agrícolas era superior a 50% já no ano de 1999; em Portugal, para o mesmo período, cerca de 11% do lodo gerado foi utilizado como biossólido, o que corresponde a cerca de 270 mil toneladas/ano. Nos Estados Unidos, também no final da década de 90, cerca de 33% do lodo de ETE gerado foi utilizado como biossólido, o que corresponde a um volume de aproximadamente 3 milhões ton./ano (ANDREOLI et al., 2001; MELFI e MONTES, 2002; TSUTIYA, 2002; SCHRÖEDER, 2010).

No Brasil, ao longo dos últimos anos, vários estudos e pesquisas foram conduzidos a respeito do uso de biossólido na agricultura e diversos trabalhos foram desenvolvidos através de parcerias entre empresas de saneamento, universidades e institutos de pesquisa. Existem também, algumas experiências em escala real, onde o biossólido produzido foi classificado como produto, com certificação do Ministério da Agricultura, o que possibilitou sua utilização agrícola como condicionador de solo. Entretanto, a legislação que regulamenta o assunto, a Resolução CONAMA nº 375, de 29/08/2006, é considerada bastante restritiva, comparativamente aos padrões estabelecidos na Europa e nos Estados Unidos, o que acaba por dificultar, ou até inviabilizar, a execução desses sistemas (JORDÃO, 2009; PAGANINI, 2009).

O uso do biossólido na agricultura requer, assim como no caso do reúso de esgotos e efluentes, o conhecimento das características físicas, químicas e microbiológicas do solo, e também da composição do material afluentes às estações de tratamento. Tais informações subsidiarão o planejamento do tipo de cultura a ser plantada e a taxa de aplicação do biossólido ao longo do tempo.

Conforme cita PAGANINI (2008), entender o solo como um elemento depurador e o sistema solo-planta como um reator natural renovável, permite entender os resíduos de ETE como uma fonte de energia, produtividade agrícola e sustentabilidade, e não como um problema ambiental.

4.3 Do Sabão ao Detergente: Importância do Produto e Aplicações

A remoção da sujeira é uma preocupação que acompanha o homem desde as épocas mais antigas. Relatos sobre limpeza de moradias, roupas e utensílios confundem-se com a própria história da humanidade, e descrições sobre o uso de sabões remontam ao século XXV a.C.

No ano 1.500 a.C. documento médico egípcio denominado *Ebers Papyrus* descreve a fabricação de sabão com as funções de limpeza e tratamento de doenças de pele. No ano 70 d.C., o historiador romano Plínio, o Velho (23-79 d.C.), relata na obra “História Natural”, o processo para obtenção de sabão duro e mole a partir da mistura de gorduras, cinzas e sal (BARBOSA e SILVA, 1995; RITTNER, 1995; BORSATO et al., 1999; OSÓRIO e OLIVEIRA, 2001; SDA, 2010).

Inicialmente fabricado de forma artesanal, normalmente associada com atividades agropastoris, a disseminação do uso do sabão e sua produção em maior escala ocorreu somente a partir do século XIII, devido à elevada incidência de doenças de ordem sanitária, que culminou com a ocorrência da Peste Negra, no ano 1348, e ao estabelecimento da relação entre presença de microorganismos patogênicos e manutenção de hábitos de higiene e limpeza.

No entanto, o maior avanço na produção de sabões ocorreu no final do século XVIII, em 1791, quando o químico francês Nicholas Leblanc, sintetizou o carbonato de sódio, que era utilizado como álcali, a partir do cloreto de sódio, o sal comum, o que melhorou a qualidade do produto e reduziu o seu custo, tornando-o mais acessível à população. Até então, o carbonato de sódio era obtido através das cinzas de espécies marinhas, sendo que a partir das mudanças adotadas, o uso de sabão deixou de ser considerado um comportamento de luxo para se tornar uma necessidade diária (RITTNER, 1995; BORSATO et al., 1999; SDA, 2010).

O princípio básico da fabricação do sabão permaneceu praticamente inalterado durante mais de 2 mil anos; mudanças importantes no processo ocorreram no início do século XX, e em especial durante a Primeira Guerra Mundial (1914-1918). Nesse período, a demanda por uma solução tecnológica para alguns problemas apresentados pelos sabões

nas lavagens em águas ácidas, como da indústria têxtil, por exemplo, ou em águas duras, estimulou o desenvolvimento de estudos sobre as reações químicas envolvidas na fabricação do produto, o que possibilitou a introdução de melhorias nos processos de hidrólise e hidrogenação, bem como a inserção de novas matérias-primas. Essa fase marcou o início da indústria de detergentes (RITTNER, 1995; BORSATO et al., 1999; OSÓRIO E OLIVEIRA, 2001; SDA, 2010).

Em 1930, foram introduzidos os detergentes sintéticos originados da redução dos óleos vegetais e gorduras animais com o hidrogênio, formando o glicerol e um álcool de cadeia longa, que eram a seguir tratados com ácido sulfúrico concentrado, formando os alquilsulfatos, como por exemplo, o laurilsulfato de sódio, que é utilizado em pastas de dente, xampus e outros cosméticos até os dias de hoje.

O desenvolvimento da indústria de detergentes foi estimulado de forma definitiva com o advento da Segunda Guerra Mundial (1939-1945), quando algumas circunstâncias como escassez de óleos e gorduras, necessidade militar de produção de agentes de limpeza que apresentassem boa eficiência em águas geladas e em águas duras, como as águas do mar, e existência de excedentes de petróleo e seus derivados, com consequente estabilidade de preços, permitiram a introdução dos produtos derivados de petróleo, os denominados alquilbenzenossulfonatos de cadeia ramificada (ABS). Em 1946, foram introduzidos no mercado norte-americano os primeiros detergentes sintéticos contendo fosfato como adjuvante, aumentando de forma considerável a eficiência do produto (RITTNER, 1995; BORSATO et al., 1999; COSMÉTICOS, 2001; OSÓRIO E OLIVEIRA, 2001; SDA, 2010).

Assim, com um processamento baseado em matérias-primas que àquela época eram consideradas baratas e abundantes, como derivados de petróleo, ácido sulfúrico, soda cáustica e fosfato, o mercado dos detergentes sintéticos cresceu em um ritmo bastante acelerado, ocupando gradativamente o lugar dos sabões nos processos de lavagem. Nos Estados Unidos, em menos de 10 anos, as vendas de detergentes haviam superado a de sabões; em alguns países da Europa, nesse mesmo período de tempo, o sabão praticamente deixou de ser comercializado, permanecendo somente na sua forma de banho, ou sabonete (RITTNER, 1995; SDA, 2010).

4.3.1 Modo de Atuação do Detergente

O termo detergente é originário do latim *detergere*, que significa limpar, fazer desaparecer. Designa-se como detergente todo produto capaz de remover resíduos por meio da redução da tensão superficial da água, através da ação de um ou mais tipos de surfactantes.

A palavra surfactante resulta da junção dos termos *surface active agent* e é utilizada para designar o grupo de moléculas que possui capacidade de alterar as interações entre a água e os outros materiais, e que conferem aos detergentes o seu poder de atuação. Todo surfactante é composto por uma parte hidrofóbica, ou lipofílica, não solúvel na água, que na grande maioria dos detergentes corresponde à cadeia longa de carbono, e uma parte hidrofílica, solúvel na água, correspondente ao radical que possui cargas elétricas na extremidade. De forma geral, a ação de um detergente envolve as reações químicas decorrentes do contato da água com o surfactante. O tipo da carga presente na extremidade da molécula do surfactante, se negativa ou positiva, permite a classificação mais utilizada para os detergentes. Quando os radicais possuem carga negativa (ânions), os detergentes são denominados aniônicos, quando possuem carga positiva (cátions), tratam-se dos detergentes catiônicos, quando não possuem carga, são não iônicos, e quando possuem tanto a carga positiva quanto a negativa, são os denominados detergentes anfóteros (McKINNEY, 1976; BARBOSA e SILVA, 1995; RITTNER, 1995; GUERTECHIN, 1999; SDA, 2010).

As diferenças entre as características, formas de utilização e representação estrutural dos diversos tipos de detergentes, quanto aos radicais hidrofílicos, podem ser visualizadas na Tabela 9, a seguir.

Além dos produtos destinados aos processos de limpeza na presença de água, RITTNER (1995) afirma que são considerados também detergentes, os produtos com as funções de umectante, penetrante, germicida, dispersante, amaciante e emulsificante, dentre outros.

Para a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), por exemplo, são designados como detergentes todas as substâncias que tem a finalidade de promover a limpeza e a conservação de superfícies, como por exemplo, detergentes líquidos,

detergentes em pó, alvejantes, amaciantes de tecidos, antiferruginosos, ceras, limpamóveis, removedores e saponáceos, dentre outros. Especificamente para os processos de lavagem, a Agência determina que o composto a ser utilizado deva apresentar algumas propriedades específicas, como capacidade de remoção, dispersão e estabilização dos resíduos das superfícies a serem lavadas (ANVISA, 2011).

Tabela 9: Tipos de detergentes quanto à natureza dos radicais hidrofílicos e suas diferenças.

Tipo	Características	Utilização	Representação Estrutural	Representação Esquemática
Aniônicos	Boa espumabilidade, forte poder detergente, alta remoção de sólidos e baixo potencial de irritabilidade da pele. É o grupo de materiais mais popular e que possui os menores custos.	Produtos para higiene pessoal, como sabonetes em barra e líquidos, espumas de limpeza e cremes. Sabões em barra, detergentes líquidos e em pó, xampus automotivos, limpa-vidros e limpa-carpetes, dentre outros.	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3^- \text{Na}^+$
Catiônicos	Umectante, grande poder de eliminar microorganismos e detergência fraca. Também utilizado como agente de proteção, condicionamento e acabamento de superfícies.	Amaciante de tecidos, condicionadores capilares, xampus, sabões líquidos, germicida, algicida, sanitizante em produtos de limpeza domésticos e em piscinas, inibidores de corrosão.	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{N}(\text{CH}_3)_3^+ \text{Cl}^-$
Não iônicos	Normalmente utilizado juntamente com outros tipos de surfactantes. Baixa toxicidade, ação emulsificante e incremento da detergência especialmente em superfícies oleosas. Redução da formação de espuma.	Cosméticos, inseticidas, detergentes líquidos, óleos para banho, detergentes, xampus e pasta dental. Emulsificação de margarinas, maionese, molhos de salada e sorvetes	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$
Anfóteros	Normalmente utilizado juntamente com outros tipos de surfactantes, em especial os aniônicos, oferecendo viscosidade. Em xampus não irrita os olhos e forma quantidade moderada de espuma.	Xampus infantis, sabões líquidos, enxaguantes e removedor de maquiagem.	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{N}(\text{CH}_3)_2^+ \text{CH}_2 \text{COO}^-$

Fonte: McKINNEY, 1976; BARBOSA e SILVA, 1995; RITTNER, 1995; GUERTECHIN, 1999.

Além da energia química das reações, a atuação do detergente envolve energia térmica e energia mecânica. Assim, o equilíbrio das reações iônicas nas soluções de detergentes pode ser afetado por algumas circunstâncias, como temperatura da água, capacidade de agitação, feita pelas mãos ou por uma máquina, presença de outros íons na água ou na própria composição do produto (RITTNER, 1995; SDA, 2010).

4.3.2 Diferenças entre Sabão e Detergente

De acordo com RITTNER (1995), apesar de haver uma convicção popular de que os sabões e os detergentes sejam produtos bastante diferenciados, ambos possuem a mesma estrutura química básica, composta pelas partes hidrofóbicas e hidrofílicas, que lhe conferem as propriedades tensoativas ou surfactantes.

No entanto, ainda que o sabão seja considerado um detergente, BARBOSA e SILVA (1995) destacam que esse conceito é mais aplicado aos substitutos sintéticos dos componentes do sabão.

A principal diferença entre sabão e detergente reside, assim, na origem das substâncias empregadas na formulação do produto. Os sabões surgem do processo denominado saponificação, que corresponde à hidrólise e neutralização de substâncias orgânicas tensoativas naturais, como óleos e gorduras, por um álcali; a parte hidrofóbica é constituída por cadeias lineares de carbono e a parte hidrofílica possui sempre características aniônicas no meio aquoso, sendo que seu radical é a carboxila. Nos detergentes, são utilizadas substâncias orgânicas tensoativas manipuladas em laboratório, que podem oferecer diferentes características à parte hidrofóbica, de acordo com a finalidade de uso proposta para o produto; a parte hidrofílica também pode possuir diferentes radicais, como por exemplo, os sulfonados, que, em contato com a água, podem adquirir características aniônicas, catiônicas, não iônicas ou anfóteras (RITTNER, 1995; BORSATO, 1999; GUERTECHIN, 1999).

Para efeito ilustrativo, BORSATO et al. (1999) acrescentam que a diferença entre sabão e detergente pode ser comparada à existente entre o algodão e o *nylon*. Ambos possuem a mesma função, porém o algodão tem origem em produtos naturais, enquanto o *nylon* tem origem em indústrias químicas.

Demais diferenças envolvem aspectos relativos à composição e às reações químicas dos produtos e podem ser descritas, sumariamente, da seguinte forma:

- **Quanto à solubilidade:** Os sabões não apresentam boa solubilidade em água

fria e formam compostos insolúveis na presença de cátions como o cálcio, o magnésio e o ferro, que precipitam. Os detergentes formam sais solúveis na presença desses cátions, apresentando maior eficiência em águas duras.

- **Quanto à biodegradabilidade e à formação de espumas:** Os sabões não provocam a formação de espumas nos cursos d'água e são totalmente biodegradáveis; ao entrar em contato com os esgotos, formam complexos insolúveis e precipitam com os sais de cálcio, magnésio e ferro, que são biodegradados pelos microorganismos aquáticos. Nos detergentes, o agente tensoativo utilizado, em especial os alquilbenzenossulfonados, causam a formação de espumas nos corpos d'água receptores de esgotos; os alquilbenzenossulfonados de cadeia ramificada (ABS), requerem um maior tempo para biodegradação pelos microorganismos que utilizam a cadeia orgânica do tensoativo como fonte de carbono, comparativamente ao alquilbenzenossulfonados de cadeia linear (LAS), passando a ser considerado, assim, um agente de poluição das águas.

Além de ocorrer de forma mais lenta, a taxa de biodegradação do ABS fica na faixa de 50% a 80%, enquanto o LAS é 98% a 99% biodegradável. A questão da biodegradabilidade, aliada aos aspectos de custo e desempenho, tornam o LAS o surfactante mais importante comercialmente, tendo aplicação bastante difundida, especialmente em detergentes para uso doméstico em lavanderias. Nesses produtos, o surfactante pode atingir até 70% do peso, em massa. Nos países da América do Sul, esse teor situa-se usualmente na faixa de 17% a 32% do peso, em massa (McKINNEY, 1976; OSÓRIO e OLIVEIRA, 2001).

Apesar das diferenças apontadas, BRAILE e CAVALCANTI (1993), indicam que o principal motivo para substituição dos sabões pelos detergentes relaciona-se com a solubilidade, já que o sabão, sal de base forte, formado por ação de ácido graxo, é insolúvel na água e não apresenta boa eficiência em processos de limpeza cujo pH esteja muito abaixo de 8.

Na Figura 17 a seguir, pode-se visualizar um resumo esquemático da estrutura molecular dos sabões, dos ABS e dos LAS.

Figura 17: Resumo esquemático da estrutura molecular dos sabões e dos detergentes LAS e ABS.

Fonte: BARBOSA e SILVA, 1995; BORSATO et al., 1999.

As diferenças na parte hidrofóbica conferem aos detergentes, condições específicas de atuação na tensão superficial da água e garantem um campo mais amplo de aplicações, oferecendo a possibilidade de ser projetado para atender uma necessidade específica de mercado, podendo atuar em águas com diferentes características e condições físicas, bem como, possibilitando sua utilização nas formas líquida, em pó, em gel ou em creme (McKINNEY, 1976; RITTNER, 1995).

Outra diferença bastante importante entre sabão e detergente, de aspecto negativo, é a capacidade de promover o aumento da produtividade biológica nos corpos d'água. Apesar de alguns pesquisadores questionarem o impacto do fósforo presente nos detergentes para a deterioração dos recursos hídricos, conforme apontam BORSATO et al. (1999), esse componente vem sendo substituído nas formulações dos detergentes, em diversos países, por outras substâncias inorgânicas, como as zeólitas.

Cumprе ressaltar que a questão da substituição do fósforo nos detergentes será abordada de forma detalhada no item 4.4 do presente trabalho.

4.3.3 Principais Tipos e Componentes dos Detergentes

Os detergentes são classificados de acordo com a finalidade de sua utilização, sendo normalmente agrupados em duas grandes classes: detergente para uso industrial, ou institucional, e detergente para uso doméstico.

Enquadram-se como detergentes para uso industrial ou institucional, aqueles destinados à limpeza dos diversos processos produtivos, como das indústrias alimentícia, têxtil, metalúrgicas, automobilísticas e de bebidas, por exemplo, bem como, para utilização profissional em lavanderias, hospitais e empresas especializadas em limpeza de ambientes. Entre os detergentes para uso doméstico, uma nova classificação é efetuada, segregando os produtos de acordo com sua finalidade, da seguinte forma (CORBRIDGE, 1990; HAUTHAL, 2005; SDA, 2010):

- **Limpeza pessoal:** Sabonetes líquidos e em barra, xampus, pastas de dente, cremes para o cabelo, dentre outros;
- **Uso doméstico em lavanderias:** Detergentes líquidos e em pó para máquinas de lavar, removedores de manchas em tecidos e amaciantes;
- **Uso doméstico em cozinhas:** Detergentes líquidos e em pó para lavagem de louças e talheres, com aplicação manual ou automática;
- **Limpeza da casa:** Limpadores de piso, de vidros, de madeiras, de metais e de equipamentos domésticos, como fogões, fornos e geladeiras.

Quando se fala em formulação de detergentes, um importante fator a ser levado em consideração é a diferença nas condições regionais de consumo; cada país ou região pode apresentar composições específicas para os detergentes. Além disso, a indústria de produtos de limpeza é caracterizada pelo dinamismo na introdução de mudanças nos processos e produtos, aliando as demandas de mercado aos avanços tecnológicos.

De acordo com ZOLLER (2009), ainda que novos materiais e formulações sejam

continuamente introduzidos, mudanças são delineadas a partir da perspectiva de aumento da competitividade, da necessidade de criar produtos sustentáveis para obtenção de vantagens comerciais, da instabilidade na dinâmica de mercado dos derivados de petróleo, da evolução das políticas públicas voltadas para a questão ambiental e das próprias exigências dos consumidores.

Os detergentes atuais podem possuir mais de 20 ingredientes, dependendo dos objetivos, da finalidade e dos benefícios esperados. Além dos surfactantes, considerado o principal componente do produto, os detergentes sintéticos possuem os ingredientes básicos (McKINNEY, 1976; BORSATO et al., 1999; OSÓRIO e OLIVEIRA, 2001; GLENNIE et al., 2002; HAUTHAL, 2005; SHOWELL, 2006; SDA, 2010):

- **Aditivos auxiliares do processo, reforçadores e *builders*:** Auxiliam na melhoria do desempenho do surfactante, condicionando o sistema para o aumento da função de detergência. Promovem a redução da dureza das águas, o aumento da alcalinidade, a melhoria da solubilização dos componentes, a redução da redeposição da sujeira e o auxílio na absorção dos surfactantes. *Builder* é um termo genérico usado para os materiais cuja função primária é a remoção dos íons de cálcio e magnésio, causadores da dureza das águas.
- **Reguladores de Espuma:** Promovem o controle da quantidade de espumas, atuando como supressores ou como estabilizadores. Para a utilização doméstica, os efeitos de formação e estabilidade da espuma são desejados pelo seu caráter estético, sendo normalmente relacionados pelos consumidores com o nível de eficiência. Para uso industrial, em processos que envolvem agitação ou turbulência, a formação de espuma pode prejudicar sistemas de bombeamento e circulação.
- **Materiais de enchimento ou carga:** Substâncias inertes, que não interferem na função de detergência e na performance. São utilizadas para dar volume ao produto, principalmente nos detergentes em pó, contribuindo para a redução de custos. São exemplos de material de enchimento os silicatos metálicos, como talco e caulim, a bentonita e o amido.

- **Aditivos com funções específicas:** Substâncias utilizadas normalmente em pequenas quantidades, que auxiliam no desempenho e aceitação comercial do detergente. Nessa categoria, podem ser citados os espessantes (oferecer viscosidade), agentes anti redeposição (manter a sujeira em suspensão), alvejantes (remover manchas), branqueadores ópticos (aumentar a alvura e o brilho de tecidos), inibidores de corrosão (proteger as partes metálicas de máquinas de lavar), agentes antimicrobianos (proteger contra microorganismos causadores de doenças ou odor), agentes antiaglomerantes (evitar a formação de blocos em situações de compactação ou absorção de água pelo produto, especialmente detergentes em pó), perfumes (tornar o uso mais agradável), corantes (conferir tonalidade azulada ao tecido lavado), enzimas (auxiliar na remoção de manchas específicas, como gordura e proteínas), solventes (remover matéria orgânica e não deixar resíduos) e abrasivos (auxiliar na limpeza de superfícies).

Dentre esses constituintes, o *builder* é considerado um dos mais importantes; sua contribuição para a eficiência de detergente sintético é normalmente equiparada à do surfactante. A presença de um *builder* adequado é fundamental para que o detergente tenha melhores resultados, especialmente em águas duras, ambiente que permite a formação de precipitados insolúveis e dificulta a espumação (McKINNEY, 1976; RITTNER, 1995; FRIEDMAN, 2004; ZOLLER, 2004; HAUTHAL, 2005; SHOWELL, 2006; GPF, 2011).

De acordo com ZAPPONE et al. (2009), a dureza das águas é fator determinante para a formulação de um detergente. Em locais onde a dureza das águas é considerada baixa ou moderada, com até 150 p.p.m. de sais alcalino-terrosos, como cálcio e magnésio, detergentes com alta concentração de surfactantes e baixa concentração de *builder* podem ser adequados. Nas áreas com índices elevados de dureza das águas, são necessárias concentrações mais elevadas de *builders* para manter a eficiência do detergente. Ou seja, nas águas duras, o *builder* adequado é fundamental para o processo de detergência e limpeza.

A concentração ou nível de utilização de um *builder* pode variar de acordo com o tipo de detergente e com o país de comercialização, sendo que sua utilização é bastante

difundida em produtos destinados à lavagem de roupas, à lavagem de louças e talheres, e ao uso industrial ou institucional. Em um detergente em pó para uso doméstico em lavanderias, por exemplo, a concentração do *builder* pode chegar a até 70% do peso do produto, em massa (RITTNER, 1995; HAUTHAL, 2005).

Diversos produtos podem ser utilizados como *builder*, como as zeólitas, que são aluminosilicatos sintéticos que têm origem na alumina e no silicato de sódio alcalino, o ácido policarboxílico (PCA), o ácido etilenodiaminotetracético (EDTA), o ácido nitrilotriacético (NTA) e os silicatos. No entanto, os fosfatos são considerados os mais importantes, especialmente por aliar alto desempenho e alta eficiência aos aspectos de baixa toxicidade, baixo custo, baixa corrosividade, multifuncionalidade e elevada compatibilidade com diversas metodologias de processamento (RITTNER, 1995; GLENNIE et al., 2002; HAUTHAL, 2005; GPF, 2011).

Na Tabela 10, abaixo, pode-se visualizar exemplos de formulações básicas de detergentes utilizados domesticamente em países da Europa, permitindo a comparação do nível de utilização do *builder* em diferentes tipos de produtos.

A Tabela 11, a seguir, apresenta um comparativo dos componentes básicos e das concentrações de *builder* nos detergentes em pó para uso doméstico em lavanderias, para limpeza de tecidos, em diversos países e regiões.

Tabela 10: Formulações típicas de diferentes detergentes na Europa.

Ingredientes	Composição (% em relação ao peso do produto)					
	Detergentes em Pó - Roupas	Detergentes Líquidos - Roupas (*)	Lava-Louças - Uso Manual (*)	Lava-Louças Granulado - Uso Automático	Limpadores de Pisos	Limpadores de Superfícies (*)
Água	5 - 15	30 - 50	-	-	até 100	-
Surfactante	10 - 25	6 - 25	10 - 25	10 - 15	10 - 20	5 - 9
Builders	30 - 63	15 - 30	-	45 - 60	-	0 - 3
Carga e Auxiliadores	0 - 30	-	-	15 - 25	-	-
Branqueadores ópticos	8 - 22	0,05 - 0,25	-	-	-	-
Enzimas	0,3 - 2	0 - 1,5	-	1 - 1,5	-	-
Solubilizadores	-	0 - 5	0 - 7	-	-	-
Álcool	-	0 - 5	-	-	-	-
Agente anti-alérgico	-	-	10 - 25	-	-	-
Agente anti-microbiano	-	-	0 - 2	-	-	-
Agente anti-redeposição	0 - 1	-	-	-	-	-
Protetor de metais	-	-	-	0,25 - 0,5	-	-
Reguladores de espuma	0,1 - 4	-	-	1 - 2	-	-
Solventes	-	-	-	-	10 - 20	0 - 5
Cera	-	-	-	-	0 - 5	-
Polímeros	-	-	-	-	0 - 5	-

(*) Formulações convencionais, não concentradas.

Fonte: HAUTHAL, 2005.

Tabela 11: Componentes básicos e concentração de *builder* em detergentes em pó para uso doméstico em lavanderias, em diversos países e regiões.

Ingredientes	Composição (% em relação ao peso do produto)				
	Estados Unidos	América do Sul	Europa	China e Índia	Japão
Água	5 - 15	5 - 15	5 - 15	5 - 15	5 - 15
Surfactante	10 - 25	18 - 25	10 - 25	8 - 18	25 - 40
Builders	40 - 70	40 - 55	30 - 63	30 - 50	40 - 60
Carga e Auxiliadores	5 - 30	20 - 35	0 - 30	20 - 40	5 - 15
Branqueadores ópticos	0 - 13	-	8 - 22	-	0 - 9
Enzimas	0,3 - 2	0,3 - 0,8	0,3 - 2	0,3- 0,8	0,3 - 1,5
Agente Anti-redeposição	1 - 2	0,5 - 1	0 - 1	0,5 - 1	0,5 - 1
Reguladores de espuma	-	-	0,1 - 4	-	-

Fonte: HAUTHAL, 2005.

As formas de fósforo mais utilizadas nos detergentes são a de fosfato trisódico (TSP), tetrapirofosfato de sódio (TSPP), tripolifosfato de sódio (STPP), hexametafosfato de sódio e tetrafosfato de sódio, sendo que o STPP, fórmula $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, é considerado a forma mais importante devido ao elevado poder de abrandamento, ao baixo pH em solução, ao baixo poder higroscópico, ou seja, de absorção da água, e à alta solubilidade (McKINNEY, 1976; RITTNER, 1995; HAUTHAL, 2005; ZAPPONE et al., 2009).

A capacidade de reduzir a dureza das águas, o comportamento no meio ambiente e a aceitação dos consumidores devem ser considerados fatores chave na escolha do *builder* a ser utilizado na formulação do detergente. Também devem ser consideradas algumas estruturas das máquinas de lavar tipicamente utilizadas pela população, como posicionamento da abertura, mecanismo de agitação e equipamento de dosagem dos produtos.

A Tabela 12, a seguir, apresenta uma estimativa para a concentração de *builder* conforme processos de lavagem de roupas em diferentes localidades.

Tabela 12: Concentração de *builder* nos detergentes e dureza das águas, em diferentes localidades.

	Japão	Estados Unidos	Oeste da Europa	Israel
Dureza da água (ppm CaCO ₃)	50	100	200	350
Consumo de água no ciclo de lavagem (L)	30	60	18	18
Dosagem de detergente no ciclo de lavagem (g)	20	60	72	40
Consumo de detergente (g/L)	0,67	1,00	4,00	2,22
Concentração de builder no detergente (% em peso)	50	55	55	60
Consumo de builder (g/L)	0,33	0,55	2,20	1,33
Quantidade de builder / dureza da água (mg/ppm CaCO ₃)	6,70	5,50	11,00	3,80

Fonte: FRIEDMAN, 2004.

A relação entre quantidade de *builder* utilizada e dureza da água, valor expresso em mg/ppm CaCO₃, pode ser considerada como um fator chave para uma satisfatória performance do processo de lavagem de tecidos (FRIEDMAN, 2004).

4.3.4 Dureza das Águas e Importância do Detergente

Dureza corresponde à capacidade da água de precipitar sabões, que se transformam em complexos insolúveis, dificultando o banho e a lavagem de utensílios domésticos e roupas. Visualmente, a dureza pode ser identificada pela incapacidade de formar espuma (PEREIRA et al. 1987).

A característica de dureza da água é decorrente da presença em excesso de sais alcalino-terrosos, especialmente cálcio e magnésio, e alguns cátions associados a ânions carbonato e sulfato, como ferro, manganês, estrôncio, zinco e alumínio, dentre outros. PIVELI e KATO (2005) apontam que bicarbonato de cálcio, bicarbonato de magnésio, sulfato de cálcio e sulfato de magnésio podem ser considerados os principais compostos que conferem dureza às águas.

Quando os sais presentes no meio são os bicarbonatos, a dureza é denominada

temporária, podendo ser eliminada pela ação do calor, como por exemplo, pela fervura; por este motivo, é comum incrustar-se em chuveiros, destiladores e outros sistemas de água quente. Quando são os sulfatos, e outros sais, como cloretos e nitratos, a dureza é denominada permanente. Ambas são resistentes à ação dos sabões, denominando-se como dureza total, a somatória da dureza temporária e da permanente (PEREIRA et al., 1987; PIVELI e KATO, 2005).

A principal fonte natural de dureza nas águas é a dissolução da rocha calcária, o que torna maior a sua ocorrência em águas subterrâneas, comparativamente às águas superficiais. Nestas, a principal fonte de dureza é a atividade industrial (PIVELI e KATO, 2005; VON SPERLING, 2005).

São diversos os graus de dureza, partindo da denominada água branda até a água muito dura, sendo que na Tabela 13 pode ser visualizada a escala utilizada internacionalmente para representação da dureza, de acordo com a concentração em miligramas por litro (mg/L) de carbonato de cálcio (CaCO_3).

Tabela 13: Graus de dureza das águas.

Concentração (mg/L CaCO_3)	Grau de Dureza
Abaixo de 75	Branda ou mole
75 – 150	Moderadamente dura
150 – 300	Dura
Acima de 300	Muito dura

Fonte: PIVELI e KATO, 2005.

Para ilustrar a importância do fósforo para a eficiência de um detergente em pó destinado à limpeza de roupas, em águas com diferentes níveis de dureza, RITTNER (1995) apresenta um comparativo do comportamento do produto com e sem a sua utilização. A adição de 1 g de STPP por litro de detergente em águas com até 300 p.p.m., nível de dureza considerado elevado, permite que a eficiência do surfactante mantenha-se muito próxima de 100%, situação que não ocorre quando não é adicionado STPP ao produto. Em locais onde a dureza das águas é considerada baixa ou moderada,

com até 150 p.p.m., a eficiência do detergente apresenta uma redução brusca quando não é utilizado STPP. Tal situação pode ser visualizada graficamente na Figura 18.

Figura 18: Eficiência do surfactante em relação à dureza da água, com e sem a utilização de STPP.

Fonte: Adaptado de RITTNER, 1995.

A questão da dureza das águas é um problema bastante acentuado nos Estados Unidos e na Europa onde muitas regiões estão sujeitas a graus elevados de dureza nas águas devido à composição do solo. No Brasil, o mapa geológico indica algumas regiões que apresentam solos com características de dureza nas regiões nordeste, centro-oeste e sudeste (PIVELI e KATO, 2005).

Nas águas subterrâneas, situações de elevada dureza das águas foram identificadas nas regiões de ocorrência de rochas calcárias, citando-se o sistema aquífero Bambuí, pertence à Bacia Sedimentar do São Francisco, que inclui partes dos estados de Minas Gerais, Bahia, Tocantins e Goiás, o aquífero Beberibe, que compreende os

estados de Pernambuco e Paraíba, e o aquífero Jandaíra, situado no Rio Grande do Norte (ZOBY e OLIVEIRA, 2005).

Sob o ponto de vista sanitário, o grau de dureza das águas reflete na qualidade das águas devido à sua relação com o aumento no consumo de sabão, em decorrência da necessidade de melhorar a eficiência do produto e auxiliar na formação de espuma. Além disso, possui relação com o incremento do uso de componentes destinados a melhorar o desempenho dos detergentes em águas duras, que é o caso dos *builders*.

4.3.5 Mercado de Detergentes no Brasil

O mercado de produtos de limpeza no Brasil apresentou no ano de 2012, um faturamento de R\$ 14,9 bilhões, registrando um crescimento de 2 a 3 pontos percentuais acima do Produto Interno Bruto (PIB), e uma expansão de 10,4% com relação ao faturamento do ano anterior. Com esses resultados, o Brasil colocou-se em quarto lugar dentro do mercado mundial de produtos de limpeza, estando atrás dos Estados Unidos, da China e do Japão (ABIPILA, 2013).

O detergente para lavagem de roupas é apontado pela Associação Brasileira de Produtos de Limpeza (ABIPILA) como “destaque de popularidade nos lares brasileiros”, sendo a única categoria a registrar um faturamento superior a R\$ 4 bilhões no ano de 2012, o que representa cerca de 27% do faturamento total do setor (ABIPILA, 2013, p. 125).

No período entre 2008 e 2012, a variação no crescimento do mercado de detergentes para roupas no Brasil foi de 20,1%, sendo ampliado de cerca de 684 ton. para cerca de 822 ton. ao ano. Quanto ao faturamento, o crescimento registrado foi de 32,6%, com alteração de aproximadamente R\$ 3,2 milhões em 2008, para R\$ 4,2 milhões em 2012.

Na Figura 19, pode ser verificada a evolução no faturamento e no volume comercializado de detergentes para roupas no Brasil, no período de 2008 a 2012.

Figura 19: Evolução no faturamento e no volume de detergentes para limpeza de roupas, comercializados no Brasil – De 2008 a 2012.

Fonte: ABIPLA, 2013.

O mercado de detergente em pó para roupas no Brasil está posicionado na liderança entre as categorias de produtos de limpeza, com 99,1% de penetração nos lares, e gasto anual médio da ordem de R\$ 86,36 por consumidor. O potencial de crescimento dessa categoria é classificado como de estabilidade ascendente e os dados do período de 2007 a 2012 demonstram uma evolução da ordem de 20% no consumo *per capita*, com volume de vendas alterado de 4 para 5 kg/hab.ano entre 2007 e 2012, conforme Figura 20 (ABIPLA, 2008; ABIPLA, 2009; ABIPLA, 2010; ABIPLA, 2011; ABIPLA, 2013).

Figura 20: Consumo *per capita* de detergentes para roupas no Brasil – De 2007 a 2012.

Fonte: ABIPLA, 2008; ABIPLA, 2009; ABIPLA, 2010; ABIPLA, 2011; ABIPLA, 2013.

De acordo com a Associação Brasileira de Supermercados (ABRAS), a ampliação no mercado de detergentes em pó no Brasil tem sido favorecida pela redução de impostos da linha branca, pelo aumento da renda e pelo maior acesso da população às linhas de crédito, fazendo com que mais pessoas comprassem máquinas de lavar roupa (ABRAS, 2013).

No entanto, o setor enfrenta o importante desafio de combater a informalidade, situação que atinge 7,7% do mercado de detergentes em pó, um número que pode ser considerado alarmante, tendo em vista o elevado volume comercializado do produto. Essa questão vem sendo tratada pela ABIPLA, que em 2012 adotou o assunto como uma das frentes prioritárias de trabalho, passando a fazer parte do Programa Movimento Limpeza Consciente e do Programa de Mobilização para a Regularização de Empresas do Setor de Saneantes (ABRE, 2009; ABIPLA, 2013).

4.4 Regulamentação do Uso de Fósforo nos Detergentes

De acordo com a entidade belga denominada *Global Phosphate Forum* (GPF), criada com o objetivo de promover debates sobre o uso sustentável do fósforo, a utilização do fosfato foi um fator fundamental para o desenvolvimento e comercialização dos detergentes modernos, especialmente dos produtos em pó destinados à limpeza de tecidos (GPF, 2011).

A esse fato, RITTNER (1995) acrescenta que a utilização de fósforo como auxiliar no processo de lavagem contribuiu para o acentuado desenvolvimento da indústria de detergentes sintéticos para roupas após a Segunda Guerra Mundial, e para a consequente produção em larga escala do produto.

Além de atuar como *builder*, promovendo a redução da dureza das águas por meio de reações de precipitação ou sequestro dos íons de cálcio e magnésio, outra função atribuída ao fósforo nos detergentes destinados à limpeza de tecidos, é a de evitar a redeposição de sais insolúveis, reprimindo a atuação de outros íons que poderiam afetar a estabilidade das emulsões. Possui ainda, capacidade de elevar o pH da solução, tornando o meio mais alcalino e mais adequado ao processo de limpeza, oferecendo um efeito denominado “tampão” (ROSSIN, 1981; RITTNER, 1995; BORSATO et al., 1999; ZAPPONE et al., 2009).

Tal condição técnica é reforçada por SHOWELL (2009), que afirma que, para os detergentes destinados à limpeza de roupas, soma-se à atuação no controle da presença de íons de cálcio e magnésio, a função do fósforo também em outros aspectos considerados fundamentais no processo de lavagem, como dispersão, suspensão, antirredeposição das partículas e anti incrustação.

Durante muitos anos, as propriedades do fósforo, aliadas ao baixo custo de fabricação e toxicidade praticamente nula, fizeram com que algumas localidades passassem a utilizar os fosfatos nos detergentes em pó também como material de enchimento. Na ausência de fósforo, seria necessário aumentar a concentração de componentes como os surfactantes, ocasionando um impacto nos custos, tanto para os fabricantes como para o consumidor final (KNUD-HANSEN, 1994; RITTNER, 1995; HAUTHAL, 2005).

Estudos realizados na Alemanha no final de década de 1970, apresentados por BAUER (2004), demonstram que de um total de 69 mil toneladas de STPP que eram destinadas à indústria de detergentes, 60 mil toneladas foram utilizadas para fabricação desse tipo de produto, 5 mil toneladas para produtos industriais ou institucionais e 4 mil toneladas para produtos destinados à limpeza de louças e talheres em processos mecanizados, o que corresponde a 87%, 7% e 6% do total produzido, respectivamente.

Estudos publicados por HAUTHAL (2005) indicam que, da quantidade total de STPP produzida e utilizada pela indústria de produtos de higiene e limpeza, estima-se que cerca de 70% seja destinada aos detergentes para uso em lavanderias, para lavagem de roupas. Do volume total restante, 15% são destinados aos produtos para lavar louças e talheres em processos mecanizados e 15% aos produtos denominados institucionais.

4.4.1 Contexto Histórico

No início da década de 1960, a indústria de produtos de limpeza, antes focada somente na eficiência e na eficácia dos produtos, passou a ser pressionada a incorporar a preocupação ambiental às questões técnicas previstas em seus processos produtivos.

Episódios de formação de espuma em rios e lagos de diversas regiões provocaram discussões a respeito da formulação dos detergentes. Produtores da Europa, pressionados por órgãos governamentais, passaram a modificar a formulação dos produtos e a utilizar componentes biodegradáveis, como os alquilbenzenosulfonados de cadeia linear, ou LAS; problemas relacionados com a eutrofização contribuíram para as discussões relativas à participação dos detergentes nos processos de poluição das águas e subsidiaram as discussões a respeito dos impactos ambientais do ciclo dos nutrientes (DEVEY e HARKNESS, 1975; BRANCO e ROCHA, 1987; GLENNIE et al., 2002).

Nos Estados Unidos e Canadá, os constantes episódios de florações de algas na região dos Grandes Lagos, em especial do Lago Erie, e o agravamento dos efeitos negativos decorrentes da eutrofização, fomentaram inúmeros estudos e pesquisas a respeito da

relação entre fósforo nos esgotos e uso de detergentes, e subsidiaram a formalização de Acordos de Cooperação no decorrer das décadas seguintes. Sob a égide do *Boundary Waters Treaty*, assinado em 1909, que visa promover atividades partilhadas entre os dois países na busca pela garantia das condições qualitativas dos Grandes Lagos e demais corpos d'água situados na região fronteiriça, a organização binacional IJC indicou em seu relatório datado de 1969, a necessidade de regulamentação do uso de fósforo nos detergentes (IJC, 1969; SHANNON, 1975; SCHMIDTKE, 1980; IJC, 1980; IJC, 2014).

De forma concomitante, ocorreram importantes debates ambientalistas durante as décadas de 1960 e 1970, a exemplo da Conferência de Estocolmo, em 1972. Esses eventos atraíram a atenção para o problema da adequação da oferta de recursos naturais limitados para sustentar os padrões de consumo e produção. Livros como *The Limits to Growth*, de Donella Meadows, e *Silent Spring*, de Rachel Carson, tornaram-se *best sellers*, e promoveram a abertura para inclusão do público leigo no debate científico a respeito das questões ambientais, ampliando o espectro da discussão de assuntos que antes eram pauta somente em fóruns acadêmicos (CORAZZA, 2005).

FRIEDMAN (2004) ressalta que o pico evolutivo dessas discussões ocorreu na década de 1980, quando, em diversos países, os consumidores passaram a exigir mais qualidade e eficiência, tanto do detergente em si como de sua embalagem, e menos impactos à saúde e ao meio ambiente, passando a optar por produtos que causassem menores prejuízos ao equilíbrio ecológico.

Além de mudanças nas exigências dos consumidores com relação às funções do produto e à adequada destinação de seus resíduos, também as formas de sua utilização e consumo foram alteradas em função das preocupações com o meio ambiente, pressionando para a redução nos níveis de exploração de bens naturais como água e energia. Novas matérias-primas e tecnologias passaram a ser empregadas, promovendo a racionalização do uso de recursos naturais, o emprego de materiais renováveis e o controle da geração de resíduos, bem como, a adoção de ações para reutilização e reciclagem, contribuindo, assim, para a implementação de medidas de prevenção da poluição.

Essa mudança de postura, de acordo com CORAZZA (2005), pode ser considerada uma das mais importantes características do ambientalismo moderno. O acesso às

informações científicas e o apoio dos meios de comunicação, fez com que os mais diversos atores sociais fossem incorporados nos debates, e ao ser utilizada também como instrumento de negociação política, a questão ambiental passou a ser incluída como pauta nas esferas decisórias.

À discussão ambiental acerca da sustentabilidade dos recursos naturais, foram incluídos temas das mais diversas áreas, como expansão urbana, industrialização, produção de alimentos, exploração econômica, desenvolvimento tecnológico, mudanças de valores e costumes, religião, influência política e legislação. Todos esses aspectos foram identificados como componentes de uma complexa interação, que analisada sob a ótica da termodinâmica, como a Lei da Entropia, deu origem ao termo “economia ecológica” (CORAZZA, 2005; CECHIN e VEIGA, 2010).

A partir do pressuposto de que a exploração de recursos naturais e a geração de resíduos, movimentos considerados de baixa entropia, são inerentes à atividade econômica, a denominada “economia ecológica” implica em reconhecer a diferença entre os fluxos de matéria e energia que entram e que saem do processo produtivo, bem como, a sua diferença qualitativa, a qual tende a ser irreversível. Busca-se assim, dimensionar as interações da atividade econômica com o ecossistema, considerando todos os elementos, de forma integrada e num mecanismo considerado complexo, como uma “teia”. Tendo em vista a finitude das matérias-primas, a economia ecológica leva em conta todos os custos sociais e ambientais envolvidos no processo econômico, não apenas os custos monetários (CECHIN e VEIGA, 2010).

Nesse contexto, as discussões relativas ao uso de STPP nos detergentes foram direcionadas inicialmente para os impactos sobre a qualidade das águas, para posteriormente, serem agregadas outras questões, como a necessidade de redução do consumo e a importância do “fechamento” do ciclo do nutriente. Tal postura acabou por demandar a implementação de ações voltadas para mudanças no comportamento de consumo e para recuperação e reciclagem do nutriente, visando, desta forma, garantir a sustentabilidade das reservas naturais e contribuir para a manutenção da qualidade de vida das atuais e das futuras gerações.

A despeito da importância tecnológica e econômica do STPP para a indústria de produtos de limpeza, a evolução nos estudos sobre ecologia, aliada a fatores sociais, políticos e legais, como o aumento no consumo de produtos de limpeza, mais

especificamente de detergentes destinados à limpeza de roupas, o incremento da conscientização ambiental por parte da população e o maior rigor por parte de órgãos responsáveis pelo controle da poluição, impulsionaram as discussões a respeito dos impactos ambientais decorrentes do uso de fósforo nos detergentes e dos seus efeitos regionais e globais, dando início a debates sobre a relação entre concentração populacional, consumo e meio ambiente, pressionando o setor produtivo para a implementação de melhorias (FRIEDMAN, 2004).

4.4.2 Panorama Mundial e Tendências do Uso de Fósforo nos Detergentes

Não obstante diversos estudos apontem para a importância da substituição do fósforo nos detergentes, parte da indústria defende a sua manutenção. O principal argumento utilizado é o desempenho do produto, pois, ainda que diversos compostos possam ser utilizados como *builders* em detergentes, defende-se que nenhum deles é capaz de substituir, sozinho, o STPP na mesma condição de eficiência e custo.

Em substituição ao fosfato, utiliza-se uma combinação de diferentes ingredientes, além de, normalmente, um reforço na concentração de surfactantes, enzimas e carbonato de sódio. Como no caso do STPP não é necessária a combinação de diferentes tipos de ingredientes para que se atinja um alto grau de eficiência do detergente, independentemente das condições regionais de comercialização do produto, há uma redução dos custos de produção. As zeólitas, por exemplo, que são os substitutos mais promissores do STPP, possuem uma eficiência reduzida no sequestro dos íons de magnésio, sendo que sua utilização é normalmente combinada com um ou mais ingredientes, como o carbonato de sódio, o ácido policarboxílico, o ácido etilenodiaminotetracético, o ácido nitrilotriacético e os silicatos, como o silicato de sódio (CORBRIDGE, 1990; RITTNER, 1995; GLENNIE et al., 2002; ZAPPONE et al., 2009; GPF, 2011).

Outro argumento utilizado em favor da manutenção do fósforo como *builder* é a sua alta capacidade de biodegradabilidade e ausência de toxicidade, enquanto alguns de seus

substitutos possuem efeitos ambientais ainda pouco investigados. Estudos avaliam se os PCAs e EDTAs podem apresentar baixa biodegradabilidade, e se os NTAs podem reagir com metais, de forma a serem inseridos na cadeia alimentar, tornando-se agentes carcinogênicos (RITTNER, 1995; GPF, 2011).

Diversos pesquisadores defendem ainda, que no tocante à eutrofização, somente a implantação dos denominados sistemas terciários ou avançados para tratamento seria suficiente para reduzir o aporte de fósforo nas águas pelas fontes urbanas, de forma a refletir em melhorias na qualidade das águas. Argumenta-se que tais sistemas poderiam, por si só, remover o fósforo presente nos esgotos de maneira eficiente, tornando desnecessária a redução da parcela proveniente dos detergentes. Destacam que a substituição do fósforo nesses produtos por materiais alternativos é bastante complexa, em função da necessidade de manutenção das mesmas condições de custo e eficiência do produto ao consumidor final.

Entretanto, como resultado das discussões e estudos desenvolvidos ao longo dos anos a respeito da contribuição dos detergentes para a eutrofização, e do consequente aumento das demandas para substituição do fosfato por outros *builders*, atualmente diversos países baniram ou restringiram sua utilização, conforme anteriormente abordado no item 4.1.2 do presente trabalho.

Deve-se observar, portanto, que a plena substituição do fósforo nos detergentes envolve, além de questões econômicas, mercadológicas e sociais importantes, também incertezas relacionadas com a introdução de novos elementos químicos, cujos resultados das interações com o meio ambiente, a médio e longo prazo, ainda estão sendo estudados. Tal fato, entretanto, não pode impedir a evolução no desenvolvimento de produtos e tecnologias que permitam substituir o fósforo nos detergentes, minimizando os riscos de efeitos deletérios desse produto de limpeza no meio ambiente e inserindo alternativas que garantam a qualidade de vida da atual e das futuras gerações.

Trata-se de uma complexa conjunção de fatores econômicos, ambientais, sociais, tecnológicos, legais e políticos, além de incertezas científicas relacionadas com a introdução de novos elementos químicos, em substituição à utilização do fósforo, cujos resultados das interações com o meio ambiente e seus efeitos no médio e longo prazo, estariam sendo ainda estudados.

No Japão, em substituição ao STPP, utiliza-se atualmente uma combinação de zeólitas,

PCAs e carbonato de sódio. Em países do sul da Ásia, os dois *builders* coexistem. No norte da Ásia, América Latina, África e Austrália, o STPP é usualmente utilizado nos detergentes (GLENNIE et al., 2002; HAUTHAL, 2005; ZAPPONE et al., 2009).

Na Figura 21 pode ser visualizado o panorama global e resumido da utilização dos diferentes *builders* em detergentes destinados à limpeza de tecidos, conforme dados disponíveis para o ano de 2005.

Figura 21: Panorama mundial dos *builders* utilizados em detergentes destinados à limpeza de roupas nos diferentes países, em 2005.

Fonte: HAUTHAL, 2005.

Na Comunidade Europeia, de acordo com dados levantados pela Comissão que estudou o assunto, e apresentados em EUROPARL (2011), o nível de aplicação de fósforo nos detergentes para roupa era bastante variável nos 25 Estados-Membros até o ano de 2006, em função das diferenças nos graus de dureza da água e das evoluções verificadas ao longo dos anos nas legislações de cada localidade. Na Tabela 14, pode ser visualizado o número de habitantes e o percentual de detergentes sem fosfato comercializado nos diferentes Estados-Membros.

Tabela 14: População e percentagem de utilização de detergentes para a roupa sem fosfatos nos Estados-Membros da UE 25.

Estado-Membro	População (milhões)	% Detergentes sem fosfatos
Bélgica	10,4	100
República Checa	10,2	35
Dinamarca	5,4	80
Alemanha	82,5	100
Estónia	1,3	20
Grécia	11,0	50
França	59,9	50
Irlanda	4,0	100
Itália	57,8	100
Chipre	0,7	20
Letónia	2,3	20
Lituânia	3,4	20
Luxemburgo	0,4	100
Hungria	10,1	30
Malta	0,4	20
Países Baixos	16,2	100
Áustria	8,1	100
Polónia	38,2	15
Portugal	10,4	30
Eslovénia	2,0	95
Eslováquia	5,4	20
Espanha	42,2	40
Finlândia	5,2	90
Suécia	9,0	85
Reino Unido	59,5	55
EU-25	456	66

Fonte: EUROPARL, 2011.

Tais dados subsidiaram a decisão da União Europeia, que aprovou no ano de 2011 legislação que coloca em vigor a partir de 30/06/13, a limitação de 0,5% em peso, para fósforo nos detergentes para limpeza de tecidos comercializados em toda a região abrangida pelos 25 Estados-Membros (EUROPARL, 2011).

As demandas para controle da eutrofização aliadas à perspectiva de escassez e aumento dos preços dos fosfatos passaram a embasar também discussões a respeito da viabilidade de retorno dos sabões ao mercado (RITTNER, 1995; BORSATO et al., 1999; OSÓRIO E OLIVEIRA, 2001; SDA, 2010).

Nesse sentido, para o Brasil, de acordo com RITTNER (1995), a existência de recursos agrícolas e agropecuários pode ser considerada uma situação favorável às possíveis mudanças, tendo em vista a disponibilidade de matérias-primas renováveis e abundantes a serem utilizadas na fabricação de sabões. Além da contribuição para redução de problemas ambientais relativos ao uso de detergentes e para atendimento à demanda crescente por produtos de limpeza, em decorrência do crescimento populacional, a

maior parte das águas do território brasileiro apresenta naturalmente uma baixa concentração de sais de cálcio e magnésio, o que faz com que o sabão seja considerado um produto comercialmente viável.

De acordo com ABIPLA (2011), o STPP pode ser considerado como o *builder* sistematicamente empregado no território brasileiro, devido à maior capacidade de se adequar às condições ambientais e sociais brasileiras, pois torna o detergente, especialmente os produtos em pó destinados à lavagem de tecidos, mais eficiente nos processos de limpeza em água fria, conforme o costume da população.

Porém, a grande maioria das marcas comercializadas não faz referências sobre a sua presença ou concentração nos rótulos dos produtos comercializados, salientando-se que essa informação não é uma exigência do órgão que fiscaliza o assunto, no caso a ANVISA. Atualmente, pode-se notar que alguns produtos passaram a inserir informação nos rótulos sobre a ausência de fósforo nas formulações, conforme se pode observar na Figura 22, em imagens registradas num ponto de venda comercial no mês de agosto/14.

Figura 22: Embalagens de detergentes no Brasil: registro de ausência de fosfato – Agosto/14.

De acordo com informações da ABIPLA, 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 (ALONSO, 2002).

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% foram destinadas à indústria de detergente (OSÓRIO e OLIVEIRA, 2001).

Em 2008, dados fornecidos pela *Global Material Supply Management* (GMSM), principal importadora de STPP para o Brasil, dão conta de que o consumo brasileiro da matéria-prima havia atingido 81 mil toneladas, dos quais, 95% haviam sido destinadas aos detergentes. Em 2009, o volume comercializado foi de 75 mil toneladas e, em 2010, o volume foi de 35 mil toneladas, dos quais, 50% destinou-se à indústria de detergentes (GMSM, 2008; TRAJANO, 2011).

Pelos dados apresentados, é possível notar que ocorreu nos últimos anos uma mudança no padrão de utilização de STPP pela indústria de detergentes do país, situação que fica evidenciada pela evolução no volume consumido entre 1998 e 2008, comparativamente à redução apresentada em 2010.

4.4.3 O Estado da Arte no Brasil

O marco da regulamentação da presença de fosfatos nos detergentes comercializados no Brasil, data do ano de 1978, quando o Ministério da Saúde, através da ANVISA, instituiu a Resolução Normativa nº 01, de 27/11/1978, que “*aprova as normas a serem obedecidas pelos detergentes e seus congêneres*” e concede o prazo de 180 dias para que os produtos sejam ajustados aos dispositivos contidos na norma.

Essa Resolução aplica uma classificação para os detergentes quanto à denominada “*facilidade do emprego*”, segregando-o em dois tipos: comum e profissional. Aplica, também, uma classificação quanto à finalidade do detergente, efetuando a seguinte segregação (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1978):

- Lavagem comercial ou industrial de vestuários e artigos têxteis em geral;
- Lavagem e limpeza manual ou mecânica de artigos de plásticos, couro ou madeira, inclusive móveis;
- Limpeza manual ou mecânica, de vidros, vidraças, copos e artigos similares;
- Produtos destinados à limpeza e polimento de utensílios de uso doméstico e de partes comuns de residências, escritórios, fábricas, laboratórios, hospitais, hotéis, restaurantes e correlatos;
- Limpeza e conservação de fornos, estufas, fogões e semelhantes;
- Limpeza e conservação de pisos, paredes, assoalhos e semelhantes;
- Limpeza de aparelhos sanitários, pias, caixas de gordura e semelhantes;
- Limpeza e higienização, manual ou mecânica, de tapetes, carpetes e estofados em geral;
- Limpeza de partes externas de veículos de transporte individual ou coletivo; e
- Remoção de manchas, gorduras, incrustações, depósitos ou sujidades na superfície ou partes internas de assoalhos, tubulações, aparelhos de ar condicionado, máquinas de escritórios, equipamentos e outros artefatos.

Em relação aos limites propostos para a presença de fósforo, essa Resolução estipula uma porcentagem máxima de fosfato, variável de acordo com diferentes tipos de produto. A Tabela 15 abaixo apresenta essa porcentagem máxima estipulada pela Resolução ANVISA 01/78, expressos em P_2O_5 , em relação ao peso dos diferentes produtos.

Tabela 15: Limites para fósforo nos detergentes, expressos em P_2O_5 , por peso do produto, de acordo com a Resolução ANVISA nº 01/78.

Finalidade do Detergente	% máxima
Detergente em pó tipo doméstico	15%
Saponáceos em pó	10%
Saponáceo líquido	10%
Detergentes líquidos para lavar tecidos comuns	15%
Detergentes líquidos para lavar tecidos finos	10%
Detergente em barra	15%

Fonte: MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1978.

No ano de 2005, o conteúdo dessa norma foi revisado e adequado às evoluções anteriormente implementadas por outros países; por meio da publicação da Resolução CONAMA nº 359, foi estipulada a redução progressiva dos limites vigentes desde o ano de 1978, ao longo de três anos subsequentes, conforme será abordado no item 4.4.3.1 do presente trabalho, apresentado a seguir.

Em relação à presença de fósforo nos corpos d'água, a Resolução CONAMA nº 357, de 29/04/2005, prevê limites de concentração de fósforo de acordo com a classe de enquadramento estabelecida para os corpos d'água, com base nos seus usos preponderantes, não havendo limites para concentração de fósforo nos efluentes lançados nos corpos hídricos. (BRASIL, 2005a)

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 definiu 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 e atendimento aos limites propostos seriam elevados, resultando na 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.

Em 13/05/2011, o CONAMA editou a Resolução nº 430, que complementa e altera a Resolução nº 357/2005, e em seu Artigo 17, determina que o órgão ambiental competente poderá estabelecer limites para o lançamento de fósforo em corpos d'água receptores com registro de floração de cianobactérias em trechos onde ocorra captação de água para abastecimento público (BRASIL, 2011).

Na prática, no entanto, já em 2010 podem ser verificados documentos expedidos pelos órgãos ambientais responsáveis pela gestão no uso dos recursos hídricos em que constam limites para a carga diária de fósforo lançada nas águas, com estabelecimento de eficiência mínima de remoção pelo sistema de esgotos sanitários (ANA, 2010).

4.4.3.1 Resolução CONAMA nº 359/2005

No ano de 2005, os limites estabelecidos pela ANVISA foram reavaliados pelo Ministério do Meio Ambiente, através do CONAMA, que editou a Resolução nº 359, de 29/04/2005, que *“Dispõe sobre a regulamentação do teor de fósforo em detergentes em pó para uso em todo o território nacional e dá outras providências”*.

Com base nos princípios da precaução e da prevenção, e considerando a presença do fósforo, na forma de STPP, na formulação da maioria dos detergentes em pó comercializados no Brasil, o objetivo dessa Resolução, conforme Art. 1º, foi estabelecer *“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”*. Como detergente em pó, o Art. 2º informa tratar-se do *“produto de uso doméstico, destinado à limpeza de tecidos por meio da diminuição da tensão superficial da água”*. (BRASIL, 2005b)

Com as novas regras, passaram a valer dois parâmetros de controle de produção: um teto máximo para os produtos e uma média ponderada por fabricante ou Grupo Fabricante/Importador (GFI), a partir da qual cada indústria equilibra a composição de fósforo utilizada entre todos os seus produtos.

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 metodologia adotada pela Resolução CONAMA nº 359/05 para o estabelecimento de limites para a presença de fósforo nos detergentes leva em conta a média ponderada do elemento por GFI, que 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 a seguir:

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

Onde:

MP = Média ponderada da quantidade de fósforo utilizada nos detergentes em pó

mi = Massa (tonelagem) de cada detergente em pó

% P = teor de fósforo de cada detergente em pó

Tal metodologia possibilita tornar os limites de fósforo mais elásticos em um mesmo conglomerado comercial, justamente em função da adoção da média ponderada.

Com base nessa 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, ou seja, até o ano de 2008, chegando a teores de 10,99% de P₂O₅ e 4,8% de P por formulação ao final de 36 meses.

Na Tabela 16, encontram-se descritos os limites estabelecidos, de acordo com a redução gradativa proposta pela Resolução CONAMA nº 359/05.

Tabela 16: Limites de fósforo para os detergentes previstos na Resolução CONAMA nº 359/05.

Prazo de adequação a partir da publicação desta Resolução	Limite máximo de P ₂ O 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: BRASIL, 2005b.

De acordo com os especialistas no assunto, o conteúdo da Resolução 359/2005 foi encarado como um “avanço na questão do controle preventivo da poluição dos corpos hídricos do País” (CONAMA, 2010, p. 17).

4.4.3.2 Grupo de Trabalho do CONAMA para Análise dos Resultados Obtidos

Atendendo ao estabelecido no Art. 7º da Resolução, foi criado em 2008, ao final do prazo previsto para implementação das reduções graduais estipuladas, um Grupo de Trabalho para analisar os resultados decorrentes das medidas adotadas, porém, não foi inserida no escopo desse Grupo, a análise das concentrações de fósforo nos produtos atualmente comercializados no país, uma vez que, de acordo com o entendimento suscitado, tais informações são controladas pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA).

Com a finalidade de montar um cadastro e levantar esses dados, o IBAMA desenvolveu e disponibilizou em sua página na *internet*, um sistema de auto declaração, cujo objetivo é permitir ao GFI declarar anualmente os dados de fósforo utilizados nas diferentes formulações de detergentes e as respectivas produções.

Diversas reuniões foram efetuadas pelo Grupo para discussão do processo e acompanhamento dos resultados obtidos. Também foi sugerida uma proposta de metodologia para determinar a quantidade de fósforo nos esgotos devido aos detergentes em pó, monitorar os avanços e subsidiar as futuras decisões quanto à necessidade de evoluir nas medidas restritivas necessárias. Foi proposta a realização de trabalhos de campo, com análises laboratoriais de esgotos e levantamento de informações sobre consumo de detergentes, envolvendo as seguintes etapas (CONAMA, 2009):

- Caracterização do esgoto afluente a duas diferentes estações de tratamento, com composição de amostras diárias coletadas a cada 4 horas, durante 8 dias consecutivos. Os parâmetros selecionados para análise foram fósforo total, fósforo solúvel e surfactantes, este com a função de atuar como “traçador” do uso dos detergentes.
- Levantamento de consumo *per capita* de detergentes em pó e das porcentagens de fósforo e de surfactantes na composição dos produtos comercializados, por

meio de consulta à ABIPLA.

- Determinação da contribuição dos detergentes para o fósforo presente nos esgotos sanitários.
- Acompanhamento e monitoramento anual para avaliação do comportamento das cargas de fósforo e sugerir possíveis reduções escalonadas.

Com base no banco de dados do IBAMA, em fevereiro de 2010 o Grupo de Trabalho do CONAMA apresentou o relatório denominado “Relatório Final”, apontando para uma redução do aporte de fósforo ao meio ambiente de 40,5 ton/dia para 31,8 ton/dia, no período compreendido entre 2005 e 2008, correspondendo a 21,5% de redução. Aponta ainda, para a necessidade da adoção de limites mais restritivos, conforme segue (CONAMA, 2010):

“Tendo em vista os novos cenários de fabricação de detergentes em pó no Brasil e o mercado de STPP (que hoje é 100% importado), bem como os níveis médios atuais adotados na formulação dos detergentes em pó de 1,63%, enquanto a restrição da Resolução foi de 3,16% recomenda-se uma revisão da Resolução com limites mais restritivos.”

Ratificando esse parecer, SILVA et al. (2010) analisaram quatro amostras de detergentes de diferentes marcas e verificaram que a concentração de fósforo encontrava-se abaixo dos limites estabelecidos pela legislação, com resultados situados entre 0,87% e 3,57% em peso. Como conclusão, apesar dos resultados encontrados, os autores sugerem a substituição do fósforo por outro tipo de agente estruturante e sequestrante de íons cálcio e magnésio, como as zeólitas.

SOUZA et al. (2010), ao analisarem a amostra de um detergente comercializado no país, constataram um teor de fósforo da ordem de 0,21%, em peso; relataram que a maioria dos produtores haviam se adequadado às reduções estipuladas pela legislação.

MENEGON Jr e BEVILACQUA (2012), com base nos dados do sistema de auto declaração do IBAMA, afirmam que o setor produtivo brasileiro de detergentes em pó atendeu às exigências estabelecidas e destacam que a aplicação da Resolução resultou

em uma redução de 3.160 ton./ano de fósforo lançada nas águas.

De acordo com TRAJANO (2011), no Brasil, os fabricantes optaram por substituir os fosfatos presentes nas formulações de detergentes em pó de forma pautada pela sustentabilidade ecológica e pela competitividade econômica, e passaram a empregar materiais alternativos, como zeólitas, polímeros, enzimas, e até derivados de óleo de coco de babaçu.

Nas conclusões emitidas em seu Relatório Final, o Grupo de Trabalho do CONAMA também aponta para as dificuldades enfrentadas em quantificar os ganhos ambientais decorrentes das reduções propostas, a partir das informações levantadas nas redes básicas de monitoramento de qualidade das águas operadas pelos estados de Minas Gerais, do Paraná e de São Paulo (CONAMA, 2010):

“Os dados disponíveis pelas redes de monitoramento avaliadas por este grupo não permitiram isolar o fósforo proveniente dos detergentes em pó de suas demais fontes (dejetos humanos e carga difusa).”

Sendo assim, como recomendação, sugere a criação de um grupo de trabalho voltado para elaborar as diretrizes específicas relacionadas à gestão e controle das fontes pontuais e difusas de fósforo nos corpos d'água do país, priorizando os mananciais destinados ao abastecimento público de água (CONAMA, 2010).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Dados Levantados

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de uma pesquisa descritiva e exploratória, com abordagem quantitativa aplicada, abrangendo a apresentação de conceitos e o levantamento de dados necessários para subsidiar a proposta de determinar a presença de fósforo nos esgotos afluentes de diferentes estações de tratamento e de dimensionar a atual contribuição dos detergentes fosfatados.

A pesquisa descritiva tem como objetivo o levantamento de dados para identificação das características de determinado objeto, com enfoque na sua compreensão, enquanto a pesquisa exploratória visa contribuir para a administração do problema a ser estudado por meio da investigação sobre o assunto, da reunião de informações e do refinamento da pesquisa (GIL, 1989).

Na abordagem quantitativa, busca-se efetuar a tradução das informações e dados coletados em números, visando sua avaliação e classificação por meio da aplicação de técnicas de interpretação, ou medidas estatísticas, como porcentagem, média, coeficiente de correlação ou análise de regressão, dentre outras. De forma complementar, a abordagem aplicada objetiva a utilização prática dos conhecimentos adquiridos, de maneira a dirigi-los para a solução de problemas específicos (GIL, 1989; BARROS e LEHFELD, 1990).

Para a elaboração deste trabalho, foram utilizados dados secundários, decorrentes do levantamento bibliográfico de conceitos teóricos sobre o tema, e dados primários, provenientes da realização de análises laboratoriais de amostras de esgotos sanitários e de detergentes.

Cumprе ressaltar que para efeito desta pesquisa, o termo “detergente” foi adotado para designar o produto de uso doméstico destinado à limpeza de tecidos por meio da diminuição da tensão superficial da água, com base na nomenclatura adotada no artigo

2º da legislação que atualmente regulamenta o assunto, a Resolução CONAMA nº 359/2005 (BRASIL, 2005b).

Com relação aos dados secundários, foram levantadas informações a respeito do elemento químico fósforo, sobre a gestão de sua presença nas águas e as suas principais fontes nos esgotos sanitários. Foram apresentados dados a respeito da presença de fósforo nos detergentes e abordadas algumas metodologias já empregadas para determinação da contribuição desses produtos para o total de fósforo presente nos esgotos. Além disso, foram relatadas as medidas de controle já adotadas em outras localidades para o controle da eutrofização e a restrição ao uso de fósforo nos detergentes, sendo abordado o estado da arte no Brasil. Para tanto, foram examinadas produções registradas em livros, artigos, relatórios técnicos e outros documentos disponíveis em meio físico ou na *internet*, que propiciaram o levantamento e análise do que já foi publicado sob o assunto tratado.

Quanto aos dados primários, foram realizadas análises laboratoriais para determinação das concentrações de fósforo nos esgotos sanitários em ETEs com portes diferenciados, localizadas em diferentes regiões do estado de São Paulo, com concomitante medição das vazões. Também, foram analisadas amostras de detergentes comercializados em todo o território nacional, para medir as concentrações de fósforo, bem como, para verificar o atendimento à Resolução CONAMA nº 359/2005.

Foram levantadas ainda, informações sobre população atendida nas áreas de abrangência das estações de tratamento selecionadas, e sobre consumo de detergentes, visando, desta forma, estimar da contribuição *per capita* de fósforo nos esgotos afluentes, e avaliar da contribuição desses produtos com relação à carga total de fósforo afluente aos sistemas de esgotos amostrados.

Cumprе ressaltar, que a metodologia de coleta de dados primários estabelecida para este estudo teve como base as recomendações apresentadas pelo Grupo de Trabalho do CONAMA, que pesquisou o assunto durante dois anos e estabeleceu diretrizes para complementar e aprimorar os trabalhos desenvolvidos, conforme abordado no item 4.4.3.2 do presente trabalho.

Ressalta-se ainda, que este trabalho vem a complementar os estudos anteriormente realizados em dissertação de mestrado desenvolvida na Faculdade de Saúde Pública, denominada “As Atividades do Homem e a Evolução da Dinâmica do Fósforo no Meio

Ambiente”, por meio da qual foram compilados dados históricos levantados pela CETESB nas águas e sedimentos do Rio Tietê, sem, no entanto, fazer uma avaliação mais profunda em relação à origem dessas contribuições.

Sendo assim, o desenvolvimento do trabalho de coleta de dados primários foi estabelecido com base em três atividades, conforme resumido a seguir:

- **Caracterização do esgoto:** Realização de análises laboratoriais no esgoto afluente de ETEs localizadas em diferentes regiões do Estado de São Paulo, com portes diferenciados, para determinar a concentração de fósforo. Foi efetuada também a medição da vazão afluente, de forma a permitir o cálculo das cargas de fósforo.
- **Caracterização de detergentes:** Realização de análises laboratoriais em diferentes marcas de detergentes comercializados no território nacional para verificação da porcentagem de fósforo, e checagem do atendimento à legislação vigente.
- **Consumo de detergentes e população atendida:** Levantamento de dados sobre consumo de detergentes e população atendida pelos sistemas de esgotos analisados. Tais dados serão correlacionados com as informações obtidas na 1ª e 2ª atividades, de forma a auxiliar na determinação da contribuição *per capita* de fósforo que chega até as ETEs e na elaboração de estimativas com relação ao aporte decorrente do uso de detergentes.

Para melhor visualização das ações desenvolvidas no presente trabalho, a Figura 23, a seguir, apresenta um resumo esquemático contendo o fluxograma as atividades envolvidas e os resultados obtidos.

Figura 23: Fluxograma das atividades envolvidas no projeto e dos resultados esperados.

Cumprе acrescentar que, visando complementar os dados, foram levantadas informações a respeito do histórico de concentração de fósforo no esgoto afluente às estações de tratamento amostradas. O objetivo foi avaliar o comportamento do fósforo nas diferentes localidades e verificar eventuais similaridades ao longo dos anos, de forma a subsidiar as avaliações e conclusões contidas no presente trabalho.

5.2 Caracterização do Esgoto

Para caracterização dos esgotos, foram estabelecidas campanhas de coleta para amostragem do afluente de três ETEs situadas no estado de São Paulo, com medição simultânea de vazão. O objetivo foi verificar as concentrações e a carga de fósforo que chegam até as estações de tratamento.

Foram determinadas as frações orgânica e inorgânica de fósforo presentes nos esgotos sanitários, as quais foram posteriormente correlacionadas com dados sobre população atendida pelos sistemas de tratamento estudados e sobre consumo de detergentes, permitindo o cálculo de estimativas quanto às cargas de fósforo provenientes da utilização desses produtos e sua comparação com a carga afluente total.

5.2.1 Locais de Estudo

As estações selecionadas para o presente estudo estão situadas nos municípios de Conchas, Franca e São Paulo, sendo que neste, foi amostrada a ETE Parque Novo Mundo (PNM). Tais estações foram consideradas adequadas para a realização deste trabalho por possuírem diferentes características no que se refere ao porte e localização, retratando situações e realidades bastante diferenciadas nos âmbitos social e econômico, o que pode refletir nas concentrações e cargas de fósforo presentes nos esgotos.

A característica do esgoto tem relação com uma série de fatores, podendo-se destacar como mais importantes na região atendida, as atividades industriais, os hábitos de higiene, e os níveis econômico, social e cultural da população, além de especificidades comportamentais.

Outra questão levada em conta na escolha das estações de tratamento foi a disponibilidade de infraestrutura para realização dos procedimentos de coleta e

transporte das amostras, como existência de coletores automáticos programáveis e refrigerados, presença de medidores ultrassônicos de vazão, estrutura de laboratório instalado e facilidade logística para transporte das amostras até o laboratório. Tudo isso de forma alinhada com a distribuição espacial no estado de São Paulo.

No caso da ETE PNM, além desses fatores, levou-se em consideração o fato de tratar-se da estação localizada na cidade de São Paulo que recebe a menor contribuição de efluentes industriais, comparativamente às demais estações de tratamento pertencentes ao sistema de esgotos da Região Metropolitana (SABESP, 2010).

A localização geográfica das estações de tratamento amostradas para o presente trabalho, e sua distribuição espacial, pode ser visualizada na Figura 24.

Figura 24: Localização geográfica e distribuição espacial das ETEs selecionadas para o estudo.

As três estações selecionadas são operadas pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), sendo compostas por processos de tratamento diferenciados. Deve-se ressaltar que a questão da configuração do processo de

tratamento foi uma condição não observada para realização da pesquisa, visto que não foi analisada a eficiência dos sistemas na remoção de poluentes e as condições de lançamento dos efluentes tratados nos corpos receptores.

5.2.1.1 ETE Parque Novo Mundo (PNM)

A ETE PNM está localizada no município de São Paulo, na margem direita do Rio Tietê, nas proximidades dos acessos às rodovias Presidente Dutra e Fernão Dias. Essa estação de tratamento faz parte da conformação do denominado Sistema Principal de esgotamento sanitário da RMSP, que abrange outras quatro grandes ETEs: Barueri, ABC, São Miguel e Suzano (SABESP, 2006).

A ETE PNM foi inaugurada em 1998, quando entrou em operação a 1ª etapa do sistema, com capacidade nominal de tratamento de 2.500 L/s. A capacidade em final de plano, previsto para o ano de 2020, é de 7.500 L/s. O sistema de tratamento da ETE PNM é composto por lodos ativados convencional, e o afluente da estação é considerado predominantemente doméstico. Em média, menos de 5% da vazão da ETE PNM é composta por efluentes industriais (SABESP, 2006; SABESP, 2010).

Atende parte da zona leste e centro do município de São Paulo, o que corresponde às macrobacias de esgotamento denominadas Tietê Centro (TC) e Tietê Leste (TL), além de uma pequena parcela da zona norte e do município de Guarulhos.

A Figura 25 mostra a composição do Sistema Principal da RMSP, com destaque para a área de influência da ETE PNM.

Na sequência, a Figura 26 apresenta a imagem locacional da ETE, via satélite, e a Figura 27, a vista aérea da estação de tratamento, que possui uma área de aproximadamente 20.500 m² (SABESP, 2006).

Figura 25: Sistema Principal de esgotamento sanitário da RMSP – ETE PNM.

Fonte: SABESP, 2010.

Figura 26: ETE PNM – Imagem satélite.
Fonte: GOOGLE EARTH – acesso em 28/02/14.

Figura 27: ETE PNM – Vista aérea.
Fonte: www.sabesp.com.br

Para levantamento dos índices de atendimento relativos à bacia de esgotamento da ETE PNM, foram consultados relatórios técnicos desenvolvidos pela Diretoria Metropolitana da SABESP (M), denominados “Planos Integrados Regionais” e “Plano Diretor de Esgotos”. Esses relatórios estão fundamentados em projeções de crescimento populacional efetuadas pela Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE) para diagnósticos nos sistemas de água e esgoto, publicadas em trabalho intitulado “Projeções para o Estado de São Paulo – População e Domicílios até 2025”. Estão fundamentados também em consultas ao Sistema de Informações Geográficas no Saneamento da RMSP/SABESP, e em dados cadastrais sobre volume de esgoto coletado (SABESP, 2006; SABESP, 2010).

As informações a respeito do histórico de concentração de fósforo no esgoto afluente da estação de tratamento foram levantadas junto ao acervo técnico do Laboratório de Ensaio de Água e Esgoto da ETE PNM (MTTP), pertencente à SABESP. Foram disponibilizadas as médias anuais para o período de 2006 até 2013, as quais são baseadas em coletas mensais compostas conforme alíquotas horárias coletadas durante 24 horas (SABESP, 2014a).

5.2.1.2 ETE Franca

Situada no município de Franca, a ETE foi implantada junto à margem esquerda do córrego dos Bagres, próximo à Rodovia Cândido Portinari, que liga Franca a Ribeirão Preto. A ETE Franca foi inaugurada em 1998, quando entrou em operação a 1ª etapa do sistema, com uma vazão média de 903 L/s. A vazão média em final de plano, previsto para o ano de 2018, é de 1.051 L/s. A população atendida pela ETE Franca era de aproximadamente 215 mil habitantes no ano de 2000, e atualmente o sistema atende um total de mais de 268 mil pessoas (VANZO et al., 2000; SABESP, 2014d).

Na Figura 28, pode ser visualizada a imagem locacional da ETE, via satélite, e na Figura 29, encontra-se a vista aérea da estação de tratamento, que possui uma área aproximada de 20.000 m².

Figura 28: ETE Franca – Imagem de satélite.

Fonte: GOOGLE EARTH – acesso em 28/02/14.

Figura 29: ETE Franca - Vista aérea.

Fonte: www.sabesp.com.br

O sistema de tratamento de Franca é composto por lodos ativados convencional, e o afluente da estação é considerado predominantemente doméstico, sendo considerada desprezível a contribuição industrial. A ETE atende cerca de 80% da população total da sede do município de Franca, de forma que os 20% restantes são atendidos por outras seis estações de tratamento de menor porte (VANZO et al., 2000).

Para levantamento dos índices de atendimento relativos à ETE Franca, foram consultados os dados compilados pela SABESP e disponibilizados pelo Departamento de Controle Sanitário e Ambiental da Diretoria de Sistemas Regionais (ROA), através do Sistema de Tratamento de Esgotos (TRATESGO). Esses relatórios estão fundamentados em dados processados pelas unidades operacionais dos municípios

situados no interior e litoral do estado de São Paulo, operados pela SABESP, e são baseados em dados cadastrais sobre volume de esgoto coletado (SABESP, 2014d).

As informações a respeito do histórico de concentração de fósforo no esgoto afluente da estação de tratamento foram obtidas através de consulta ao arquivo técnico do Laboratório de Ensaio de Controle da Qualidade de Água e Esgoto de Franca (RGOC), pertencente à SABESP. Foram disponibilizados dados relativos à média anual do período entre 1998 e 2013, com exceção dos anos de 1999, 2000, 2001 e 2002, para os quais não foram disponibilizadas tais informações. As médias anuais são baseadas em coletas mensais compostas conforme alíquotas horárias coletadas durante 24 horas (SABESP, 2014b).

5.2.1.3 ETE Conchas

A ETE está localizada na cidade de Conchas, e foi implantada a cerca de 5 km da sede do Município, na margem esquerda do Ribeirão Conchas, que é um afluente do Rio Tietê. Na Figura 30, pode ser visualizada a imagem locacional da ETE, via satélite, e na Figura 31, encontra-se a vista aérea da estação de tratamento, que possui uma área aproximada de 15.000 m².

Figura 30: ETE Conchas – Imagem de satélite.
Fonte: GOOGLE EARTH – acesso em 28/02/14.

Figura 31: ETE Conchas – Vista aérea.

Fonte: www.sabesp.com.br

A ETE Conchas foi inaugurada no ano de 2012, estando projetada para uma vazão média de 36,55 L/s e máxima de 57,27 L/s, conforme projeções para o ano de 2020; sua capacidade nominal é de 70 L/s. O sistema de tratamento da ETE Conchas é composto por reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA), filtro anaeróbio (FAN), filtro aeróbio submerso (FAS) e decantador. A estação atende 100% da sede do município de Conchas. Para levantamento dos índices de atendimento relativos à ETE Conchas, foram consultados os dados compilados pela SABESP e disponibilizados pelo ROA, através do TRATESGO. Conforme já descrito para o caso da ETE Franca no item 5.2.1.2 do presente trabalho, esses relatórios estão fundamentados em dados processados pelas unidades operacionais dos municípios situados no interior e litoral do estado de São Paulo, operados pela SABESP, e são baseados em dados cadastrais sobre volume de esgoto coletado (SABESP, 2008; SABESP, 2014c).

Por se tratar de ETE inaugurada no ano de 2012, a análise de fósforo foi iniciada em meados desse ano. Para obtenção desses dados, foi consultado o acervo técnico do Laboratório de Controle Sanitário do Médio Tietê (RMOC), da SABESP. As coletas foram efetuadas com periodicidade trimestral, com realização de amostragem simples.

5.2.2 Coleta das Amostras

Foram realizadas seis campanhas para coleta de amostras do esgoto afluyente nas três ETEs selecionadas para o presente estudo, as quais ocorreram no período entre janeiro/2013 e abril/2014. As coletas foram efetuadas no ponto de entrada da estação, imediatamente antes do tratamento preliminar, por meio da utilização de amostradores automáticos programáveis. Buscou-se assegurar que nesse ponto de coleta não ocorre recirculação de água removida do lodo durante o tratamento.

Do total de seis campanhas realizadas, cinco foram programadas para ocorrer durante sete dias consecutivos. Foram utilizados frascos de 1.000 mL, que coletaram esse volume de esgoto a cada duas horas, ao longo de 24 horas, perfazendo um total de 12 litros de amostras diárias. As amostras individuais coletadas foram convertidas em alíquotas proporcionais à vazão medida no momento da realização da coleta, permitindo, desta forma, a obtenção de uma amostragem composta. O objetivo da periodicidade de sete dias consecutivos, foi abranger todos os dias da semana, buscando assim, maior representatividade com relação às cargas médias de fósforo afluentes aos sistemas, face às possíveis alterações nas atividades desenvolvidas pela população atendida ao longo desse ciclo de operação

O planejamento da análise das amostras compostas teve como objetivo assegurar representatividade da amostragem e minimizar efeitos da descarga variável dos diferentes parâmetros, levando-se em conta as possíveis interferências ao longo do dia e da semana, buscando-se, desta forma, representar as condições médias do ciclo de funcionamento diário de cada sistema de tratamento. Somando-se às cinco campanhas realizadas ao longo da semana, foi realizada uma campanha de coleta de amostras horárias em cada ETE, na qual foi obtido um total de 25 amostras por ETE, sendo 24 amostras horárias e 01 composta com as alíquotas coletadas a cada duas horas, conforme procedimento das cinco campanhas semanais acima descritas. Cumpre ressaltar, portanto, que foi adotado o mesmo procedimento de composição de amostras em todas as campanhas de coletas, incluindo-se as semanais e as horárias. A análise das coletas horárias, e da respectiva alíquota composta, teve o objetivo de verificar a variação das concentrações e cargas presentes no esgoto ao longo do dia, nas diferentes ETEs, bem como, possibilitar a comparação dos resultados das amostras simples com a composta, permitindo avaliar a adequação da metodologia adotada para as coletas e composição das amostras. Nas Figuras 32 a 34, pode-se visualizar a imagem dos amostradores automáticos em funcionamento, durante a realização de coletas nas diferentes ETEs amostradas no presente trabalho.

Figura 32: Coleta ETE PNM – Amostrador automático.

Figura 33: Coleta ETE Franca – Amostrador automático.

Figura 34: Coleta ETE Conchas – Amostrador automático.

Das cinco campanhas semanais estruturadas, a primeira foi realizada entre janeiro e março/13, nas ETEs PNM e Franca. Neste período, não foi realizada a coleta na ETE Conchas devido à impossibilidade de utilização do equipamento ultrassônico para medição de vazão, que na época encontrava-se em fase de instalação e ajustes, o que inviabilizou o procedimento para composição de amostras.

Com relação às coletas realizadas na ETE Franca, foram identificadas desconformidades na temperatura de preservação das amostras, provavelmente devido à distância percorrida pelas amostras entre o ponto de coleta e o laboratório. Para as análises de fósforo, a instabilidade da condição de preservação da amostra pode desencadear o processo de ação biológica, conduzindo à alteração de valência dos constituintes, com conversão de elementos (ANA, 2011).

Para as campanhas realizadas nos meses de maio e outubro/13, as coletas foram executadas de forma parcial, com amostragem das ETEs PNM e Conchas. Sua realização permitiu verificar a eventual necessidade de ajustes na metodologia adotada, auxiliando no alinhamento dos procedimentos de coleta, transporte e análise laboratorial das amostras.

Nas campanhas realizadas em agosto/13 e abril/14, foi possível realizar o ciclo completo de coletas planejado, com obtenção de amostras compostas durante a semana, abrangendo todos os parâmetros selecionados, nas três ETEs. Excepcionalidade ocorreu na ETE Franca, no dia 10/04/14, quando não foi possível efetuar as coletas devido a problema pontual no equipamento coletor automático de amostras.

Vale destacar que essas duas campanhas ocorreram em períodos de baixa pluviosidade, visando minimizar interferências decorrentes do possível aumento na concentração de fósforo nos esgotos em decorrência da eventual contribuição das fontes difusas por meio das águas pluviais (DELETIC, 1998; JARVIE et al., 2005).

Nestas campanhas, também, as coletas foram realizadas de forma concomitante nas diferentes ETEs, ou seja, ao longo do mesmo período. Tal situação otimizou a logística envolvida na realização do transporte das amostras provenientes de ETEs situadas em pontos geograficamente distantes e possibilitou o atendimento do prazo de validade dos parâmetros analisados.

Sendo assim, o estudo dos resultados obtidos nesta pesquisa foi desenvolvido a

partir dos dados das campanhas de agosto/13 e abril/14. No entanto, os resultados das demais campanhas serão também apresentados, com avaliação dos dados. Na Figura 35, a seguir, pode-se visualizar o resumo das seis campanhas realizadas, contendo o período abrangido e a quantidade de amostras.

Figura 35: Resumo esquemático das campanhas de coletas realizadas nas ETEs.

5.2.3 Composição e Preservação das Amostras

As amostras individuais coletadas a cada duas horas foram mantidas no amostrador automático até o final das 24 horas, com refrigeração entre 4°C e 6°C. Ao final desse período de coletas, as vazões registradas no momento da coleta pelos medidores ultrassônicos foram compiladas e planilhadas, permitindo o cálculo da proporcionalidade entre as alíquotas. O equipamento utilizado na medição de vazão é mostrado na Figura 36.

Figura 36: Equipamento ultrassônico utilizado na medição de vazão.

Na Figura 37, pode-se visualizar o processo de separação das alíquotas na ETE PNM, podendo ser observado na bancada, a atividade de preparação dos recipientes contendo as amostras das coletas horárias referentes à campanha 05, realizada em 10/02/14, bem como os frascos contendo as amostras identificadas.

Figura 37: Separação das alíquotas e preparação dos recipientes com as amostras – coleta horária de 11/02/14 – ETE PNM.

Na Figura 38, a seguir, visualiza-se o detalhe da identificação das amostras, visando envio ao laboratório, na campanha 05 realizada na ETE Conchas.

Figura 38: Detalhe da identificação das amostras, antes da preservação para envio ao laboratório – coleta de 10/02/14 – ETE Conchas.

Após cálculo das alíquotas e composição, as amostras foram acondicionadas em recipientes identificados para encaminhamento às análises laboratoriais e preservadas, observando-se o “Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras” (ANA, 2011). Na Tabela 17, constam as informações relativas aos procedimentos adotados para acondicionamento e preservação das amostras.

Tabela 17: Procedimento adotado para acondicionamento e preservação das amostras.

Parâmetro	Recipiente		Qde Amostra	Preservação	Armazenamento	Prazo de Validade
Fósforo total	P-total	P, V	250 mL	Resfriamento	H ₂ SO ₄ (1+1 até pH < 2) e refrigeração	28 d
Ortofosfato	P-orto	P, V	250 mL	Resfriamento	Refrigeração 4°C 2°C	48 h
Polifosfato	P-poli	P, V	250 mL	Resfriamento	Refrigeração 4°C 2°C	48 h
Sólidos totais	ST	P, V	500 mL	Resfriamento	Refrigeração 4°C 2°C	7 d
Demanda bioquímica de oxigênio	DBO	P, V	2 frascos de 1 L	Resfriamento	Refrigeração 4°C 2°C	24 h ¹
Demanda química de oxigênio	DQO	P, V	250 mL	Resfriamento	H ₂ SO ₄ (1+1 até pH < 2) e refrigeração	28 d ¹
Surfactantes		P	250 mL	Resfriamento	Refrigeração 4°C 2°C	48 h

P - Frasco plástico descartável (de polímero inerte)

V - Frasco de vidro com tampa esmerilhada

¹ Prazo máximo regulatório segundo o Standard Methods, 21ª ed., 2005.

Fonte: ANA, 2011.

Cumpra acrescentar que as amostras foram transportadas em caixas térmicas com gelo e enviadas até os laboratórios que efetuaram as análises, de forma a atender os parâmetros de conservação e os prazos de validade recomendados.

5.2.4 Parâmetros Analisados e Ensaio Laboratoriais

Os parâmetros analisados neste trabalho tiveram como objetivo obter as informações necessárias para avaliação do comportamento do fósforo nos diferentes sistemas de esgotamento sanitário avaliados, obtendo subsídios para auxiliar no cálculo da contribuição proveniente do uso dos detergentes.

A definição dos parâmetros de interesse foi ajustada e confirmada ao longo do trabalho, por meio da avaliação dos resultados obtidos nas campanhas 01, 02 e 04. Na campanha 01, realizada entre janeiro e março/13, foram analisados os parâmetros fósforo total (P-total), ortofosfato (P-orto) e surfactantes. Na campanha 02, de maio/13, foram acrescentados os parâmetros polifosfato (P-poli) e fósforo orgânico (P-org), buscando-se desta forma, abranger as frações orgânica (P-org) e inorgânica (P-inorg) de fósforo.

De acordo com BRAILE e CAVALCANTI (1993), o P-poli presente nos esgotos tem origem, principalmente, nos despejos contendo detergentes sintéticos e outros produtos industrializados.

Tal informação é ratificada por VON SPERLING (2005), que cita que, na água residuária bruta, o fósforo proveniente dos detergentes ocorre na forma de polifosfatos ou, após hidrólise, como ortofosfatos, sendo que os resultados de ambos representam a fração inorgânica de fósforo presente nos esgotos sanitários. Usualmente, nos estudos relativos a esgotos essas duas formas inorgânicas de fósforo são consideradas como P-orto, devido à tendência de hidrólise dos polifosfatos em ortofosfatos no próprio sistema de coleta e afastamento de esgotos.

O parâmetro P-poli foi, então, incluído no presente estudo visando buscar uma possível identificação das possíveis origens do fósforo presente nos esgotos. Sendo assim, para

as campanhas 03 e 06, realizadas respectivamente em agosto/13 e abril/14, com relação à série de fósforo, foram analisadas as frações de P-total, P-orto, P-poli e P-org. Foram quantificados também os parâmetros demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais (ST) e sólidos suspensos totais (SST), os quais são considerados importantes nos estudos voltados para caracterização de águas residuárias (PIVELI e KATO, 2005; VON SPERLING, 2005).

Cumprе ressaltar que na campanha 04, realizada em outubro/13, o P-poli foi substituído por fósforo total solúvel (P-sol), com o objetivo de avaliar seu comportamento frente aos demais parâmetros. A fração solúvel do fósforo corresponde à parcela do nutriente que pode ser medida após filtração. Sob a ótica da limnologia, a análise do P-sol é importante para avaliação do potencial de eutrofização das águas, visto que essa é a forma de fósforo imediatamente disponível para absorção pelos vegetais aquáticos (CHAO, 2006).

De acordo com IAWQ (1995) citado em VON SPERLING (2005), o P-sol é predominantemente inorgânico, sendo composto principalmente por P-inorg (P-poli e P-orto), com pequena fração de fósforo orgânico solúvel.

Na Figura 39, pode-se observar o processo de ajuste nos parâmetros analisados nas diferentes campanhas de coletas.

Figura 39: Parâmetros analisados nas campanhas de coletas.

Cumprе destacar, portanto, que os parâmetros selecionados para caracterização dos esgotos tiveram como objetivo:

- Abranger as formas de fósforo presentes nos esgotos que pudessem auxiliar na identificação da contribuição dos detergentes;
- Permitir a realização de correlação entre concentração de fósforo e dos demais parâmetros analisados;
- Possibilitar a construção de proposições a respeito das origens do fósforo presente nos esgotos.

A seleção dos parâmetros levou em conta também, a capacidade operacional dos laboratórios envolvidos, a otimização dos recursos e a disponibilidade de tecnologia para o procedimento analítico. Para tanto, as análises previstas nas diferentes campanhas de coletas foram divididas entre a SABESP, através do Laboratório da ETE PNM e do Laboratório da ETE Franca, o Laboratório de Saneamento (LabSan) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI/USP) e laboratórios contratados Controle Analítico Análises Técnicas Ltda e Bioagri Ambiental Ltda.

Na campanha 01, todas as amostras foram encaminhadas e centralizadas para análise no laboratório da ETE PNM. Porém, provavelmente devido à distância e o tempo transcorrido para transporte das amostras provenientes da ETE Franca, conforme abordado anteriormente, no item 5.2.2 deste trabalho, foram verificadas desconformidades com relação à temperatura de preservação. Tal situação, aliada ao fato dos laboratórios da SABESP não fazerem análise do parâmetro P-poli, fez com que as demais campanhas fossem executadas parcialmente em laboratório contratado. Sendo assim, para a campanha 02, a qual foi desenvolvida exclusivamente na ETE PNM, as análises foram realizadas pelo laboratório Controle Analítico Análises Técnicas Ltda, localizado também na cidade de São Paulo.

No que se refere às campanhas 03 e 06, as análises de DBO, DQO, ST e SST das ETES Franca e PNM foram realizadas pela SABESP, através dos respectivos laboratórios, evitando a etapa de transporte das amostras. Já as análises da série de fósforo e surfactantes foram efetuadas pelo laboratório Bioagri Ambiental Ltda, situado na cidade de Piracicaba, no estado de São Paulo.

No caso da ETE Conchas, devido às demandas específicas da unidade que inviabilizaram a operacionalização dos serviços pela área de controle sanitário, todos os

parâmetros das campanhas 03 e 06 foram analisados pelo laboratório contratado.

Na coleta 04 realizada na ETE Conchas, as análises foram efetuadas pelo LabSan-POLI/USP, que efetuou também as análises das amostras obtidas na campanha 05 desenvolvidas na ETE Conchas e na ETE PNM; as coletas horárias da ETE Franca, relativas a essa campanha, foram realizadas na respectiva estação de tratamento.

Cumprе ressaltar que tanto os laboratórios da SABESP envolvidos na pesquisa, quanto os laboratórios contratados são acreditados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), segundo os requisitos da norma NBR ISO/IEC 17025:2005 – “Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração”, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Conforme boletins de análises fornecidos pelos laboratórios, as análises foram realizadas conforme a última versão do *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater* (SMWW) - 22nd, 2012, USEPA e ABNT.

A logística de distribuição das análises entre os diferentes laboratórios nas campanhas de coleta desenvolvidas na pesquisa, com respectivos dados de localização e acreditação pelo INMETRO pode ser observada na Tabela 18.

Tabela 18: Logística adotada para o procedimento analítico e acreditação dos laboratórios.

CAMPANHA	PARÂMETROS	ETEs	LABORATÓRIO	LOCAL	ACREDITAÇÃO INMETRO	
01	P-total, P-orto e Surfactantes	PNM e Franca	Laboratório ETE PNM - SABESP	São Paulo	CRL 0710	
02	P-total, P-orto, P-poli, P-org e surfactantes	PNM e Franca	Controle Analítico Análises Técnicas Ltda	São Paulo	CRL 0353	
03	P-total, P-orto, P-poli, P-org e surfactantes	PNM, Franca e Conchas	Bioagri Ambiental Ltda	Piracicaba	CRL 0172	
			PNM	Laboratório ETE PNM - SABESP	São Paulo	CRL 0710
			Franca	Laboratório ETE Franca - SABESP	Franca	CRL 0085
			Conchas	Bioagri Ambiental Ltda	Piracicaba	CRL 0172
04	P-total, P-orto, P-sol, P-org, DBO, DQP, ST e SST	Conchas	LabSan - POLI/USP	São Paulo	-	
05	P-total e P-orto	Franca	Laboratório ETE Franca - SABESP	Franca	CRL 0085	
		PNM e Conchas	LabSan - POLI/USP	São Paulo	-	
06	P-total, P-orto, P-poli, P-org e surfactantes	PNM, Franca e Conchas	Bioagri Ambiental Ltda	Piracicaba	CRL 0172	
			PNM	Laboratório ETE PNM - SABESP	São Paulo	CRL 0710
			Franca	Laboratório ETE Franca - SABESP	Franca	CRL 0085
			Conchas	Bioagri Ambiental Ltda	Piracicaba	CRL 0172

Na Tabela 19 estão descritos os métodos analíticos adotados nas análises efetuadas.

Tabela 19: Métodos analíticos adotados para os parâmetros analisados.

Parâmetro		Método Analítico
Fósforo total	P-total	SMEWW 4500 P - C
Ortofosfato	P-orto	EPA 300.0:1993; 300.1:1999 e POP PA 032 - Rev. 08
Polifosfato	P-poli	SMEWW 4500 P - E
Fósforo orgânico	P-org	SMEWW 4500 P - A
Sólidos totais	ST	SMEWW 2540 B e E
Sólidos suspensos totais	SST	SMEWW 2540 D e E
Demanda bioquímica de oxigênio	DBO	SMEWW 5210 B
Demanda química de oxigênio	DQO	POP PA 002 Rev.07 / SMEWW 5220 D
Surfactantes		SMEWW 5540 C

5.3 Caracterização dos Detergentes

Foram efetuadas análises laboratoriais em dez marcas de detergentes comercializados no território brasileiro, sendo coletadas três amostras individuais de cada produto selecionado, obtendo-se, portanto, ao final, trinta amostras de lotes distintos.

O procedimento de coleta e análise de três lotes da mesma marca teve como objetivo verificar se há variação nas concentrações de fósforo nos diferentes processos de fabricação do mesmo produto. Para diferenciação das três diferentes amostras da mesma marca, observou-se a numeração de lote e o local de aquisição.

Visando complementar o trabalho e comparar os resultados, foi efetuada a análise de uma amostra de detergente comercializado no mercado americano, com rotulagem indicando ausência de fósforo.

Também, foram efetuadas consultas a empresas fabricantes de detergentes em pó para roupas que tiveram produtos amostrados na presente pesquisa, para obtenção de informações a respeito da formulação dos produtos.

5.3.1 Seleção, Aquisição e Acondicionamento das Amostras

Para seleção das amostras analisadas foram considerados dados mercadológicos dos produtos, levando-se em conta o desempenho em volume de vendas, com base em informações publicadas pela ABRAS e pela Associação Brasileira de Atacadistas e Distribuidores (ABAD). Buscou-se amostrar também, produtos caracterizados como de comercialização em região específica do território brasileiro, considerando-se que algumas marcas são fortemente regionalizadas (ABAD, 2012; ABRAS, 2013).

Os produtos foram adquiridos entre agosto/12 e dezembro/13, diretamente nos seus pontos comerciais de venda ao varejo, em 8 diferentes Estados, abrangendo as cinco

regiões do país: norte, nordeste, sul, sudeste e centro-oeste. Os pontos de aquisição das amostras analisadas estão destacados no mapa, conforme Figura 40.

Figura 40: Pontos de aquisição dos detergentes analisados – Estados em destaque.

Foram adquiridas três unidades de cada produto, cada um pertencente a um lote diferenciado, buscando-se também, adquiri-los em regiões diferentes do país. Para complementar o trabalho e comparar os resultados dos detergentes brasileiros com produto comercializado em outro país, foi efetuada a análise de uma amostra de detergente americano com rotulagem indicando ausência de fósforo, adquirido em ponto de venda da cidade de Boston, estado de Massachusetts.

Na Figura 41, visualiza-se a rotulagem do produto americano analisado, com supressão dos dados de identificação, podendo-se observar a indicação de ausência de fósforo.

Figura 41: Produto americano analisado – ausência de fósforo.

Para cada produto foi estipulado código de identificação e controle, visando, desta forma, não expor as marcas e seus respectivos fabricantes. Na Tabela 20, podem ser visualizados os dados de identificação dos produtos selecionados, e as informações sobre lote e local de aquisição, abrangendo município e estado.

Tabela 20: Informações sobre os detergentes amostrados.

NOME	MARCA	FABRICANTE	LOTE	LOCAL AQUISIÇÃO	
DET 01	A	I	LVD8 15:38	Salvador	BA
DET 02			LVD7 17:00	Salvador	BA
DET 03			L281 13:33	João Pessoa	PB
DET 04	B	II	19	Salvador	BA
DET 05			26	Salvador	BA
DET 06			17	Salvador	BA
DET 07	C	III	4202	Porto Alegre	RS
DET 08			4136	Porto Alegre	RS
DET 09			4263	Porto Alegre	RS
DET 10	D	IV	85	Cuiabá	MT
DET 11		V	03	Cuiabá	MT
DET 12			37	Botucatu	SP
DET 13	E	I	BAE111220749	São Paulo	SP
DET 14			BCI010239704	Florianópolis	SC
DET 15			CODHQI171504466	João Pessoa	PB
DET 16	F	VI	3282 2584HA	Botucatu	SP
DET 17			3246 258400	Florianópolis	SC
DET 18			3210 258440	João Pessoa	PB
DET 19	G	VII	131631	São Paulo	SP
DET 20			132013	São Paulo	SP
DET 21			132681	São Paulo	SP
DET 22	H	VI	3302 2534EC	Botucatu	SP
DET 23			3303 2534EC	Botucatu	SP
DET 24			3355 2534DA	Botucatu	SP
DET 25	I	II	L3	João Pessoa	PB
DET 26			L2	João Pessoa	PB
DET 27			L1	São Luis	MA
DET 28	J	VIII	194022	Rolim de Moura	RO
DET 29			8011	São Paulo	SP
DET 30			18012	Botucatu	SP
P free	K	IX	-	Boston	MA/EUA

As marcas A, B, C e I são produtos com comercialização regional e as marcas D, E, F, G, H e J são produtos comercializados em escala nacional. Para os fabricantes I e VI, foram analisados dois diferentes produtos, sendo que as marcas A e H possuem menor valor de comercialização e estão caracterizadas como produtos populares; as marcas E e F são comercializadas a valores mais altos, sendo consideradas mais acessíveis pela faixa da população classificada como de maior poder aquisitivo.

Todas as amostras, adquiridas diretamente nos pontos de venda, foram encaminhadas para o município de Botucatu, no estado de São Paulo, através de SEDEX ou por transporte pessoal. Após catalogação, as amostras foram acondicionadas em frascos estéreis de 100 mg com tampa de rosca, os quais foram etiquetados com dados para identificação, visando o envio ao laboratório para realização das análises.

Na Figura 42, podem ser visualizadas imagens das amostras identificadas para envio ao laboratório.

Figura 42: Identificação e acondicionamento das amostras de detergente.

5.3.2 Parâmetros Analisados e Ensaio Laboratoriais

Os parâmetros analisados nos detergentes foram fósforo total (P) e pentóxido de fósforo (P_2O_5), que são as formas de fósforo abrangidas pela Resolução CONAMA nº 359/05, conforme abordado no item 4.4.3.1 do presente trabalho.

Para realização das análises, foi contratado o laboratório do Centro de Apoio Químico ao Ensino, à Pesquisa e de Prestação de Serviços (CEAQUIM), anexo ao Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista (IB/UNESP), campus Botucatu, estado de São Paulo. Para confirmação dos resultados apresentados pelo CEAQUIM, foram encaminhadas dez amostras para análise pelo Laboratório de Análises Químicas (CQuiM/LAQ) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), de forma que foi selecionada uma amostra por marca de detergente adquirido no território nacional.

De acordo com os boletins fornecidos pelos laboratórios, as análises foram realizadas conforme métodos analíticos descritos na Tabela 21.

Tabela 21: Determinação de fósforo nos detergentes.

PARÂMETRO	CEAQUIM-UNESP/IB		CQuiM/LAQ-IPT	
	Método Analítico	Detergentes Analisados	Método Analítico	Detergentes Analisados
Fósforo total P	Método do Ácido Ascórbico - SMEWW 4500 P - E	DET01, DET02, DET03, DET04, DET05, DET06, DET07, DET08, DET09, DET10, DET11, DET12, DET13, DET14, DET15, DET16, DET17, DET18, DET19, DET20, DET21, DET22, DET23, DET24, DET25, DET26, DET27, DET28, DET29, DET30 e <i>Pfree</i>	Espectrometria de plasma - Baseada na norma BS 3762:Section 3.19:1983 - Analysis of formulated detergents - Part 3 - Quantitative Methods - Section 3.19 Method for determination of total phosphorus (V) oxide content	DET-01, DET-04, DET-07, DET-10, DET-13, DET-16, DET-19, DET-22, DET-25 e DET-28
Pentóxido de fósforo P_2O_5				

Cumprir acrescentar que o IPT é acreditado pelo INMETRO - CRL 0161, segundo os requisitos da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005 – “Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração”, sendo que o CQuiM/LAQ localiza-se na cidade de São Paulo.

5.4 Informações sobre Consumo de Detergentes

As informações sobre o consumo médio anual de detergentes em pó para limpeza de tecidos no Brasil foram obtidas através de consulta aos anuários publicados pela ABIPLA, que são disponibilizados via *internet*. Para detalhamento das informações e obtenção de dados regionalizados sobre volume total e *per capita* de detergentes em pó para roupas comercializados em território nacional, por marca, foram efetuadas consultas à ABIPLA, através do envio de correspondências datadas de 08/07/2012 e 22/04/2013. Conforme orientação verbal fornecida pela ABIPLA durante protocolo da correspondência datada de abril/2013, também foi efetuada consulta à empresa Nielsen Brasil, que realiza consultoria ao setor e atua em parceria com a ABIPLA na compilação de dados sobre consumo de produtos de limpeza e na elaboração dos anuários publicados. Cumpre salientar que nenhuma das correspondências foi respondida. As correspondências enviadas podem ser vistas na Figura 43.

Figura 43: Informações sobre Consumo de detergentes - Correspondências enviadas.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise dos Esgotos Sanitários

Os resultados obtidos nos trabalhos de campo desenvolvidos estão detalhados segundo as três estações de tratamento analisadas. Para cada um dos locais estudados, estão apresentados os resultados com informações sobre concentração e carga dos parâmetros analisados, apresentando-se ao final, a síntese dos resultados obtidos nas estações de tratamento.

Também os dados históricos para concentração de fósforo no esgoto afluyente estão apresentados para cada estação. O objetivo de apresentar esses dados, é permitir uma análise comparativa e auxiliar na verificação das similaridades existentes e nas possíveis variações ocorridas ao longo dos anos, em função da implementação dos valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 359/05, cujo prazo final para adequação dos limites para a presença de fósforo nos detergentes data do ano de 2008, conforme descrito no item 4.4.3.1 do presente trabalho.

Com relação aos resultados das diferentes campanhas, as discussões serão efetuadas com base nos dados das campanhas 03 e 06 para coleta de amostra do esgoto afluyente, realizadas nos meses de agosto/13 e abril/14.

Os resultados das campanhas 01, 02, 04 e 05 realizadas nas estações também serão apresentados, porém, devido à impossibilidade de padronização, no que se refere à metodologia analítica, número de amostras e procedimento de preservação e transporte, sua discussão limitou-se à exposição quantitativa, bem como à apresentação dos ajustes identificados nos procedimentos de coleta, transporte e análise laboratorial, conforme abordado no item 5.2 do presente trabalho.

Cumprе ressaltar que tal situação, inclusive, subsidiou a decisão pela realização da análise da série de fósforo em um único laboratório e embasou as definições decorrentes da logística envolvida.

6.1.1 ETE PNM

O histórico de concentração de P-total no esgoto afluyente da estação de tratamento PNM no período entre 2006 e 2013 indica que esse parâmetro manteve uma concentração anual média de 5,5 mg.P/L, entre 2006 e 2010, e de 4,9 mg.P/L, entre 2011 e 2013, o que corresponde a uma redução de aproximadamente 11% entre as médias dos períodos.

Na Tabela 22 podem ser visualizadas as concentrações médias anuais de P-total registradas para o período de 2006 a 2013.

Tabela 22: Concentração média de fósforo total no esgoto afluyente – ETE PNM – 2006 a 2013.

Parâmetro	Ano									
	2006	2007	2008	2009	2010	MÉDIA 2006-2010	2011	2012	2013	MÉDIA 2011-2013
P-total (mg.P/L)	5,3	5,1	5,8	6,3	5,1	5,5	5,0	5,0	4,6	4,9

Fonte: SABESP, 2014a.

Na Figura 44 observa-se a representação gráfica desses dados, onde se verifica a tendência de redução ao longo do período compreendido entre 2006 e 2013.

Figura 44: ETE PNM - Concentração média anual de fósforo total no esgoto afluyente – 2006 a 2013.

As campanhas 01 e 02 realizadas na ETE PNM, nos períodos de 28/01 a 03/02/13 e de 20 a 22/05/13, permitem identificar, inicialmente, que a concentração média de P-total em janeiro/13 estava alta, na faixa de 13,6 mgP/L, comparativamente à média histórica registrada pela ETE, anteriormente descrita. Consultada a área operacional a respeito desse assunto, verificou-se que no período foi efetuada a manutenção de um dos tanques de aeração, com recirculação do lodo para a entrada do efluente na estação, situação que pode ter influenciado nos resultados.

Outro fato verificado nessa ETE foi a incidência de concentrações bastante significativas de P-poli na coleta de maio/13, comparativamente às demais frações de fósforo, chegando a atingir mais de 60% do total de fósforo presente nos esgotos. Nessa campanha também, as concentrações de P-org, na faixa $<0,1$ mg.P/L, podem ser consideradas anômalas, levando-se em conta que a fração orgânica do fósforo é tida como parte significativa do total de fósforo presente nos esgotos, conforme abordado no item 4.2 do presente trabalho (VON SPERLING, 2005; JORDÃO e PESSÔA, 2011; METCALF & EDDY, 2014).

Christensen (1976), citado em BALMÉR e HULTMAN (1988), aponta que o fósforo orgânico e o polifosfato correspondem, em média, a 20% e 30%, respectivamente, do total de fósforo presente nos esgotos.

Paralelamente aos resultados obtidos para as frações de fósforo, foram notadas ainda divergências nos resultados para surfactantes entre as campanhas 01 e 02, sendo que o parâmetro chegou a atingir 2 mg.MBAS/L nos dias 21 e 22/05/13, valores bastante inferiores aos resultados obtidos anteriormente, nas coletas de janeiro-fevereiro/13, cuja média foi de 5 mg.MBAS/L.

De acordo com PIVELI e KATO (2005), a concentração típica de surfactantes nos esgotos situa-se na faixa de 3 a 6 mg.MBAS/L.

Diante desses fatos, verificou-se a necessidade de confirmação dos resultados, através das campanhas futuras programadas, onde foram incluídos os parâmetros P-org e P-poli. Tal situação, entretanto, não impede uma interpretação quantitativa de parte dos dados.

Na Tabela 23, a seguir, podem ser visualizados os resultados das campanhas 01 e 02 realizadas na ETE PNM.

Tabela 23: Campanhas 01 e 02 para coleta de amostras - ETE PNM.

				CONCENTRAÇÃO				
DATA INÍCIO		DATA TÉRMINO		Surfactantes (mg.MBAS/L)	P-total (mg.P/L)	P-org (mg.P/L)	P-orto (mg.P/L)	P-poli (mg.P/L)
28/01/13	Segunda	29/01/13	Terça	6	12,3		11,5	
29/01/13	Terça	30/01/13	Quarta	4	12,0		11,1	
30/01/13	Quarta	31/01/13	Quinta	6	14,5		9,6	
31/01/13	Quinta	01/02/13	Sexta	7	11,8		10,3	
01/02/13	Sexta	02/02/13	Sábado	5	14,6		9,8	
02/02/13	Sábado	03/02/13	Domingo	6	13,9		9,3	
03/02/13	Domingo	04/02/13	Segunda	4	12,2		6,9	
20/05/13	Segunda	21/05/13	Terça	6	5,1	< 0,1	3,0	2,1
21/05/13	Terça	22/05/13	Quarta	2	4,6	< 0,1	1,8	2,8
22/05/13	Quarta	23/05/13	Quinta	2	5,0	< 0,1	2,7	2,3

A avaliação qualitativa dos resultados da campanha 01, realizada em janeiro-fevereiro/13, permite identificar uma tendência de maior concentração de P-orto nos esgotos na segunda-feira, em comparação com os demais dias da semana. Também, nota-se que as variações nas concentrações de P-total, de P-orto e de surfactantes podem demonstrar mesma tendência no final de semana, pois nesse período, todos apresentam trajetória similar; são registrados, inclusive, os menores valores para P-orto, comparativamente aos demais dias da semana. Na Figura 45, pode-se observar o gráfico das concentrações de fósforo e de surfactantes no período de 29/01 a 04/02/13.

Figura 45: Concentração de fósforo e surfactantes – ETE PNM – campanha 01 – jan-fev/13.

Com relação à campanha 05, de amostras horárias, a coleta foi iniciada às 8 horas do dia 10/02/14, e finalizada às 7 horas do dia 11/02/14. A avaliação dos resultados obtidos permite observar, inicialmente, que as maiores vazões afluentes à ETE ocorrem entre as 14 horas e as 4 horas; os picos de vazão são menos acentuados e mais distribuídos ao longo das 24 horas amostradas. Esse comportamento diverge do hidrograma típico da vazão afluente a uma ETE, que, de acordo com VON SPERLING (2005), é caracterizada por dois picos principais, sendo um no final da manhã, que é mais pronunciado, e outro no início da noite, mais distribuído.

Tal situação pode ser decorrente do porte do município, já que os dados populacionais e o tempo de residência dos esgotos na rede coletora têm influência direta no amortecimento dos picos de vazão, do possível aporte de efluentes industriais e do recebimento de resíduos líquidos proveniente de aterros sanitários. BOCCHIGLIERI (2010) cita que a partir do ano de 2008 a ETE PNM passou a receber o lixiviado de aterros sanitários.

JORDÃO e PESSÔA (2011, p. 40) indicam que para grandes cidades, ou para grandes bacias de contribuição, a variação da vazão “é amortecida devido à diversidade de atividades e costumes, e pelo comportamento dos grandes interceptores, que podem atuar como reservatórios de amortecimento de cheias”.

Sendo assim, para detalhamento dessa avaliação, seria necessário um programa específico de coletas, abrangendo outros parâmetros, em diferentes dias da semana e estações diversas do ano, que permitisse obter uma amostragem mais representativa e que auxiliasse na avaliação das características do esgoto afluente ao longo do dia.

Com relação ao comportamento do fósforo, é possível notar, inicialmente, que tanto a concentração média quanto a concentração máxima de P-total, de 3,9 mg.P/L e 4,3 mg.P/L, respectivamente, estão abaixo dos valores históricos da ETE, bem como, dos valores registrados na campanha 02, de maio/13. Vale lembrar que os resultados para concentração de fósforo na campanha 01 demonstram ter sido influenciados pela operação no tanque de aeração, impossibilitando a realização de análise comparativa.

Quando avaliado o resultado da amostra composta obtida na campanha horária, no entanto, verifica-se que os valores são compatíveis com a média histórica. Tais resultados permitem constatar que a periodicidade e a frequência de coleta adotada para amostragem composta refletem as condições operacionais da estação de tratamento ao

longo do dia, em função das variações observadas na vazão e na composição dos esgotos afluentes à estação.

Na Tabela 24 podem ser observados os resultados da campanha 05, referente à coleta horária realizada na ETE.

Tabela 24: Concentração de fósforo e vazões – ETE PNM – coleta horária.

DIA	HORA	CONCENTRAÇÃO (mg.P/L)			VAZÕES (L/s)
		P-total	P-org	P-orto	
10/fev	08:00	3,0	1,4	1,5	2685
10/fev	09:00	3,8	2,3	1,5	
10/fev	10:00	4,3	2,4	1,9	2690
10/fev	11:00	4,0	2,1	1,9	
10/fev	12:00	4,3	2,3	2,0	2870
10/fev	13:00	3,8	2,0	1,8	
10/fev	14:00	4,0	2,5	1,5	2964
10/fev	15:00	3,7	2,0	1,7	
10/fev	16:00	3,4	1,8	1,7	3101
10/fev	17:00	4,1	2,5	1,6	
10/fev	18:00	4,3	2,7	1,6	3141
10/fev	19:00	4,2	2,6	1,6	
10/fev	20:00	4,0	2,5	1,5	3142
10/fev	21:00	4,3	2,8	1,5	
10/fev	21:00	3,8	2,2	1,6	3133
10/fev	23:00	3,8	2,3	1,5	
10/fev	00:00	3,9	2,3	1,7	3060
11/fev	01:00	4,2	2,7	1,5	
11/fev	02:00	4,1	2,5	1,6	3050
11/fev	03:00	4,0	2,2	1,8	
11/fev	04:00	3,9	2,0	1,8	2940
11/fev	05:00	3,8	2,1	1,7	
11/fev	06:00	3,8	1,9	1,9	2700
11/fev	07:00	3,8	2,4	1,4	
Mínimo		3,0	1,4	1,4	2685
Médio		3,9	2,3	1,7	2956
Máximo		4,3	2,8	2,0	3142
Amostra Composta		4,1	2,4	1,7	2956

Ainda que o objetivo da coleta horária tenha sido a verificação e adequação da metodologia adotada para a coleta e composição das amostras, podem ser apontadas

algumas informações a respeito das variações ocorridas no comportamento do fósforo ao longo do dia. No que se refere ao P-orto, verifica-se uma tendência de regularidade nas concentrações ao longo do dia, o que se reflete na similaridade dos resultados para concentração mínima, média e máxima. É possível identificar picos distribuídos no início da manhã, entre 3 e 6 horas, e no final da manhã, entre 10 e 13 horas, períodos nos quais as vazões afluentes à ETE estão mais baixas.

A variação na concentração de P-total é influenciada diretamente pela concentração de P-org, parâmetros que tendem a seguir trajetória similar; ou seja, os períodos de pico e de depressão de P-total e P-org tendem a coincidir. Nos horários em que são verificadas as concentrações mais elevadas de P-orto e as menores vazões afluentes, as concentrações de P-org estão mais reduzidas.

A Figura 46, a seguir, apresenta o gráfico contendo os resultados obtidos para a campanha 05, correspondente à coleta horária realizada na ETE PNM.

Figura 46: Concentração de fósforo e vazões – ETE PNM – coleta horária.

Deve-se ressaltar, que esse comportamento foi registrado para a amostragem horária realizada em um único dia, de acordo com a metodologia proposta. Para verificação das condições do esgoto afluente à ETE ao longo do dia e da semana, seria necessário um

programa específico de coletas, conforme já citado, abrangendo uma amostragem mais representativa, com levantamento de dados em diferentes dias da semana e estações diversas do ano.

6.1.1.1 Resultados das Campanhas 03 e 06

As campanhas 03 e 06 para coleta de esgotos na ETE PNM foram realizadas nos períodos de 05/08 a 11/08/13, e de 07 a 13/04/14. Nelas, foram analisados os parâmetros amostrados nas coletas 01 e 02 – P-total, P-org, P-orto, P-poli e surfactantes – e outros parâmetros considerados importantes para caracterização do esgoto afluente, que são DBO, DQO, ST e SST (PIVELI e KATO, 2005; VON SPERLING, 2005).

Deve-se ressaltar, inicialmente, que não foi possível efetuar a análise de DBO para a coleta do dia 07/08/13 devido à impossibilidade de atender o prazo de validade da amostra para esse parâmetro, em decorrência de problemas operacionais do laboratório.

Quanto às vazões registradas, os valores médios de agosto/13 e abril/14, de 2.672 e 2.931 L/s, respectivamente, são similares à média da coleta horária, que foi de 2.956 L/s; pela comparação das duas campanhas de coletas, entretanto, visualiza-se um aumento de aproximadamente 10% nas vazões afluentes. No que se refere aos parâmetros analisados, verifica-se que, com exceção do P-poli, todos apresentam concentrações mínimas, médias e máximas mais reduzidas na campanha de abril/14, comparativamente aos resultados de agosto/13. Em termos percentuais, as reduções de DBO, DQO, ST e SST, foram de 24%, 41%, 4% e 69%, respectivamente; quanto ao P-total, a redução foi de 29%.

Com relação à série de fósforo, de forma geral, no que se refere à sua variação ao longo das semanas de coletas, os dados levantados permitem verificar uma tendência de elevação da concentração de P-total no início da semana, com redução a partir de quinta-feira, até o domingo. Na Tabela 25, podem ser observados os resultados obtidos.

Tabela 25: Resultados das Campanhas 03 e 06 – ETE PNM.

				CONCENTRAÇÃO								VAZÕES	
DATA INÍCIO		DATA TÉRMINO		DBO	DQO	ST	SST	Surfact	Ptotal	P-org	P-orto	P-poli	MÉDIAS
				(mgO2/L)	(mgO2/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mgMBAS/l)	(mgP/L)	(mgP/L)	(mgP/L)	(mgP/L)	(L/s)
06/08/13	Segunda	07/08/13	Terça	264	713	845	380	7	6,3	2,8	3,4	<0,033	2530
07/08/13	Terça	08/08/13	Quarta	-	825	850	490	8	8,1	5,0	3,0	<0,033	2719
08/08/13	Quarta	09/08/13	Quinta	377	865	1030	620	10	9,7	6,7	3,1	<0,033	2388
09/08/13	Quinta	10/08/13	Sexta	301	609	780	370	9	5,7	3,0	2,7	0,04	2646
10/08/13	Sexta	11/08/13	Sábado	360	646	750	347	9	4,9	3,3	1,0	0,6	2832
11/08/13	Sábado	12/08/13	Domingo	284	659	740	393	9	4,5	4,0	0,0	0,4	2846
12/08/13	Domingo	13/08/13	Segunda	262	540	560	295	7	4,1	2,6	0,9	0,6	2744
Mínimo				262	540	560	295	7	4,1	2,6	0,0	0,04	2388
Médio				308	694	794	414	8	6,2	3,9	2,0	0,4	2672
Máximo				377	865	1030	620	10	9,7	6,7	3,4	0,6	2846
07/04/14	Segunda	08/04/14	Terça	259	409	708	180	5	2,9	1,0	0,3	1,6	3005
08/04/14	Terça	09/04/14	Quarta	309	528	688	148	2	4,4	2,0	0,5	1,9	2855
09/04/14	Quarta	10/04/14	Quinta	230	469	692	100	3	5,3	0,4	1,8	3,1	2921
10/04/14	Quinta	11/04/14	Sexta	263	462	1052	168	8	5,9	2,6	0,7	2,6	2914
11/04/14	Sexta	12/04/14	Sábado	151	415	896	88	8	4,5	0,9	1,3	2,3	2877
12/04/14	Sábado	13/04/14	Domingo	205	326	636	160	3	4,3	2,2	0,7	1,4	3032
13/04/14	Domingo	14/04/14	Segunda	222	260	652	64	2	3,6	1,4	0,5	1,7	2909
Mínimo				151	260	636	64	2	2,9	0,4	0,3	1,4	2855
Médio				234	410	761	130	4	4,4	1,5	0,8	2,1	2931
Máximo				309	528	1052	180	8	5,9	2,6	1,8	3,1	3032

Observando-se os dados graficamente, verifica-se que na campanha de agosto/13, a trajetória de P-total apresenta similaridade com a de P-org, e na campanha de abril/14, o comportamento do P-total parece sofrer maior influência de P-orto e P-poli. Já com relação às frações inorgânicas de fósforo - P-orto e P-poli, os padrões observados indicam certa similaridade nas trajetórias em abril/14, enquanto em agosto/13, as frações tendem a ser inversamente proporcionais. Ou seja, no período em que as concentrações de P-orto estão mais reduzidas, de sexta-feira a domingo, em agosto/13, as concentrações de P-poli apresentam elevação.

Tal situação pode ser decorrente da possível transformação de polifosfatos em ortofosfatos, por meio de hidrólise, fazendo com que ocorram diferenças entre as concentrações de P-poli e P-orto ao longo da semana, dependendo das condições físico-químicas do meio.

De acordo com VON SPERLING (2005), esse processo de hidrólise do polifosfato é lento, porém, pode ocorrer parcialmente no próprio sistema de coleta e afastamento dos esgotos sanitários.

Cumprindo observar que os resultados para P-poli nas coletas da campanha 03, realizada em agosto/13, em especial no período de 06 a 08/08/13, podem ser considerados

anômalos, uma vez que essa fração de fósforo pode chegar a 30% do total desse elemento presente nos esgotos. (BALMÉR e HULTMAN, 1988).

Na Figura 47 podem ser visualizados os gráficos dos resultados das frações de fósforo conforme dados obtidos nas campanhas de coletas 03 e 06 realizadas, respectivamente, em agosto/13 e abril/14 na ETE PNM.

Figura 47: Resultados das frações de fósforo – ETE PNM – campanhas 03 e 06.

Para buscar avaliar a possível relação entre as diferentes frações de fósforo, efetuou-se a segregação entre as frações inorgânica e orgânica, de forma que os resultados de P-poli e P-orto foram somados, originando o valor P-inorg. A comparação entre as concentrações de P-total, P-org e P-inorg permite notar que a fração inorgânica encontra-se superior à orgânica nas coletas de abril/14, situação divergente dos resultados de agosto/13, quando a fração P-org é maior.

Desta forma, pode-se inferir que no período em que foram realizadas as coletas de abril/14, houve maior influência da fração inorgânica do fósforo, situação divergente da tendência verificada para as coletas realizadas em agosto/13, quando o comportamento do fósforo acompanhou a trajetória da fração orgânica. Entretanto, deve-se notar que, nos finais de semana, em ambas as campanhas, há maior similaridade nas trajetórias de P-org e P-total. Na Figura 48 pode-se visualizar o gráfico contendo os resultados referentes a P-total, P-org e P-inorg nas campanhas 03 e 06.

Figura 48: Fósforo total, fósforo orgânico e fósforo inorgânico – ETE PNM – campanhas 03 e 06.

Comparando-se graficamente os resultados de fósforo frente aos demais parâmetros analisados, verifica-se maior similaridade nas trajetórias de DQO, SST e P-org na campanha 03, e entre DQO, SST e P-inorg na campanha 06; com relação a surfactantes, alguma similaridade com relação a P-org pode ser visualizada nos finais de semana.

Nas Figuras 49 a 51, a seguir, podem ser observados os gráficos dos resultados nas diferentes campanhas.

Figura 49: DBO, DQO e fósforo – ETE PNM – campanhas 03 e 06. **Figura 50:** ST, SST e Fósforo – ETE PNM – campanhas 03 e 06. **Figura 51:** Surfactantes e fósforo – ETE PNM – campanhas 03 e 06.

Visando medir a relação existente entre os parâmetros analisados, que são DBO, DQO, ST, SST e surfactantes, em função do comportamento das diferentes frações de fósforo, foi verificada a correlação linear dos dados obtidos ao longo das campanhas 03 e 06, desenvolvidas em agosto/13 e abril/14.

Para tanto, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson (r)¹. Tal metodologia visa indicar o grau de correlação linear entre diferentes variáveis e apontar o ajustamento dos valores em torno de uma reta. Pressupõe que o acréscimo ou decréscimo de uma unidade na variável “X”, gera impacto semelhante em “Y”, de forma que o padrão de relacionamento pode ser ilustrado através de uma reta. O coeficiente r varia de 1 a -1, sendo que a correlação pode ser positiva, quando r for maior que 0, ou negativa, quando r for menor que 0. Quanto maior a proximidade de r aos extremos, maior é a correlação e, por outro lado, a sua proximidade do 0 indica a ausência de relação linear entre as variáveis estudadas (MARTINS e DONAIRE, 1982; LIRA, 2004; FIGUEIREDO FILHO e SILVA JUNIOR, 2009).

Efetuando-se o cálculo da relação entre os parâmetros segundo essa metodologia, pode-se verificar que, de maneira geral, há uma tendência de maior correlação entre DBO, DQO, SST e P-org, cujos coeficientes estão situados de 0,74 a 0,92, e entre ST e P-total, com valor de 0,72. Para P-poli, observa-se que a correlação é negativa para todos os parâmetros, podendo-se notar, inclusive, a ausência de relação linear com ST, cujo coeficiente r resultou em -0,01.

Deve-se observar, entretanto, que para o caso da DQO e do SST, o coeficiente r mantém-se acima de 0,56 para todas as frações de fósforo, indicando uma correlação de magnitude moderada a forte, mesmo no caso do P-poli, onde o r situado de -0,69 a -0,85, respectivamente, indica a existência de correlação, ainda que as variáveis sejam inversamente proporcionais. FIGUEIREDO FILHO e SILVA JUNIOR (2009), citando Dancey e Reidy (2005), destacam que o r de 0,1 a 0,3 indica correlação de magnitude fraca, de 0,4 a 0,6 a correlação é moderada, e acima de 0,7 a correlação é forte.

Na Tabela 26, podem ser visualizados os coeficientes resultantes da correlação entre as diferentes frações de fósforo e os parâmetros DBO, DQO, ST, SST e surfactantes. Ressalta-se que não foram considerados os dados da coleta do dia 07/08/13, visto a inexistência dos

¹ Coeficiente de correlação de Pearson – Também conhecido como coeficiente de correlação do momento-produto, foi o primeiro e é o mais conhecido método para medir a relação entre diferentes variáveis quantitativas. Foi introduzido por Francis Galton e seu aluno Karl Pearson, em 1897 (LIRA, 2004).

dados relativos a DBO, inviabilizando a correlação dos demais parâmetros.

Tabela 26: Correlação entre as diferentes frações de fósforo e os parâmetros DBO, DQO, ST, SST e surfactantes – ETE PNM.

		PARÂMETROS					CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO			
		DBO (mg.O2/L)	DQO (mg.O2/L)	ST mg/L	SST mg/L	Surfactantes mg.MBAS/L	P-total mg.P/L	P-org mg.P/L	P-orto mg.P/L	P-poli mg.P/L
Dia da coleta	06/ago	264	713	845	380	7	6,3	2,8	3,4	0,0
	08/ago	377	865	1030	620	10	9,7	6,7	3,1	0,0
	09/ago	301	609	780	370	9	5,7	3,3	2,7	0,0
	10/ago	360	646	750	347	9	4,9	3,0	1,0	0,6
	11/ago	284	659	740	393	9	4,5	3,9	0,0	0,4
	12/ago	262	540	560	295	7	4,1	2,3	0,9	0,6
	07/abr	259	409	708	180	5	2,9	1,0	0,3	1,6
	08/abr	309	528	688	148	2	4,4	2,0	0,5	1,9
	09/abr	230	469	692	100	3	5,3	0,4	1,8	3,1
	10/abr	263	462	1052	168	8	5,9	2,6	0,7	2,6
	11/abr	151	415	896	88	8	4,5	0,9	1,3	2,3
	12/abr	205	326	636	160	3	4,3	2,2	0,7	1,4
	13/abr	222	260	652	64	2	3,6	1,4	0,5	1,7
Coeficiente <i>r</i>	P-total	0,54	0,76	0,72	0,73	0,50				
	P-org	0,74	0,80	0,48	0,92	0,65				
	P-orto	0,26	0,61	0,44	0,56	0,35				
	P-poli	-0,58	-0,69	-0,01	-0,85	-0,57				

Para ilustração dos dados, foram elaborados os diagramas de dispersão dos resultados de DQO e SST, parâmetros que apresentaram correlação mais forte, frente às frações de fósforo, considerando-se os dados das campanhas 03 e 06, incluindo as respectivas linhas de tendência linear. Tais diagramas podem ser observados nas Figuras 52 e 53.

Figura 52: Diagrama de dispersão - DQO e P-total, P-org, P-orto e P-poli – ETE PNM.

Figura 53: Diagrama de dispersão - SST e P-total, P-org, P-orto e P-poli – ETE PNM.

Com relação às concentrações médias, mínimas e máximas das frações de fósforo, destaca-se que os resultados de abril/14 encontram-se sensivelmente inferiores aos da campanha de agosto/13. Somente para P-poli é que se verifica um aumento nas concentrações, com alteração do valor médio de 0,3 mg.P/L para 2,1 mg.P/L, nas coletas de agosto/13 e abril/14, respectivamente.

A verificação dos demais parâmetros analisados nas campanhas principais permite notar que, com exceção do ST, todos também apresentaram concentrações médias mais reduzidas nos esgotos coletados em abril/14, comparativamente com os dados de agosto/13. Merecem destaque os resultados apresentados de DQO, cuja concentração média foi alterada de 694 mg.O₂/L para 410 mg.O₂/L, o que corresponde a uma redução de cerca de 70%, pelo SST, cuja redução foi superior a 200%, bem como, pelos surfactantes com redução de aproximadamente 100%.

As concentrações mínimas, médias e máximas para fósforo, bem como para os demais parâmetros avaliados nas campanhas de coletas 03 e 06, que são DBO, DQO, ST, SST e surfactantes, podem ser verificadas nas Figuras 54 a 56, a seguir.

Figura 54: Concentrações mínimas, médias e máximas de fósforo – ETE PNM.

Figura 55: Concentrações mínimas, médias e máximas de DBO, DQO, ST e SST – ETE PNM.

Figura 56: Concentrações mínimas, médias e máximas de surfactantes – ETE PNM.

6.1.1.2 População Atendida

A projeção populacional para a bacia de esgotamento da ETE PNM aponta para uma população total de 2.238.670 habitantes, no ano de 2010, quando a vazão média de esgotos coletados na bacia era de 5.268 L/s, dos quais, 2.279 L/s eram encaminhados para tratamento na ETE; sendo assim, o índice de tratamento dos esgotos coletados era de 43% no período.

A previsão para o ano de 2015 é ampliar para 75% o índice de atendimento pela ETE, com projeção de tratamento de 4.558 L/s, de uma vazão total coletada de 6.057 L/s. Nesse período, a população total projetada para a bacia será de aproximadamente 2.248.472 habitantes (SABESP, 2006; SABESP, 2010).

Na Tabela 27, pode-se visualizar a evolução dos dados de atendimento projetados para a ETE PNM, nos anos de 2010 e 2015.

Tabela 27: Índice de atendimento – ETE PNM.

	População total	Vazão coletada de esgotos (L/s)	Vazão tratada de esgotos (L/s)	Índice de tratamento de esgotos (%)	População atendida com tratamento de esgotos
2010	2.238.670	5.268	2.279	43%	968.475
2015	2.248.472	6.057	4.558	75%	1.692.015

Fonte: SABESP, 2006; SABESP, 2010.

6.1.1.3 Cargas de Fósforo

Com base nas informações sobre as concentrações de fósforo obtidas nas campanhas principais de coleta realizadas em agosto/13 e abril/14, e nos dados populacionais e de atendimento contidos no item 6.1.1.2, foi efetuado o cálculo das cargas afluentes à

estação de tratamento PNM, e estimada a contribuição *per capita* de fósforo.

Os valores apurados indicam que a carga média de P-total na ETE PNM foi de 1.408 kg/dia durante a campanha de agosto/13, e de 1.116 kg/dia em abril/14. Sendo assim, a contribuição *per capita* média passou de 0,83 para 0,66 g/hab.dia.

Comparando-se os dois períodos de coleta, verifica-se que a carga de P-poli afluyente à ETE foi fortemente ampliada, passando de uma média de 62 kg/dia em agosto/13 para 527 kg/dia em abril/14, um acréscimo de mais de 800%. Já com relação à carga de P-orto, verifica-se uma redução superior a 50%, já que o valor médio passou de 452 kg/dia para 209 kg/dia; somados os resultados dessas duas frações de fósforo, verifica-se que a carga média de P-inorg foi alterada de 514 kg/dia para 736 kg/dia entre as duas campanhas. Em termos de contribuição *per capita*, os valores de P-inorg foram alterados da média de 0,30 para 0,43 g/hab.dia, sendo que a fração P-poli foi alterada de 0,04 para 0,31 g/hab.dia, em média.

Quanto à carga média de fósforo orgânico, pode-se verificar que as reduções ocorridas foram bastante similares à de P-orto, situando-se na faixa de 57%.

Pela comparação entre as campanhas de agosto/13 e abril/14, pode-se inferir que a redução observada na carga de P-total afluyente à estação foi provavelmente decorrente da diminuição da concentração de P-org e do aumento de P-inorg, possivelmente devido à elevação de P-poli, já que houve um aumento na vazão média.

Na Tabela 28, a seguir, podem ser visualizados os dados relativos a concentração de fósforo, carga e contribuição *per capita* nos diferentes períodos de coletas.

Com os dados obtidos, é também possível verificar as diferenças com relação às frações de fósforo presente no afluyente, em termos percentuais. Nesse sentido, a participação do P-orto passou de 32% para 19% entre agosto/13 e abril/14, o P-poli de 4% para 47% e o P-org de 64% para 34%.

Na sequência, na Figura 57, pode ser visualizada a distribuição percentual das cargas de fósforo relativas às campanhas 03 e 06, realizadas em agosto/13 e abril/14, respectivamente, de acordo com as diferentes frações de fósforo analisadas.

Tabela 28: Cargas e contribuições *per capita* de fósforo – ETE PNM – campanhas 03 e 06.

DATA DE INÍCIO		CONCENTRAÇÃO				VAZÕES MÉDIAS (L/s)	CARGA - P (kg/dia)				POPULAÇÃO ATENDIDA (hab)	CONTRIBUIÇÃO - P PER CAPITA (g/hab.dia)			
		Ptotal (mg.P/L)	P-org (mg.P/L)	P-orto (mg.P/L)	P-poli (mg.P/L)		P-total	P-org	P-orto	P-poli		P-total	P-org	P-orto	P-poli
06/08/13	Segunda	6,3	2,8	3,4	0,03	2529,92	1372,71	615,75	749,75	7,21	1.692.015	0,81	0,36	0,44	0,004
07/08/13	Terça	8,1	5,0	3,0	0,03	2719,08	1898,22	1180,99	709,48	7,75		1,12	0,70	0,42	0,005
08/08/13	Quarta	9,7	6,7	3,1	0,03	2388,25	2009,80	1373,64	629,35	6,81		1,19	0,81	0,37	0,004
09/08/13	Quinta	5,7	3,0	2,7	0,04	2646,33	1312,41	690,73	612,76	8,92		0,78	0,41	0,36	0,01
10/08/13	Sexta	4,9	3,3	1,0	0,6	2831,75	1189,06	799,56	232,43	157,07		0,70	0,47	0,14	0,09
11/08/13	Sábado	4,5	4,0	0,04	0,4	2845,83	1106,46	994,09	9,59	102,78		0,65	0,59	0,01	0,06
12/08/13	Domingo	4,1	2,6	0,9	0,6	2744,33	967,41	605,34	219,80	142,27		0,57	0,36	0,13	0,08
Mínimo		4,1	2,6	0,04	0,03	2388,25	967,41	605,34	9,59	6,81		0,57	0,36	0,01	0,004
Médio		6,2	3,9	2,0	0,3	2672,21	1408,01	894,30	451,88	61,83		0,83	0,53	0,27	0,04
Máximo		9,7	6,7	3,4	0,6	2845,83	2009,80	1373,64	749,75	157,07		1,19	0,81	0,44	0,09
07/04/14	Segunda	2,9	1,0	0,3	1,6	3004,75	752,87	249,23	88,27	415,38	1.692.015	0,44	0,15	0,05	0,25
08/04/14	Terça	4,4	2,0	0,5	1,9	2855,42	1085,52	500,82	115,95	468,75		0,64	0,30	0,07	0,28
09/04/14	Quarta	5,3	0,4	1,8	3,1	2921,42	1337,78	95,92	459,39	782,47		0,79	0,06	0,27	0,46
10/04/14	Quinta	5,9	2,6	0,7	2,6	2914,25	1485,57	647,10	183,81	654,66		0,88	0,38	0,11	0,39
11/04/14	Sexta	4,5	0,9	1,3	2,3	2877,33	1118,71	223,74	323,18	571,78		0,66	0,13	0,19	0,34
12/04/14	Sábado	4,3	2,2	0,7	1,4	3032,42	1126,60	584,26	175,54	366,80		0,67	0,35	0,10	0,22
13/04/14	Domingo	3,6	1,4	0,5	1,7	2908,67	904,71	361,88	115,60	427,22		0,53	0,21	0,07	0,25
Mínimo		2,9	0,4	0,3	1,4	2855,42	752,87	95,92	88,27	366,80		0,44	0,06	0,05	0,22
Médio		4,4	1,5	0,8	2,1	2930,61	1115,96	380,42	208,82	526,72		0,66	0,22	0,12	0,31
Máximo		5,9	2,6	1,8	3,1	3032,42	1485,57	647,10	459,39	782,47		0,88	0,38	0,27	0,46

Figura 57: Distribuição percentual das cargas de fósforo – ETE PNM.

A contribuição *per capita* média de fósforo apresentou alteração de 0,83 para 0,66 g/hab.dia, entre agosto/13 e abril/14, sendo que a fração orgânica foi alterada de 0,53 para 0,22 g/hab.dia, e a inorgânica de 0,30 para 0,43 g/hab.dia; tais valores médios podem ser considerados alinhados com a faixa de contribuição *per capita* típica de fósforo nos esgotos dimensionada para o Brasil, apresentada por METCALF & EDDY (2014), descrita no item 4.2 do presente trabalho. A visualização da contribuição *per capita* registrada para a ETE PNM e dos valores típicos máximos de acordo com essa fonte de consulta, consta da Figura 58, a seguir.

Figura 58: Contribuição *per capita* e valores típicos das contribuições de fósforo – ETE PNM.

6.1.2 ETE Franca

Desde o ano de 1998, a ETE Franca monitora os resultados referentes à concentração de P-total no esgoto afluente, sendo para o presente estudo foram disponibilizados os dados de 1998, e de 2003 a 2013.

Pelos dados históricos apresentados pela ETE, é possível notar que a concentração de P-total manteve uma média anual de 7,6 mg.P/L entre 1998 e 2005, passando para 7,1 mg.P/L entre 2006 e 2010, e posteriormente, para 4,9 mg.P/L entre 2011 e 2013. Tais resultados, que demonstram uma redução de aproximadamente 30% entre 1998 e 2013, podem ser visualizados na Tabela 29, a seguir.

Na Figura 59 observa-se a representação gráfica desses dados, onde se verifica a tendência de redução ao longo do período compreendido entre 1998 e 2013.

Tabela 29: Concentração média de fósforo no esgoto afluente – ETE Franca – 1998 a 2013.

Tabela 27: Concentração média de fósforo no efluente da ETE Parana 1998 a 2013.															
Parâmetro	Ano														
	1998	2003	2004	2005	MÉDIA 1998-2005	2006	2007	2008	2009	2010	MÉDIA 2006-2010	2011	2012	2013	MÉDIA 2011-2013
P-total (mg.P/L)	6,1	7,5	7,5	9,1	7,6	7,7	6,9	8,1	6,9	5,9	7,1	5,7	4,5	4,4	4,9

Fonte: SABESP, 2014b.

Figura 59: Concentração média de fósforo no esgoto afluente – ETE Franca – 1998 a 2013.

Os dados resultantes da campanha de coletas 01, realizada na ETE no período de 04 a 10/03/13, permitem identificar, inicialmente, que o esgoto afluente da estação apresentou uma concentração média de P-total na faixa de 5,3 mg.P/L, valor similar ao registrado no período entre 2011 e 2013, conforme média histórica para a concentração de P-total na ETE Franca anteriormente apresentada.

No entanto, ainda que os resultados para P-total na campanha 01 estejam similares à média histórica da ETE, a avaliação qualitativa desse resultado, bem como sua futura utilização e comparação com outros dados, pode ser considerada comprometida uma vez que foram verificadas falhas no processo de preservação das amostras, provavelmente devido à distância percorrida pelas amostras entre o ponto de coleta e o laboratório, situação considerada no desenvolvimento da metodologia, conforme

item 5.2.2 do presente trabalho, o que pode ter interferido nos resultados.

Conforme anteriormente citado, a instabilidade da condição de preservação da amostra, nas análises de fósforo, pode desencadear o processo de ação biológica e conduzir à alteração de valência dos constituintes, promovendo a conversão de elementos em matéria orgânica e sua liberação na solução (ANA, 2011).

Na Tabela 30, a seguir, podem ser visualizados os resultados obtidos para os parâmetros analisados na campanha 01 realizada na ETE Franca.

Tabela 30: Campanha 01 para coleta de amostras - ETE Franca.

				CONCENTRAÇÃO		
DATA INÍCIO		DATA TÉRMINO		Surfactantes (mg.MBAS/L)	P-total (mg.P/L)	P-orto (mg.P/L)
04/03/13	Segunda	05/03/13	Terça	6	4,3	1,3
05/03/13	Terça	06/13/13	Quarta	6	7,0	1,7
06/03/13	Quarta	07/03/13	Quinta	6	5,3	1,4
07/03/13	Quinta	08/03/13	Sexta	5	3,9	1,2
08/03/13	Sexta	09/03/13	Sábado	7	5,9	1,6
09/03/13	Sábado	10/03/13	Domingo	6	4,8	1,3
10/03/13	Domingo	11/03/13	Segunda	7	6,0	1,7

Quantitativamente, no entanto, pode-se identificar que os picos na concentração de P-total são acompanhados pelo incremento nos resultados de P-orto, como por exemplo, nas coletas iniciadas na terça e na sexta-feira, assim como no sábado e no domingo, quando ambas as frações de fósforo tendem a seguir a mesma trajetória. O padrão de similaridade no final de semana pode ser observado também com relação à concentração de surfactantes.

Na Figura 60, a seguir, pode-se visualizar o gráfico contendo as informações referentes às concentrações de fósforo e de surfactantes nos diferentes dias da semana da campanha de coletas 01 realizada na ETE Franca.

Figura 60: Concentração de fósforo e surfactantes – ETE Franca – campanha 01 – mar/13.

No que se refere à campanha 05, de amostras horárias, as coletas na ETE Franca foram iniciadas às 8 horas do dia 10/02/13 e finalizadas às 7 horas do dia 11/02/14, totalizando 25 amostras, sendo 24 referentes às coletas individuais e 01 amostra composta, conforme metodologia de composição abordado no item 5.2.3 do presente trabalho. Visando otimizar a logística e garantir os padrões de preservação das amostras, evitando os problemas detectados na campanha prévia, as análises foram efetuadas no próprio local, nas dependências do Laboratório da ETE, conforme descrito no item 5.2.4 deste trabalho.

A avaliação desses resultados obtidos nessa campanha de coletas permite observar, inicialmente, que as maiores vazões afluentes ocorreram entre 10 e 14 horas, e entre 20 e 22 horas. Tal comportamento, que é diferente do que foi observado na ETE PNM, é compatível com o hidrograma típico de vazões afluentes a uma ETE, apresentando picos mais acentuados no período da manhã e pico mais distribuído após o final de tarde (VON SPERLING, 2005; JORDÃO e PESSÔA, 2011).

Na Tabela 31, podem ser observados os resultados obtidos na coleta horária realizada na ETE Franca, conforme a seguir.

Tabela 31: Concentração de fósforo e vazões – ETE Franca – coleta horária.

DIA	HORA	CONCENTRAÇÃO (mg.P/L)			VAZÕES (L/s)
		P-total	P-org	P-orto	
10/fev	08:00	7,7	2,3	5,4	483
10/fev	09:00	6,0	1,8	4,2	
10/fev	10:00	5,7	1,7	4,0	581
10/fev	11:00	7,3	1,5	5,8	
10/fev	12:00	5,9	1,8	4,1	645
10/fev	13:00	4,1	1,0	3,1	
10/fev	14:00	4,0	1,5	2,5	636
10/fev	15:00	4,4	2,2	2,2	
10/fev	16:00	3,8	1,8	2,0	547
10/fev	17:00	5,0	1,3	3,7	
10/fev	18:00	4,4	1,3	3,1	553
10/fev	19:00	4,1	1,8	2,3	
10/fev	20:00	3,5	1,6	1,9	623
10/fev	21:00	4,2	1,1	3,1	
10/fev	21:00	3,3	1,7	1,6	591
10/fev	23:00	3,6	1,8	1,8	
10/fev	00:00	4,7	1,3	3,4	463
11/fev	01:00	4,8	2,4	2,4	
11/fev	02:00	3,2	1,9	1,3	234
11/fev	03:00	4,0	1,2	2,8	
11/fev	04:00	3,4	1,8	1,6	158
11/fev	05:00	2,4	1,6	0,8	
11/fev	06:00	2,2	1,7	0,5	172
11/fev	07:00	2,7	2,1	0,6	
Mínimo		2,2	1,0	0,5	158
Médio		4,4	1,7	2,7	474
Máximo		7,7	2,4	5,8	645
Amostra Composta		4,7	1,3	3,4	474

Nota-se que a concentração média de P-total, que é de 4,4 mg.P/L, encontra-se um pouco abaixo, porém bastante similar, à média histórica registrada para a ETE no período entre 2011 e 2013, que foi de 4,9 mg.P/L, bem como, do resultado apresentado pela amostra composta. Verifica-se, portanto, que os resultados refletem as condições operacionais da estação de tratamento ao longo do dia, em função das variações observadas na vazão e na composição dos esgotos afluentes à estação.

Ainda que o objetivo da coleta horária tenha sido a verificação e adequação da metodologia adotada para a coleta e composição das amostras, podem ser apontadas

algumas informações a respeito das variações ocorridas no comportamento do fósforo ao longo do dia. Sendo assim, verifica-se que para todas as frações de fósforo há uma variação similar, com picos bem localizados no período da manhã, entre 10 horas e 12 horas, e picos mais distribuídos desde o final da tarde até à noite, entre 17 horas e 1 hora.

O comportamento do P-orto tende a ser inversamente proporcional ao de P-org. A variação no P-total tende a ser influenciada pelo P-orto, de forma que ambos seguem trajetória similar.

É durante o período de vazões mais baixas, entre 4 e 6 horas, que são verificadas as menores concentrações de P-total e de P-orto, sendo que em alguns momentos, o P-orto chega bem próximo do zero. De forma inversa, nesses pontos a concentração de P-org se eleva. Tal situação pode indicar a contribuição de fontes com elevada concentração de matéria orgânica. A ilustração dos resultados da coleta horária, contendo as concentrações de fósforo no esgoto afluente à ETE Franca ao longo de 24 horas, bem como as vazões registradas, pode ser observada na Figura 61.

Figura 61: Concentração de fósforo e vazões – ETE Franca – coleta horária.

Tais resultados, no entanto, assim como o apontado para a ETE PNM, correspondem à amostragem horária realizada em um único dia. Para verificação das condições e das variações dos constituintes do esgoto afluente à ETE ao longo do dia, seria necessário um programa específico de coletas, abrangendo uma amostragem mais representativa, com diferentes dias da semana e estações diversas do ano.

6.1.2.1 Resultados das Campanhas 03 e 06

As campanhas 03 e 06 para coleta de esgotos na ETE Franca foram realizadas nos períodos de 06/08 a 12/08/13, e de 07 a 13/04/14. Nelas, assim como na ETE PNM, foram analisados os parâmetros amostrados na campanha 01 – P-total, P-org, P-orto, P-poli e surfactantes, acrescentando-se outros parâmetros considerados importantes para caracterização do esgoto afluente, que são DBO, DQO, ST e SST (PIVELI e KATO, 2005; VON SPERLING, 2005).

Cumprе ressaltar, que não foi possível efetuar as coletas do dia 10/04/14 devido a problemas no equipamento coletor automático de amostras, motivo que também inviabilizou a análise de ST na campanha desenvolvida em agosto/13.

Com relação às vazões médias, verifica-se que o resultado de agosto/13, de 432 L/s, encontra-se bastante próximo ao resultado da campanha de coleta horária, que foi de 474 L/s. Quanto à coleta de abril/14, o aumento na vazão média registrada, de 505 L/s, pode ser justificada pelas chuvas registradas no período de 11 a 13/04/13, que, de acordo com dados de FCTH (2014), atingiu 63,7 mm. A ocorrência de chuvas pode ter acarretado a contribuição indevida de águas pluviais para o sistema de coleta de esgotos, ocasionando aumento de vazões.

Quanto aos parâmetros analisados, assim como o observado para a ETE PNM, verifica-se que, com exceção do P-poli todos apresentam concentrações mínimas, médias e máximas mais reduzidas na campanha de abril/14, comparativamente aos

resultados de agosto/13; em termos percentuais, as reduções de DBO, DQO e SST, foram de 7%, 17% e 18%, respectivamente; quanto ao P-total, a redução foi de 27%. Vale ressaltar que tal comparação não pôde ser efetuada para o parâmetro ST, devido à impossibilidade de realização da análise desse parâmetro na coleta de agosto/13.

Com relação a surfactantes, nota-se que os resultados da campanha 03, com média de 17 mg.MBAS/L, estão bastante superiores aos da campanha 06, com concentração média de 4 mg.MBAS/L. De acordo com PIVELI e KATO (2005), a concentração típica de surfactantes nos esgotos situa-se na faixa de 3 a 6 mg.MBAS/L.

Avaliando-se os resultados de P-total ao longo da semana na campanha de coletas realizada em agosto/13, e comparando-os com os resultados obtidos em abril/14, verifica-se que o comportamento é similar, ainda que com menores valores médio e máximo, situação que também foi identificada na ETE PNM. Entretanto, ao longo da semana de outubro/13, podem ser verificados picos nas concentrações de P-total e de P-org, fato que não se repetiu nas coletas de abril/14, período em que valores tendem a manter certa regularidade.

Consultada a área operacional sobre o assunto, foram levantadas as seguintes situações que podem ter impactado no aumento da concentração de fósforo:

- No período de 06 a 08/08/13 a ETE recebeu 33 m³ de efluentes oriundos de empresa fabricante de insumos agrícolas e 15 m³ de resíduos de fossa séptica;
- No período da coleta iniciada no dia 12 e finalizada no dia 13/08/13, a ETE recebeu 114 m³ de resíduos oriundos de fossa séptica e 9 m³ de efluentes oriundos de empresa de produtos químicos.

Tendo em vista que o volume recebido desses efluentes pela ETE é baixo, se comparado com a vazão total do sistema de tratamento, e com base nas informações fornecidas pela área que monitora a operação do sistema, infere-se que os aumentos na concentração de fósforo podem ter sido decorrentes da realização da coleta automática no momento em que estava ocorrendo o recebimento dos efluentes citados.

Outro ponto a ser observado é o aumento na concentração de P-total no sábado da campanha 06, dia 11/04/14. Tal situação pode ter sido influenciada pelo aumento da pluviosidade, pois, conforme informado em FCTH (2014), o volume de chuvas nesse dia foi de quase 60% do volume total ocorrido entre 11 e 13/04/14. Na Tabela 32, podem ser observados os resultados obtidos nas campanhas 03 e 06.

Tabela 32: Resultados das campanhas 03 e 06 – ETE Franca.

DATA INÍCIO		DATA TÉRMINO		CONCENTRAÇÃO									VAZÕES
				DBO (mgO2/L)	DQO (mgO2/L)	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Surfact (mgMBAS/l)	P-total (mgP/L)	P-org (mgP/L)	P-orto (mgP/L)	P-poli (mgP/L)	MÉDIAS (L/s)
12/08/13	Segunda	13/08/13	Terça	360	666	-	270	18	12,0	11,5	<0,1	0,5	444
06/08/13	Terça	07/08/13	Quarta	320	631	-	294	13	5,9	3,8	1,2	0,9	426
07/08/13	Quarta	08/08/13	Quinta	340	738	-	284	16	7,4	5,9	0,7	0,9	439
08/08/13	Quinta	09/08/13	Sexta	340	685	-	334	16	4,7	3,7	1,0	0,1	456
09/08/13	Sexta	10/08/13	Sábado	320	782	-	318	19	3,4	2,0	0,7	0,7	453
10/08/13	Sábado	11/08/13	Domingo	300	654	-	322	18	4,2	1,9	0,6	1,7	436
11/08/13	Domingo	12/08/13	Segunda	320	632	-	240	16	7,7	5,8	1,5	0,5	368
Mínimo				300	631	-	240	13	3,4	1,9	<0,1	0,1	368
Médio				329	684	-	295	17	6,5	4,9	0,8	0,7	432
Máximo				360	782	-	334	19	12,0	11,5	1,5	1,7	456
07/04/14	Segunda	08/04/14	Terça	340	643	668	315	8	4,7	2,7	0,7	1,3	462
08/04/14	Terça	09/04/14	Quarta	320	607	622	242	6	4,9	2,7	1,1	1,1	449
09/04/14	Quarta	10/04/14	Quinta	330	626	632	306	2	5,2	3,3	0,1	1,8	530
10/04/14	Quinta	11/04/14	Sexta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11/04/14	Sexta	12/04/14	Sábado	320	600	610	322	4	4,0	3,8	0,2	<0,01	540
12/04/14	Sábado	13/04/14	Domingo	220	397	390	160	3	5,8	2,3	1,5	2,0	598
13/04/14	Domingo	14/04/14	Segunda	300	533	298	112	4	3,7	2,2	1,2	0,3	454
Mínimo				220	397	298	112	2	3,7	2,2	0,1	<0,01	449
Médio				305	568	537	243	4	4,7	2,8	0,8	1,1	505
Máximo				340	643	668	322	8	5,8	3,8	1,5	2,0	598

Analisando graficamente os dados apresentados pela ETE Franca, verifica-se que o comportamento do P-total na campanha 03, realizada em agosto/13 tende a acompanhar a trajetória do P-org, enquanto nos resultados de abril/14, verifica-se uma maior influência da fração inorgânica no comportamento do P-total, em especial do P-orto. No entanto, ainda que os resultados para P-total demonstrem certa regularidade nas concentrações no transcorrer da 6ª campanha, em abril/14, o P-orto apresenta picos e depressões proeminentes e divergentes da 3ª campanha, em agosto/13, especialmente na quinta, na sexta e no sábado.

As frações P-poli e P-orto apresentam similaridade no início da semana de ambas as campanhas, de segunda a quarta-feira; já de sexta-feira a sábado, os resultados desses

parâmetros demonstram ser inversamente proporcionais, ou seja, no período em que as concentrações de P-orto estão mais reduzidas, as concentrações de P-poli apresentam elevação. Tais informações podem ser visualizadas na Figura 62.

Figura 62: Resultados das frações de fósforo – ETE Franca – campanhas 03 e 06.

A avaliação da relação entre as frações inorgânica e orgânica de fósforo, permite identificar que a fração orgânica tende a se manter superior à inorgânica ao longo das duas campanhas de coletas; durante os sábados das duas campanhas, o P-inorg apresentou concentração superior ao P-org. Tal situação não foi verificada na ETE PNM, onde os picos de concentração de P-inorg foram observados no decorrer da semana, especialmente no período de terça a quinta-feira, e não aos sábados.

Para a ETE Franca, de maneira geral, verifica-se que as trajetórias desenhadas pelo

P-org e pelo P-total tendem a apresentar maior similaridade, contendo picos e depressões coincidentes. Na Figura 63, pode-se visualizar o gráfico contendo os resultados referentes às concentrações de P-total, P-org e P-inorg nas campanhas de agosto/13 e abril/14.

Figura 63: P-total, P-org e P-inorg – ETE Franca – campanhas 03 e 06.

A visualização gráfica da trajetória das frações total, orgânica e inorgânica do fósforo ao longo da semana, nas duas campanhas de coleta, e sua análise frente aos demais parâmetros, permite identificar que o comportamento da DQO pode ser influenciado, em alguns momentos, pela fração inorgânica do fósforo, enquanto a trajetória do SST tende a coincidir com a de P-org. Quanto aos surfactantes, observa-se trajetória similar ao do P-org, especialmente na campanha 06. Nas Figuras 64 a 66, podem ser observados os gráficos dos resultados de fósforo e dos demais parâmetros, nas campanhas 03 e 06.

Figura 64: DBO, DQO e fósforo – ETE Franca – campanhas 03 e 06 **Figura 65: ST, SST e fósforo – ETE Franca – campanhas 03 e 06.** **Figura 66: Surfactantes e fósforo – ETE Franca – campanhas 03 e 06.**

O cálculo da correlação linear dos dados obtidos ao longo das campanhas 03 e 06, desenvolvidas em agosto/13 e abril/14, e a avaliação do coeficiente r , indica que, de maneira geral, há uma maior correlação entre DBO e P-org, cujo coeficiente é de 0,52. Entre SST e P-orto, o coeficiente de correlação é de -0,56, indicando que as variáveis são inversamente proporcionais.

Observa-se tanto para P-orto como para P-poli, que a correlação é negativa para todos os parâmetros. Pode-se observar também, a ausência de relação linear entre SST, P-total, P-org e P-poli, cujos coeficientes r resultou em -0,06, 0,07 e -0,07, respectivamente, ainda que a correlação com P-orto tenha sido elevada. O coeficiente r mantém-se mais próximo dos extremos para os parâmetros DBO e DQO, indicando uma correlação de magnitude de fraca a moderada, mesmo nos casos em que a mesma é negativa. Exceção deve ser apontada para o P-total, onde o coeficiente de 0,08, indica a existência de relação linear com DQO.

Na Tabela 33, podem ser visualizados os coeficientes resultantes da correlação entre os parâmetros analisados, em função das frações de fósforo. Ressalta-se que não foram considerados os dados de ST, visto a indisponibilidade de dados relativos à campanha 03, de agosto/13, o que inviabiliza a correlação dos demais parâmetros.

Tabela 33: Correlação entre as diferentes frações de fósforo e os parâmetros DBO, DQO SST e surfactantes – ETE Franca.

		PARÂMETROS				CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO				
		DBO	DQO	SST	Surfactantes	P-total	P-org	P-orto	P-poli	P-inorg
		(mg.O ₂ /L)	(mg.O ₂ /L)	mg/L	mg.MBAS/L	mg.P/L	mg.P/L	mg.P/L	mg.P/L	P-inorg
Dia da coleta	12/ago	360	666	270	18	12,0	11,5	0,1	0,5	0,6
	06/ago	320	631	294	13	5,9	3,8	1,2	0,9	2,1
	07/ago	340	738	284	16	7,4	5,9	0,7	0,9	1,5
	08/ago	340	685	334	16	4,7	3,7	1,0	0,1	1,0
	09/ago	320	782	318	19	3,4	2,0	0,7	0,7	1,4
	10/ago	300	654	322	18	4,2	1,9	0,6	1,7	2,3
	11/ago	320	632	240	16	7,7	5,8	1,5	0,5	2,0
	07/abr	340	643	315	8	4,7	2,7	0,7	1,3	2,0
	08/abr	320	607	242	6	4,9	2,7	1,1	1,1	2,2
	09/abr	330	626	306	2	5,2	3,3	0,1	1,8	1,9
	11/abr	320	600	322	4	4,0	3,8	0,2	0,0	0,2
	12/abr	220	397	160	3	5,8	2,3	1,5	2,0	3,5
	13/abr	300	533	112	4	3,7	2,2	1,2	0,3	1,5
Coeficiente r	P-total	0,32	0,08	-0,06	0,36					
	P-org	0,52	0,24	0,07	0,40					
	P-orto	-0,56	-0,44	-0,57	-0,06					
	P-poli	-0,50	-0,35	-0,07	-0,28					

Para ilustração dos dados, foram elaborados os diagramas de dispersão dos resultados de DBO e DQO, parâmetros que apresentaram correlação mais elevada, frente às frações de fósforo, considerando-se os dados das campanhas 03 e 06, incluindo as respectivas linhas de tendência linear. Tais diagramas podem ser observados nas Figuras 67 e 68.

Figura 67: Diagrama de dispersão - DBO e P-total, P-org, P-orto e P-poli – ETE Franca.

Figura 68: Diagrama de dispersão – DQO, P-total, P-org, P-orto e P-poli – ETE Franca.

Com relação às concentrações mínimas, médias e máximas, verifica-se que os resultados de P-total e de P-org em abril/14 encontram-se inferiores aos da campanha de agosto/13, com alteração das médias de 6,5 mg.P/L e 4,9 mg.P/L, respectivamente, para 4,7 mg.P/L e 2,8 mg.P/L. Para P-poli, verifica-se um aumento nas concentrações, com alteração do valor médio de 0,7 mg.P/L para 1,1 mg.P/L; a média de P-orto manteve-se na faixa de 0,8 mg.P/L.

Ampliando essa verificação para os demais parâmetros analisados, nota-se que todos também apresentaram concentrações médias mais reduzidas em abril/14, comparativamente a agosto/13, com destaque aos surfactantes, cuja concentração média foi alterada de 17 mg.MBAS/L para 4 mg.MBAS/L, uma redução de aproximadamente 280%.

As concentrações mínimas, médias e máximas para a série de fósforo, bem como para os parâmetros DBO, DQO, SST e surfactantes nas diferentes campanhas, podem ser vistas nas Figuras 69 e 71. Ressalta-se que os dados referentes a ST não puderam ser avaliados, tendo em vista que não foi realizada análise para esse parâmetro na campanha 03, de agosto/13.

Figura 69: Concentrações mínimas, médias e máximas de fósforo – ETE Franca.

Figura 70: Concentrações mínima, média e máxima de DBO, DQO e SST – ETE Franca.

Figura 71: Concentrações mínima, média e máxima de surfactantes – ETE Franca.

6.1.2.2 População Atendida

De acordo com dados apresentados por VANZO et al. (2000), a população atendida pela ETE Franca era de aproximadamente 215 mil habitantes no ano de 2000.

Dados apresentados em SABESP (2014d) indicam que a população atendida pelo sistema de esgotos operado pela ETE Franca era de 268.582 habitantes desde

janeiro/13, permanecendo inalterada até janeiro/14, quando houve uma alteração no percentual de tratamento dos esgotos coletados, que evoluiu de 98,5% para 100%. Sendo assim, o número de pessoas atendidas pela ETE Franca foi alterado de 264.553 em 2013, para 268.582 em 2014.

Cumprе ressaltar que essa população corresponde a cerca de 80% do município de Franca, já que conforme abordado no item 5.2.1.2, aproximadamente 20% da população é atendida por sistemas de menor porte. Na Tabela 34, visualiza-se a evolução do índice de atendimento através sistema de esgotos sanitários operado pela ETE Franca no período entre janeiro/13 e abril/14.

Tabela 34: Índice de atendimento – ETE Franca.

	População atendida com coleta de esgotos	Vazão coletada de esgotos (L/s)	Vazão tratada de esgotos (L/s)	Índice de tratamento de esgotos (%)	População atendida com tratamento de esgotos
jan/13	268.582	492	485	98,5%	264.553
fev/13	268.582	427	421	98,5%	264.553
mar/13	268.582	426	419	98,5%	264.553
abr/13	268.582	428	422	98,5%	264.553
mai/13	268.582	438	431	98,5%	264.553
jun/13	268.582	421	415	98,5%	264.553
jul/13	268.582	425	419	98,5%	264.553
ago/13	268.582	454	447	98,5%	264.553
set/13	268.582	464	457	98,5%	264.553
out/13	268.582	457	450	98,5%	264.553
nov/13	268.582	464	457	98,5%	264.553
dez/13	268.582	456	449	98,5%	264.553
jan/14	268.582	469	469	100,0%	268.582
fev/14	268.582	471	471	100,0%	268.582
mar/14	268.582	454	454	100,0%	268.582
abr/14	268.582	454	454	100,0%	268.582

Fonte: SABESP, 2014d.

6.1.2.3 Cargas de Fósforo

Com base nas informações sobre as concentrações de fósforo obtidas nas campanhas 03 e 06, e nos dados sobre população atendida pelo sistema de tratamento de esgotos,

foi efetuado o cálculo das cargas de fósforo afluentes à estação de Franca e estimada a contribuição *per capita*. Os valores apurados indicam uma redução na quantidade média de P-total que chegou à ETE Franca no período analisado, com um aporte de 240 kg/dia nas coletas de agosto/13, e de 208 kg/dia na campanha de abril/14. Sendo assim, a contribuição *per capita* passou de, em média, 0,91 g/hab.dia para 0,77 g/hab.dia. Tal situação resulta das menores concentrações de fósforo verificadas em agosto/13, conforme descrito no item 6.1.2.1 deste trabalho, já que as vazões registradas em abril/14 (505 L/s) foram maiores do que agosto/13 (432 L/s), bem como, houve um aumento da contribuição devido à ampliação do atendimento.

Em ambas as campanhas, a maior parte da carga de fósforo que chegou até a ETE teve origem na fração orgânica. Em agosto/13, a carga de P-org que chegou até a ETE foi, em média, de 76% do P-total; em abril/14, esse valor foi de 60%. No entanto, foi justamente a carga de P-org que sofreu maior redução na comparação dos resultados entre as duas campanhas, passando de 183,03 kg/dia para 124,05 kg/dia, o que corresponde a uma diminuição de 32%. Se somados os resultados das frações inorgânicas de fósforo, verifica-se que houve um acréscimo na carga média de aproximadamente 50%, situação que é possivelmente resultante do acréscimo na carga de P-poli, que passou de 27,03 kg/dia para 48,75 kg/dia, uma ampliação de aproximadamente 80%.

Sendo assim, pela comparação entre as campanhas de agosto/13 e abril/14, pode-se inferir que a evolução observada na carga de P-total afluente à estação foi provavelmente decorrente do aumento na contribuição da fração inorgânica de fósforo e da diminuição na fração orgânica, destacando-se que as alterações nas contribuições médias de P-orto foram menores, ainda que tenham ocorrido diferenças nos picos máximos e mínimos.

A Tabela 35, a seguir, contém dados de concentração, carga e contribuição *per capita* de fósforo obtidas nas campanhas 03 e 06, realizadas em agosto/13 e abril/14, respectivamente.

Tabela 35: Cargas e contribuições *per capita* de fósforo – ETE Franca – campanhas 03 e 06.

DATA INÍCIO		CONCENTRAÇÃO				VAZÕES MÉDIAS (L/s)	CARGA - P (kg/dia)				POPULAÇÃO ATENDIDA (hab)	CONTRIBUIÇÃO - P PER CAPITA (g/hab.dia)			
		P-total (mg.P/L)	P-org (mg.P/L)	P-orto (mg.P/L)	P-poli (mg.P/L)		P-total	P-org	P-orto	P-poli		P-total	P-org	P-orto	P-poli
12/08/13	Segunda	12,0	11,5	< 0,1	0,5	443,58	459,91	440,74	3,83	17,63	264.553	1,74	1,67	0,01	0,07
06/08/13	Terça	5,9	3,8	1,2	0,9	425,92	217,12	141,31	44,16	31,65		0,82	0,53	0,17	0,12
07/08/13	Quarta	7,4	5,9	0,7	0,9	438,67	280,47	223,24	25,01	32,22		1,06	0,84	0,09	0,12
08/08/13	Quinta	4,7	3,7	1,0	0,1	455,50	184,97	144,43	38,57	1,97		0,70	0,55	0,15	0,01
09/08/13	Sexta	3,4	2,0	0,7	0,7	453,00	133,07	78,28	27,40	27,40		0,50	0,30	0,10	0,10
10/08/13	Sábado	4,2	1,9	0,6	1,7	436,17	158,28	71,22	22,99	64,06		0,60	0,27	0,09	0,24
11/08/13	Domingo	7,7	5,8	1,5	0,5	367,67	244,60	182,66	47,65	14,29		0,92	0,69	0,18	0,05
Mínimo		3,4	1,9	<0,1	0,1	367,67	133,07	71,22	3,83	1,97		0,50	0,27	0,01	0,01
Médio		6,5	4,9	0,8	0,7	431,50	239,77	183,13	29,94	27,03		0,91	0,69	0,11	0,10
Máximo		12,0	11,5	1,5	1,7	455,50	459,91	440,74	47,65	64,06		1,74	1,67	0,18	0,24
07/04/14	Segunda	4,7	2,7	0,7	1,3	461,83	187,54	106,54	29,13	51,87	268.582	0,70	0,40	0,11	0,19
08/04/14	Terça	4,9	2,7	1,1	1,1	449,42	190,27	104,84	42,71	42,71		0,71	0,39	0,16	0,16
09/04/14	Quarta	5,2	3,3	0,1	1,8	529,83	238,04	151,07	4,58	82,40		0,89	0,56	0,02	0,31
10/04/14	Quinta	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-
11/04/14	Sexta	4,0	3,8	0,2	<0,01	539,75	186,54	176,74	9,33	0,47		0,69	0,658	0,035	0,002
12/04/14	Sábado	5,8	2,3	1,5	2,0	597,83	299,59	118,80	77,48	103,31		1,12	0,44	0,29	0,38
13/04/14	Domingo	3,7	2,2	1,2	0,3	454,17	145,19	86,33	47,09	11,77		0,54	0,32	0,18	0,04
Mínimo		3,7	2,2	0,1	<0,01	449,42	145,19	86,33	4,58	0,47		0,54	0,321	0,017	0,002
Médio		4,7	2,8	0,8	1,1	505,47	207,86	124,05	35,05	48,75		0,77	0,46	0,13	0,18
Máximo		5,8	3,8	1,5	2,0	597,83	299,59	176,74	77,48	103,31		1,12	0,66	0,29	0,38

É possível verificar também as diferenças com relação às frações de fósforo entre as campanhas, em termos percentuais. Nesse sentido, as reduções identificadas as cargas afluentes refletem na composição das contribuições identificadas nos períodos estudados, nos quais a participação do P-orto passou de 13% para 17% entre agosto/13 e abril/14, do P-poli passou de 11% para 23%, e do P-org passou de 76% para 60%. Na Figura 72, pode ser visualizada a distribuição percentual das cargas de fósforo em agosto/13 e abril/14, de acordo com as diferentes frações analisadas.

Figura 72: Distribuição percentual das cargas de fósforo – ETE Franca.

A contribuição *per capita* média de fósforo total foi registrada em 0,91 g/hab.dia no mês de agosto/13 e em 0,77 g/hab.dia em abril/14, sendo que a fração orgânica situou-se

entre 0,69 e 0,46 g/hab.dia, e a inorgânica, entre 0,22 e 0,31 g/hab.dia. Tais valores médios bastante aproximados da faixa de contribuição *per capita* típica de fósforo nos esgotos dimensionada para o Brasil, apresentada por METCALF & EDDY (2014), descrita no item 4.2 do presente trabalho, destacando-se que os resultados de P-org estão ligeiramente acima da faixa prevista, que é de 0,4 a 0,6 mg.P/L, enquanto a de P-inorg está abaixo, cuja faixa é prevista entre 0,2 a 0,4 mg.P/L. A visualização da faixa de contribuição *per capita* na ETE Franca, com indicação dos valores típicos máximos conforme bibliografia consultada, consta da Figura 73.

Figura 73: Contribuição *per capita* e valores típicos das cargas de fósforo – ETE Franca.

6.1.3 ETE Conchas

Tendo em vista que a ETE Conchas foi inaugurada no ano de 2012, conforme abordado no item 5.2.1.3 do presente trabalho, estão disponíveis os resultados para concentração de fósforo total no esgoto afluente dos anos de 2012 e 2013, na forma de médias anuais.

Assim, ainda que não seja possível avaliar o comportamento histórico do parâmetro, os resultados disponíveis, referentes aos anos 2012 e 2013, estão apresentados no presente trabalho, conforme Tabela 36.

Tabela 36: Concentração média de fósforo no esgoto afluente – ETE Conchas – 2012 e 2013.

Parâmetro	Ano		MÉDIA
	2012	2013	2012-2013
P-total (mg.P/L)	5,0	5,7	5,3

Fonte: SABESP, 2014c.

Cumprir citar que a concentração média de fósforo na ETE Conchas entre 2012 e 2013, foi de 5,3 mg.P/L, enquanto nas demais estações de tratamento analisadas, conforme itens 6.1.1 e 6.1.2 deste trabalho, a média foi de 4,9 mg.P/L. Tal situação pode ser decorrente das diferenças observadas no procedimento de coletas adotado para obtenção dos resultados, que em Conchas envolve frequência trimestral e amostragem simples. Ou seja, em Conchas o resultado médio anual, expressa a concentração obtida em amostra única coletada a cada três meses, enquanto nas demais estações os resultados correspondem às coletas mensais obtidas por amostragem composta.

Na ETE Conchas foram desenvolvidas as campanhas 03, 04, 05 e 06. As campanhas 01 e 02 não puderam ser desenvolvidas nessa estação de tratamento devido à impossibilidade de utilização do equipamento ultrassônico para medição de vazão, que entrou em operação em junho/2013, o que inviabilizou o procedimento para composição de amostras nos períodos em que as campanhas 01 e 02 foram realizadas. Todas as campanhas na ETE Conchas tiveram início às 10 horas, com finalização às 8 horas do dia seguinte, seguindo o procedimento de composição de amostras citado na metodologia deste trabalho, no item 5.2.3. O horário estipulado para início e término das coletas nessa ETE, teve como objetivo alinhar a pesquisa de campo à rotina operacional interna específica da estação.

A campanha 04 foi realizada no período de 21 a 27/10/13, com exceção do dia 23/10/13, quando não foi possível efetuar a coleta devido a problema técnico no sistema de registro das vazões, que não permitiu a composição das amostras. Além dos

parâmetros de fósforo analisados nas campanhas 01 e 02 nas outras estações de tratamento, foi efetuada nessa campanha em Conchas, a análise de fósforo solúvel, ou P-sol. O objetivo foi avaliar seu comportamento frente aos demais parâmetros analisados, oferecendo subsídios para avaliação quanto à necessidade de sua inclusão no procedimento. O P-poli não foi analisado na campanha 04 devido à indisponibilidade de metodologia analítica para esse parâmetro no laboratório onde foi feita a análise das demais frações de fósforo, conforme apresentado no item 5.2.4 do presente trabalho.

Para complemento dos dados, foram analisados também os parâmetros DBO, DQO e SST, verificados na primeira campanha 03, realizada em agosto/13, e destinados à caracterização do esgoto afluente (PIVELI e KATO, 2005; VON SPERLING, 2005).

Na Tabela 37 a seguir, podem ser visualizados os resultados obtidos para os parâmetros analisados na campanha 04 realizada na ETE Conchas.

Tabela 37: Campanha 04 para coleta de amostras – ETE Conchas.

				CONCENTRAÇÃO						
DATA INÍCIO		DATA TÉRMINO		DBO (mg.O2/L)	DQO (mg.O2/L)	SST (mg/L)	P-total (mg.P/L)	P-org (mg.P/L)	P-orto (mg.P/L)	P-sol (mg.P/L)
21/10/13	Segunda	22/10/13	Terça	319	752	274	7,2	4,5	2,8	5,5
22/10/13	Terça	24/10/13	Quarta	589	1267	470	7,7	4,1	3,5	5,6
24/10/13	Quarta	24/10/13	Quinta	-	-	-	-	-	-	-
24/10/13	Quinta	25/10/13	Sexta	205	406	198	7,3	3,2	4,1	6,7
25/10/13	Sexta	26/10/13	Sábado	300	495	220	9,3	5,0	4,2	6,3
26/10/13	Sábado	27/10/13	Domingo	253	515	228	8,6	4,6	4,0	6,4
27/10/13	Domingo	28/10/13	Segunda	293	356	188	9,4	5,1	4,3	6,8

Pode-se observar, inicialmente, que a concentração registrada para P-total foi superior à média dos anos anteriores, situando-se na faixa de 8,2 mg.P/L, havendo tendência de maior concentração na sexta-feira, sábado e domingo. A concentração de P-org tende a se manter mais alta que a de P-orto ao longo do período analisado, com exceção da quinta-feira, dia 24/10/13, quando a concentração de P-orto é mais alta que a de P-org. Também neste dia a concentração de P-sol encontra-se mais próxima do P-total presente na amostra. Pode-se constatar a possível influência do comportamento do P-orto nos resultados obtidos para P-sol, lembrando que, conforme citado anteriormente, no item 5.2.4 do presente trabalho, o P-sol é composto principalmente por P-orto e P-poli.

Na segunda e na terça-feira, quando a concentração de P-orto está mais baixa, são

verificadas as maiores flutuações nos resultados de DBO e DQO. Nesse período, inclusive, a relação DQO/DBO encontra-se mais elevada, com valores de 2,36 e 2,15, respectivamente, o que pode indicar presença de matéria orgânica não biodegradável e, assim, possível lançamento de efluente não doméstico. Já no sábado e no domingo, as diferenças entre P-orto e P-total demonstram certa regularidade. Na Figura 74, pode-se observar o gráfico contendo as informações sobre concentrações dos parâmetros analisados na campanha 04 realizada na ETE Conchas.

Figura 74: Concentração de fósforo, DBO, DQO e SST na ETE Conchas – Campanha 04.

Com relação à campanha 05, de amostras horárias, verifica-se que as maiores vazões afluentes ocorreram entre 12 e 14 horas, e entre 20 e 21 horas. Tal comportamento é similar ao observado na ETE Franca, guardando relação com o hidrograma típico de vazões afluentes a uma ETE. No entanto, situação específica pode ser observada no horário entre 24 e 2 horas, que também registrou um pico de vazão.

Consultada a área operacional da estação de tratamento a respeito do assunto, foi informado sobre a ocorrência de precipitação pluviométrica da ordem de 5 mm no local, naquele período, o que pode ter acarretado um aumento das vazões em decorrência de possível lançamento indevido de águas pluviais nas redes coletoras de esgotos. O banco de dados da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) da USP entretanto,

não indica registro de precipitação pluviométrica para esse dia no Posto Conchas, que operado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), sob prefixo E5-001 (FCTH, 2014).

Quanto ao comportamento do fósforo, é possível notar, inicialmente, que tanto a concentração média quanto a concentração máxima de P-total, de 2,9 mg.P/L e 4,1 mg.P/L, respectivamente, estão sensivelmente abaixo dos valores registrados na campanha 04, realizada em outubro/13, cujo resultado manteve-se superior a 7,0 mg/L. No entanto, quando avaliada a média histórica da estação, bem como os resultados das campanhas 03 e 06, que serão apresentadas no item 6.1.3.1, frente ao resultado apresentado pela amostra composta relativa a essa coleta, verifica-se que os resultados são bastante compatíveis. Na Tabela 38, podem ser observados os resultados da coleta horária realizada em Conchas.

Tabela 38: Concentração de fósforo e vazões – ETE Conchas - coleta horária.

DIA	HORA	CONCENTRAÇÃO (mg.P/L)			VAZÕES (L/s)
		P-total	P-org	P-orto	
10/fev	10:00	3,1	1,4	1,7	11
10/fev	11:00	2,9	1,0	1,9	
10/fev	12:00	3,1	1,3	1,8	13
10/fev	13:00	3,0	1,1	1,9	
10/fev	14:00	2,8	1,0	1,8	13
10/fev	15:00	2,7	1,1	1,6	
10/fev	16:00	2,6	1,0	1,6	12
10/fev	17:00	2,6	1,2	1,4	
10/fev	18:00	2,6	1,0	1,6	11
10/fev	19:00	2,8	1,2	1,6	
10/fev	20:00	2,9	1,4	1,6	14
10/fev	21:00	2,9	1,1	1,9	
10/fev	21:00	3,1	1,5	1,6	13
10/fev	23:00	2,7	1,0	1,7	
10/fev	00:00	2,7	1,1	1,7	12
11/fev	01:00	2,8	1,2	1,7	
11/fev	02:00	3,2	1,6	1,6	13
11/fev	03:00	2,7	1,2	1,5	
11/fev	04:00	2,5	1,0	1,5	9
11/fev	05:00	2,1	0,7	1,4	
11/fev	06:00	2,3	0,9	1,4	6
11/fev	07:00	4,1	2,3	1,8	
11/fev	08:00	2,9	0,5	2,4	6
11/fev	09:00	3,3	1,2	2,1	
Mínimo		2,1	0,5	1,4	6
Médio		2,9	1,2	1,7	11
Máximo		4,1	2,3	2,4	14
Amostra Composta		3,4	1,8	1,6	11

Tais resultados permitem concluir que a periodicidade e a frequência de coleta adotada para amostragem composta refletem as condições operacionais da estação de tratamento ao longo do dia, e da semana, em função das variações observadas na vazão e na composição dos esgotos afluentes à estação.

Ainda que o objetivo da coleta horária tenha sido a verificação e adequação da metodologia adotada para a coleta e composição das amostras, podem ser apontadas algumas informações a respeito das variações ocorridas no comportamento do fósforo ao longo do dia. No que se refere a P-orto, verifica-se uma tendência de regularidade nas concentrações ao longo do dia, o que reflete na similaridade dos resultados para concentração mínima, média e máxima. É possível identificar picos distribuídos no início da manhã, entre 6 e 9 horas, períodos nos quais as vazões afluentes à ETE estão mais baixas, e à noite, entre 19 e 22 horas.

A variação na concentração de P-total é influenciada diretamente pela concentração de P-org, parâmetros que tendem a seguir trajetória similar. Ou seja, os períodos de pico e de depressão de P-total e P-org tendem a coincidir. Nos horários em que são verificadas as concentrações mais elevadas de P-orto e as menores vazões, as concentrações de P-org estão mais reduzidas. Os resultados da campanha 05, referente à coleta horária, abrangendo as concentrações de fósforo no esgoto afluente à ETE Conchas a as vazões registradas, podem ser observados na Figura 75.

Figura 75: Concentração de fósforo e vazões – ETE Conchas – coleta horária.

Cumprе ressaltar também, como já citado para as coletas nas demais ETEs amostradas neste trabalho, que esse comportamento foi registrado para a coleta horária realizada em um único dia, de acordo com a metodologia proposta. Para análise detalhada das condições do afluente ao longo do dia e da semana, conforme já citado, seria necessário um programa específico de coletas, abrangendo uma amostragem mais representativa, com diferentes dias da semana e estações diversas do ano.

6.1.3.1 Resultados das Campanhas 03 e 06

As campanhas 03 e 06 para coleta de esgotos na ETE Conchas foram realizadas no período de 06 a 12/08/13, e de 07 a 13/04/14, com análise dos parâmetros P-total, P-org, P-orto, P-poli e surfactantes. Além da série de fósforo, assim como nas ETEs PNM e Franca, foram analisados nas campanhas 03 e 06, outros parâmetros considerados importantes para caracterização do esgoto afluente, que são DBO, DQO, ST e SST (PIVELI e KATO, 2005; VON SPERLING, 2005).

Com relação às vazões médias, verifica-se que o valor registrado na campanha realizada em agosto/13, de 22,69 L/s, é sensivelmente superior ao registro efetuado em abril/14, de 14,58 L/s; é também superior ao apontado na campanha de coleta horária, que apresentou vazão média de 11 L/s. Verifica-se que tal situação não resulta da ocorrência de precipitações pluviométrica, pois de acordo com FCTH (2014), não houve registro de chuvas no Posto Conchas - prefixo E5-001, durante as campanhas 03 e 06. Sendo assim, é possível que tal situação seja decorrente de lançamentos de efluentes não domésticos na rede coletora de esgotos, ocasionando aumento das vazões afluentes à ETE.

Quanto aos parâmetros analisados, verifica-se que, com exceção do SST, todos apresentam concentrações mínimas, médias e máximas mais reduzidas na campanha de abril/14, comparativamente aos resultados de agosto/13; em termos percentuais, as reduções de DBO, DQO e ST, foram de 7%, 15% e 4%, respectivamente; a concentração de SST apresentou aumento de 10%.

Quanto ao P-total, a redução foi de 17%; de forma inversa, o P-poli apresentou concentrações maiores na campanha de abril/14, apresentando uma diferença que atinge mais de 400%, com alteração de 0,5 para 2,3 mg.P/L entre os resultados de agosto/13 e abril/14. Condições similares foram observadas nas ETEs PNM e Franca.

Verifica-se a ocorrência de alguns picos e depressões de P-total ao longo da semana de agosto/13, quando a concentração chegou a atingir 17,0 mg.P/L, situação que se repete em abril/14, que apresentou um pico de 13,0 mg.P/L. Esses picos foram concomitantes com o aumento na concentração de DQO e SST. Importante observar que as concentrações obtidas nesses picos observados nas campanhas 03 e 06 são bastante similares ao resultado obtido na amostragem composta referente à campanha 05.

Para verificar as possíveis origens desses picos de concentração de fósforo, foi consultada a área operacional, que apontou algumas alternativas com relação ao lançamento de efluentes não domésticos nas redes coletoras de esgotos. Considerando-se que a ETE Conchas tem vazão reduzida, admite-se que eventuais lançamentos inadequados nas redes coletoras podem afetar os resultados do sistema. Dos casos levantados, alguns possuem indícios de irregularidade, tais como:

- Efluente de fábrica de refrigerantes, de médio porte;
- Resíduos de matadouro;
- Lixiviado do aterro sanitário do município de Cesário Lange, com recebimento efetivado pela operação em dezembro/13;
- Efluente de empresa que efetua serviços de tecelagem, tinturaria e lavanderia.

Ratificam a constatação quanto à presença de lançamento de efluentes não domésticos na rede coletora, a imagem das amostras de afluente coletado na ETE no dia 06/08/14, conforme Figura 76, que apresentam uma coloração típica de efluentes com origem não doméstica em alguns horários, como se pode observar às 7, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 1 e 3 horas.

Figura 76: Amostras de esgoto coletadas na ETE Conchas no dia 06/08/13.

Tal situação é condizente com os aumentos nas vazões afluentes, situação anteriormente observada, destacando-se que os dados de FCTH (2014) apontam para a inexistência de chuvas nos períodos de coletas na estação de tratamento. Cumpre ressaltar que, para elaboração das considerações relativas a esta pesquisa, e confecção de gráficos, o resultado de DBO relativo à coleta do dia 10/08/13 será descartado, em decorrência de possível desconformidade no valor apresentado pelo laboratório que efetuou as análises, visto que o valor apresentado está bastante reduzido.

Na Tabela 39, podem ser observados os resultados obtidos nas campanhas de coletas 03 e 06 realizadas na ETE Conchas, respectivamente, em agosto/13 e abril/14.

Tabela 39: Resultados das Campanhas 03 e 06 – ETE Conchas.

DATA INÍCIO		DATA TÉRMINO		CONCENTRAÇÃO									VAZÕES MÉDIAS
				DBO (mg.O2/L)	DQO (mg.O2/L)	ST (mg/L)	SST (mg/L)	Surfact (mg.MBAS/l)	P-total (mg.P/L)	P-org (mg.P/L)	P-orto (mg.P/L)	P-poli (mg.P/L)	(L/s)
12/08/13	Segunda	13/08/13	Terça	263	810	683	245	16	17,0	16,6	0,1	0,3	28,67
06/08/13	Terça	07/08/13	Quarta	228	594	567	211	16	4,7	3,0	0,8	0,9	15,17
07/08/13	Quarta	08/08/13	Quinta	209	539	608	171	12	5,2	3,8	1,0	0,4	14,00
08/08/13	Quinta	09/08/13	Sexta	220	549	497	94	13	3,9	2,3	1,5	0,2	22,25
09/08/13	Sexta	10/08/13	Sábado	317	768	628	187	12	6,8	5,8	1,0	0,1	29,92
10/08/13	Sábado	11/08/13	Domingo	30	679	572	85	15	14,0	12,3	1,0	0,8	29,00
11/08/13	Domingo	12/08/13	Segunda	267	612	604	155	13	6,2	4,1	1,3	0,8	19,83
Mínimo				209	539	497	85	12	3,9	2,3	0,1	0,1	14,00
Médio				251	650	594	164	14	8,3	6,8	0,9	0,5	22,69
Máximo				317	810	683	245	16	17,0	16,6	1,5	0,9	29,92
07/04/14	Segunda	08/04/14	Terça	154	397	436	118	4	4,4	1,1	0,4	2,9	15,35
08/04/14	Terça	09/04/14	Quarta	181	488	467	122	4	4,5	0,7	0,5	3,3	14,34
09/04/14	Quarta	10/04/14	Quinta	177	449	648	300	4	13,0	9,7	1,0	2,3	16,99
10/04/14	Quinta	11/04/14	Sexta	98	409	379	91	4	5,2	1,6	1,9	1,7	13,77
11/04/14	Sexta	12/04/14	Sábado	406	987	856	360	3	7,8	4,2	0,7	2,9	11,27
12/04/14	Sábado	13/04/14	Domingo	245	704	677	186	5	7,7	3,9	1,5	2,3	18,29
13/04/14	Domingo	14/04/14	Segunda	172	442	530	82	3	5,6	2,3	2,8	0,5	12,04
Mínimo				98	397	379	82	3	4,4	0,7	0,4	0,5	11,27
Médio				205	554	570	180	4	6,9	3,4	1,3	2,3	14,58
Máximo				406	987	856	360	5	13,0	9,7	2,8	3,3	18,29

Analisando graficamente os dados referentes à série de fósforo, verifica-se que as trajetórias do P-total e do P-org tendem a manter a similaridade ao longo de ambas as campanhas de coleta, de forma que a presença de P-total mostra relação com a presença de P-org, especialmente nas ocorrências dos picos de concentração. O comportamento do P-poli e do P-orto permitem verificar a manutenção de trajetória similar ao longo da semana, nos dois períodos amostrados, com picos e depressões bastante coincidentes, ainda que as concentrações estejam sensivelmente mais altas em abril/14. Às quintas-feiras e domingos, inclusive, quando as concentrações de P-poli estão mais baixas, pode-se observar que as concentrações de P-orto se elevam.

Na Figura 77 podem ser visualizados os resultados para as diferentes frações de fósforo analisadas na ETE Conchas, nas campanhas realizadas em agosto/13 e abril/14.

Figura 77: Resultados das frações de fósforo – ETE Conchas – campanhas 03 e 06.

Para avaliar a relação entre as diferentes frações de fósforo, as frações inorgânica e orgânica foram segregadas, de forma que os resultados de P-poli e P-orto foram somados, originando o valor P-inorg. A avaliação da relação entre as frações inorgânica e orgânica de fósforo no esgoto afluente da ETE Conchas, permite identificar que o P-org tende a manter concentrações superiores ao P-inorg ao longo das duas campanhas de coletas, com inversão ocorrida em alguns momentos específicos da campanha de abril/14, como na segunda, na terça e na quinta-feira, quando o P-inorg foi superior ao P-org. Graficamente, a similaridade nas trajetórias do P-org e do P-total pode ser visualizada de maneira bastante evidente.

Para tanto, a Figura 78 permite visualizar o gráfico contendo os resultados referentes ao P-total, P-org e P-inorg nas campanhas 03 e 06, realizadas em agosto/13 e abril/14.

Figura 78: P-total, P-org e P-inorg – ETE Conchas – campanhas 03 e 06.

A comparação gráfica das concentrações de fósforo frente aos demais parâmetros, permite identificar possível similaridade entre o comportamento da DQO e do P-org, especialmente na campanha realizada 03, bem como, entre SST e P-org, visível na campanha 06. Com relação a surfactantes, maior similaridade pode ser observada com relação ao P-inorg. Nas Figuras 79 a 81, podem ser observadas as concentrações de fósforo e dos demais parâmetros nos diferentes dias da semana, nas campanhas 03 e 06.

Figura 79: DBO, DQO e fósforo – ETE Conchas – campanhas 03 e 06.

Figura 80: ST, SST e fósforo – ETE Conchas – campanhas 03 e 06.

Figura 81: Surfactantes e fósforo – ETE Conchas – campanhas 03 e 06.

O cálculo do coeficiente r , resultante da correlação linear dos dados obtidos ao longo das campanhas 03 e 06, indica, de maneira geral, uma maior correlação de P-total com os parâmetros DQO e SST, destacando-se também uma elevada correlação entre P-poli e surfactantes, ainda que seja negativa. Observa-se que, assim como na ETE Franca, tanto para P-orto como para P-poli, a correlação tende a ser negativa, bem como, pode-se verificar a ausência de relação linear entre DBO, DQO, ST e P-poli, cujos coeficientes r resultam em -0,09, -0,09 e 0,00, respectivamente, ainda que a correlação com P-orto tenha sido elevada.

No caso da ETE Conchas, assim como anteriormente observado na ETE PNM, o coeficiente r mantém-se mais próximo dos extremos para os parâmetros DQO e SST, indicando uma correlação de magnitude de fraca a moderada, mesmo nos casos em que a mesma é negativa. Observação deve ser feita ao parâmetro surfactantes, que também apresentou forte correlação com P-poli. Na Tabela 40, podem ser visualizados os resultados do cálculo do coeficiente r . Ressalta-se que não foram considerados os dados do dia 10/08, visto que o resultado de DBO foi descartado, inviabilizando a correlação dos demais parâmetros.

Tabela 40: Correlação entre as diferentes frações de fósforo e os parâmetros DBO, DQO, ST, SST e surfactantes – ETE Conchas.

		PARÂMETROS				CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO				
		DBO (mg.O2/L)	DQO (mg.O2/L)	ST mg/L	SST mg/L	Surfactantes mg.MBAS/L	P-total mg.P/L	P-org mg.P/L	P-orto mg.P/L	P-poli mg.P/L
Dia da coleta	12/ago	263	810	683	245	16	17,0	16,6	0,1	0,3
	06/ago	228	594	567	211	16	4,7	3,0	0,8	0,9
	07/ago	209	539	608	171	12	5,2	3,8	1,0	0,4
	08/ago	220	549	497	94	13	3,9	2,3	1,5	0,2
	09/ago	317	768	628	187	12	6,8	5,8	1,0	0,1
	11/ago	267	612	604	155	13	6,2	4,1	1,3	0,8
	07/abr	154	397	436	118	4	4,4	1,1	0,4	2,9
	08/abr	181	488	467	122	4	4,5	0,7	0,5	3,3
	09/abr	177	449	648	300	4	13,0	9,7	1,0	2,3
	10/abr	98	409	379	91	4	5,2	1,6	1,9	1,7
	11/abr	406	987	856	360	3	7,8	4,2	0,7	2,9
	12/abr	245	704	677	186	5	7,7	3,9	1,5	2,3
	13/abr	172	442	530	82	3	5,6	2,3	2,8	0,5
Coeficiente <i>r</i>	P-total	0,23	0,39	0,53	0,61	0,15				
	P-org	0,29	0,43	0,51	0,56	0,38				
	P-orto	-0,34	-0,37	-0,29	-0,50	-0,29				
	P-poli	-0,09	-0,09	0,00	0,23	-0,75				

Para ilustração dos dados, foram elaborados os diagramas de dispersão dos resultados de DQO, SST e surfactantes, parâmetros que apresentaram correlação mais elevada,

frente às frações de fósforo, considerando-se os dados das campanhas 03 e 06, incluindo as respectivas linhas de tendência linear. Tais diagramas podem ser observados nas Figuras 82 a 84.

Figura 82: Diagrama de dispersão - DQO e P-total, P-org, P-orto e P-poli – ETE Conchas.

Figura 83: Diagrama de dispersão – SST e P-total, P-org, P-orto e P-poli – ETE Conchas.

Figura 84: Diagrama de dispersão – Surfactantes e P-total, P-org, P-orto e P-poli - ETE Conchas.

No que se refere às concentrações mínimas, médias e máximas, verifica-se que em abril/14 os resultados de P-total e P-org encontram-se inferiores aos da campanha de agosto/13. As concentrações médias foram alteradas de 8,3 mg.P/L e 6,8 mg.P/L, respectivamente, para 6,9 mg.P/L e 3,4 mg.P/L. Para P-poli, a exemplo do que também foi verificado nas ETEs PNM e Franca, há um aumento nas concentrações.

Ampliando essa verificação para os demais parâmetros analisados, nota-se que todos apresentaram concentrações médias mais reduzidas nas coletas de abril/14, com relação aos dados de agosto/13. Merece destaque o caso dos surfactantes, cuja concentração média foi alterada de 14 mg.MBAS/L para 4 mg.MBAS/L, o que corresponde a uma redução de quase 300%.

O gráfico das concentrações mínimas, médias e máximas para fósforo, DBO, DQO, ST, SST e surfactantes nas diferentes campanhas, podem ser visualizados nas Figuras 85, 86 e 87, a seguir.

Figura 85: Concentrações mínimas, médias e máximas de fósforo – ETE Conchas.

Figura 86: Concentrações mínimas, médias e máximas de DBO, DQO, ST e SST – ETE Conchas.

Figura 87: Concentrações mínimas, médias e máximas de surfactantes – ETE Conchas

6.1.3.2 População Atendida

De acordo com dados de SABESP (2014d), a população atendida pelo sistema de esgotos em que opera a ETE Conchas permaneceu inalterada entre janeiro/13 e abril/14, totalizando 13.122 habitantes. Nesse período, manteve-se também o índice de tratamento de 100% dos esgotos coletados.

Na Tabela 41 pode-se visualizar a evolução dos dados de atendimento através sistema de esgotos sanitários operado pela ETE Conchas no período entre janeiro/13 e abril/14.

Tabela 41: Índices de atendimento – ETE Conchas.

Mês	População atendida com coleta de esgotos	Vazão coletada de esgotos (L/s)	Vazão tratada de esgotos (L/s)	Índice de tratamento de esgotos (%)	População atendida com tratamento de esgotos
jan/13	13.122	17	17	100,0%	13.122
fev/13	13.122	16	16	100,0%	13.122
abr/13	13.122	15	15	100,0%	13.122
mai/13	13.122	16	16	100,0%	13.122
jun/13	13.122	19	19	100,0%	13.122
ago/13	13.122	20	20	100,0%	13.122
out/13	13.122	15	15	100,0%	13.122
nov/13	13.122	16	16	100,0%	13.122
jan/14	13.122	17	17	100,0%	13.122
fev/14	13.122	18	18	100,0%	13.122
abr/14	13.122	17	17	100,0%	13.122

Fonte: SABESP, 2014d

6.1.3.3 Cargas de Fósforo

Com base nas informações sobre as concentrações de fósforo obtidas nas campanhas principais, e nos dados sobre índice de atendimento pelo sistema de tratamento de esgotos anteriormente descritos, foi efetuado o cálculo das cargas de fósforo afluentes à estação de Conchas e estimada a contribuição *per capita*.

Os valores apurados indicam que a quantidade de P-total que chegou à ETE Conchas foi mais reduzida nas coletas de abril/14, quando foi registrado um aporte médio de 9

kg/dia de P-total, comparativamente às coletas de agosto/13, quando o aporte médio registrado para P-total foi de 18 kg/dia. Com base nesses valores e no número de pessoas atendidas pelo sistema, verifica-se que a contribuição *per capita* média foi de 1,36 g/hab.dia em agosto/13 e de 0,68 g/hab.dia em abril/14.

Na campanha de agosto/13, a maior parte da carga de fósforo que chegou até a ETE Conchas teve origem na fração orgânica, podendo-se observar um aumento na contribuição da fração inorgânica na segunda campanha, provavelmente em decorrência do aumento no aporte de P-poli.

Isto porque, foi justamente a carga de P-poli que sofreu a maior ampliação na comparação dos resultados entre as duas campanhas, passando da média de 0,04 kg/dia em agosto/13 para 2,9 kg/dia em abril/14. Em decorrência disso, se somados os resultados as frações P-orto e P-poli, verifica-se que o aumento da carga média da fração inorgânica foi também aumentada, passando de 0,76 para 4,45 kg/dia.

Já com relação à carga média de fósforo orgânico, pode-se verificar uma redução de aproximadamente 300% entre as duas campanhas, passando de 13,76 para 3,8 kg/dia entre agosto/13 e abril/14. Pela comparação entre as campanhas, pode-se inferir que as reduções observadas na carga de P-total afluenta à estação foram provavelmente decorrentes da diminuição da concentração de P-org, uma vez que as alterações nas contribuições médias de P-inorg foram menores, ainda que tenham ocorrido diferenças nos picos máximos e mínimos.

Na Tabela 42 a seguir, podem ser visualizados os dados relativos à concentração de fósforo, bem como da carga e contribuição *per capita* nos diferentes períodos de coletas realizados na ETE Conchas, em agosto/13 e abril/14, relativos às campanhas 03 e 06, respectivamente.

Tabela 42: Cargas e contribuições *per capita* de fósforo – ETE Conchas – campanhas 03 e 06.

DATA INÍCIO		CONCENTRAÇÃO				VAZÕES MÉDIAS (L/s)	CARGA - P (kg/dia)				POPULAÇÃO ATENDIDA (hab)	CONTRIBUIÇÃO - P PER CAPITA (g/hab.dia)			
		P-total (mg.P/L)	P-org (mg.P/L)	P-orto (mg.P/L)	P-poli (mg.P/L)		P-total	P-org	P-orto	P-poli		P-total	P-org	P-orto	P-poli
12/08/13	Segunda	17,0	16,7	0,1	0,3	28,67	42,11	41,36	0,36	0,01	13.122	3,21	3,15	0,02	0,06
06/08/13	Terça	4,7	3,0	0,8	0,9	15,17	6,16	1,57	0,11	0,01		0,47	0,12	0,08	0,09
07/08/13	Quarta	5,2	3,8	1,0	0,4	14,00	6,29	2,08	0,17	0,01		0,48	0,16	0,09	0,04
09/08/13	Quinta	3,9	2,3	1,5	0,2	22,25	7,50	1,46	0,19	0,00		0,57	0,11	0,22	0,02
10/08/13	Sexta	6,8	5,8	1,0	0,1	29,92	17,58	8,75	0,73	0,01		1,34	0,67	0,19	0,02
11/08/13	Sábado	14,0	12,3	1,0	0,8	29,00	35,08	37,28	3,06	0,21		2,67	2,84	0,18	0,15
12/08/13	Domingo	6,2	4,1	1,3	0,8	19,83	10,62	3,80	0,43	0,03		0,81	0,29	0,17	0,10
Mínimo		3,9	2,3	0,1	0,1	14,00	6,16	1,46	0,11	0,00		0,47	0,11	0,02	0,02
Médio		8,3	6,8	0,9	0,5	22,69	17,90	13,76	0,72	0,04		1,36	1,05	0,14	0,07
Máximo		17,0	16,7	1,5	0,9	29,92	42,11	41,36	3,06	0,21		3,21	3,15	0,22	0,15
07/04/14	Segunda	4,4	1,1	0,4	2,9	15,35	5,84	1,47	0,52	3,85	13.122	0,44	0,11	0,04	0,29
08/04/14	Terça	4,5	0,7	0,5	3,3	14,34	5,58	0,33	0,64	4,09		0,42	0,02	0,05	0,31
09/04/14	Quarta	13,0	9,7	1,0	2,3	16,99	19,08	15,99	1,47	3,38		1,45	1,22	0,11	0,26
10/04/14	Quinta	5,2	1,6	1,9	1,7	13,77	6,19	0,86	2,26	2,02		0,47	0,07	0,17	0,15
11/04/14	Sexta	7,8	4,2	0,7	2,9	11,27	7,60	2,78	0,65	2,82		0,58	0,21	0,05	0,22
12/04/14	Sábado	7,7	3,9	1,5	2,3	18,29	12,17	4,10	2,37	3,63		0,93	0,31	0,18	0,28
13/04/14	Domingo	5,6	2,3	2,8	0,5	12,04	5,83	1,14	2,91	0,56		0,44	0,09	0,22	0,04
Mínimo		4,4	0,7	0,4	0,5	11,27	5,58	0,33	0,52	0,56		0,42	0,025	0,039	0,04
Médio		6,9	3,4	1,3	2,3	14,58	8,90	3,81	1,55	2,91		0,68	0,29	0,12	0,22
Máximo		13,0	9,7	2,8	3,3	18,29	19,08	15,99	2,91	4,09		1,45	1,22	0,22	0,31

Dos dados levantados, é possível verificar também as diferenças com relação às frações de fósforo presentes no afluente entre as campanhas, em termos percentuais. Nesse sentido, as reduções identificadas nas cargas afluentes refletem na composição das contribuições identificadas nos períodos estudados, em que houve uma redução da contribuição de P-org e um aumento de P-inorg. Sendo assim, a participação do P-orto passou de 10% para 17% entre agosto/13 e abril/14, do P-poli passou de 5% para 33%, e do P-org passou de 85% para 50%.

Na Figura 88, podem ser visualizadas as distribuições percentuais das cargas de fósforo em agosto/13 e abril/14, de acordo com as diferentes frações analisadas.

Figura 88: Distribuição percentual das cargas de fósforo – ETE Conchas.

A contribuição *per capita* média de P-total reflete as reduções observadas na concentração desse elemento no decorrer dos períodos analisados, bem como, a identificação da diminuição nas vazões. Sendo assim, a contribuição *per capita* média de 1,36 g/hab.dia registrada na coleta realizada no mês de agosto/13, foi alterada para 0,68 g/hab.dia na coleta de abril/14. As diferenças observadas nas concentrações das frações orgânica e inorgânica de fósforo entre as duas campanhas, se refletem também nas cargas e nas contribuições, onde se verifica que a contribuição *per capita* de P-org foi alterada de 1,16 para 0,34 g/hab.dia nos períodos, e a de P-inorg, foi alterada de 0,20 para 0,34 g/hab.dia. Os valores médios encontram-se bastante aproximados da faixa de contribuição *per capita* típica de fósforo nos esgotos dimensionada para o Brasil, apresentada por METCALF & EDDY (2014), descrita no item 4.2 do presente trabalho, destacando-se que os resultados de P-org demonstram maior amplitude com relação à faixa prevista, que é de 0,4 a 0,6 mg.P/L, e P-inorg mais reduzido. A Figura 89 apresenta a faixa de contribuição *per capita* observada na ETE Conchas, com indicação dos valores típicos máximos obtidos na bibliografia consultada.

Figura 89: Contribuição *per capita* e valores típicos das cargas de fósforo – ETE Conchas.

6.1.4 Síntese dos Resultados

Os resultados mais relevantes a respeito do monitoramento do esgoto afluente das três ETEs amostradas nas campanhas de coleta 03 e 06 desenvolvidas neste trabalho, serão compilados a seguir. Além de oferecer uma visão geral dos dados e propiciar a compreensão das informações obtidas, a síntese dos dados levantados nas áreas estudadas pode auxiliar na identificação de eventuais pontos de atenção, ainda que as referidas áreas tenham sido selecionadas por possuírem características diferenciadas. A utilização das campanhas 03 e 06 para a sintetização dos resultados decorre do fato de que nestas foi possível padronizar a metodologia de coletas e análises, abrangendo amostragens, parâmetros e procedimento analítico, conforme já citado.

Quanto ao fósforo nos esgotos, verifica-se que as maiores concentrações tendem a ocorrer durante a semana na ETE PNM, enquanto nas ETEs Franca e Conchas tais ocorrências são observadas também nos finais de semana; as maiores incidências de picos de concentração são observadas na ETE Conchas, que é a estação de menor porte. As concentrações de P-total nos esgotos das três ETEs analisadas obtidas durante as coletas de agosto/13 e abril/14 podem ser observadas na Figura 90.

Figura 90: Concentração de P-total nos esgotos das diferentes ETEs, em mg.P/L.

A maior incidência de picos de concentração de fósforo na ETE Conchas pode estar relacionada com a provável presença indevida de efluentes não domésticos na rede coletora de esgotos, e dos seus impactos frente à contribuição de origem sanitária, tendo em vista que a concentração populacional, e a consequente vazão doméstica, são menores que nas demais estações de tratamento analisadas. Tal situação pode tornar o sistema mais sensível e vulnerável, ou seja, menos resiliente, à contribuição de origem não doméstica.

A possível presença de efluentes não domésticos no sistema de Conchas pode ser verificada a partir da relação P/DQO, onde a ETE Conchas chega a atingir o valor 0,03. De acordo com VAN HAANDEL et al. (2009), no Brasil, a relação P/DQO situa-se na faixa de 0,01 a 0,02, sendo que nas águas residuárias oriundas do processamento de materiais animais, como curtumes, frigoríficos e matadouros, essa relação atinge 0,03. Na Tabela 43 pode ser visualizada a relação P/DQO obtida nas ETEs analisadas.

Tabela 43: Relação P/DQO das ETEs analisadas.

Dia	PNM			Franca			Conchas		
	DQO (mg.O ₂ /L)	P-total (mg.P/L)	P / DQO	DQO (mg.O ₂ /L)	P-total (mg.P/L)	P / DQO	DQO (mg.O ₂ /L)	P-total (mg.P/L)	P / DQO
Segunda	713	6,3	0,01	666	12,0	0,02	810	17,0	0,02
Terça	825	8,1	0,01	631	5,9	0,01	594	4,7	0,01
Quarta	865	9,7	0,01	738	7,4	0,01	539	5,2	0,01
Quinta	609	5,7	0,01	685	4,7	0,01	549	3,9	0,01
Sexta	646	4,9	0,01	782	3,4	0,00	768	6,8	0,01
Sábado	659	4,5	0,01	654	4,2	0,01	679	14,0	0,02
Domingo	540	4,1	0,01	632	7,7	0,01	612	6,2	0,01
Segunda	409	2,9	0,01	643	4,7	0,01	397	4,4	0,01
Terça	528	4,4	0,01	607	4,9	0,01	488	4,5	0,01
Quarta	469	5,3	0,01	626	5,2	0,01	449	13,0	0,03
Quinta	462	5,9	0,01	-	-	-	409	5,2	0,01
Sexta	415	4,5	0,01	600	4,0	0,01	987	7,8	0,01
Sábado	326	4,3	0,01	397	5,8	0,01	704	7,7	0,01
Domingo	260	3,6	0,01	533	3,7	0,01	442	5,6	0,01

Outro ponto que também pode indicar a presença de contribuição não doméstica na rede coletora é variação na concentração da fração inorgânica de fósforo. Nas ETEs Conchas e PNM, em especial nas coletas realizadas em abril/14, a fração P-inorg

superou 50% do total de fósforo presente nos esgotos. Tal situação pode ter relação com a intensidade da atividade industrial ou com o nível de utilização doméstica de produtos industrializados à base de fósforo, já que a fração inorgânica desse elemento, representada pelas formas de ortofosfato e de polifosfato, tem como principal origem nos esgotos os produtos de uso doméstico e os efluentes industriais (APHA, 2005; PIVELI e KATO, 2005; VON SPERLING, 2005; JORDÃO e PESSOA, 2011)

Na Figura 91, pode-se visualizar as diferenças nas concentrações médias de P-org e P-inorg nas três ETEs analisadas, nos diferentes períodos de coleta.

Figura 91: Concentrações médias de P-org e P-inorg nos esgotos das diferentes ETEs, em mg.P/L.

Com relação à fração inorgânica, destaca-se o aumento na concentração de P-poli na campanha de abril/14, comparativamente aos resultados de agosto/13. Na ETE PNM, a concentração média do elemento passou de 0,3 para 2,1 mg.P/L, o que corresponde a uma ampliação de mais de 700%. Na ETE Conchas, a alteração foi de 0,5 para 2,3 mg.P/L, o que corresponde a quase 400%.

Entretanto, verifica-se na ETE PNM, no mesmo período, uma tendência de redução na concentração média de P-orto, com alteração de 2,0 para 0,8 mg.P/L. Tal situação

pode ter relação com diferenças na intensidade das reações de hidrólise, bem como da atividade biológica, em função de algumas variáveis do meio, como temperatura e pH. VON SPERLING et al. (2009) citam que, apesar de lento, o processo de conversão dos polifosfatos em ortofosfatos pode ocorrer ainda nas redes coletoras, dependendo das condições físicas, químicas e bioquímicas do meio.

Pode-se inferir, portanto, que tal situação pode ter relação com as elevadas extensões das redes e emissários pertencentes ao sistema de esgotos da ETE PNM, podendo oferecer condições mais propícias para a ocorrência desse processo de conversão de P-poli em P-orto. Na Figura 92 pode-se visualizar o comportamento das concentrações mínima, média e máxima do P-poli e do P-orto nas diferentes ETEs, conforme campanhas realizadas em agosto/13 e abril/14.

Figura 92: Concentrações mínima, média e máxima de P-poli e P-orto, em mg.P/L.

Ainda que existam diferenças entre as estações de tratamento analisadas, no que se refere à participação das frações orgânica e inorgânica com relação ao total de fósforo presente nos esgotos, de forma geral, para as três ETEs, a concentração de P-total ao longo da semana, tende a ser mais influenciada pela fração orgânica desse

elemento. Para a campanha de coletas 06, realizada em abril/14, podem ser visualizados períodos em que o comportamento diverge desse padrão, em especial na ETE PNM, o que pode ser decorrente do aumento na concentração da fração inorgânica de fósforo no decorrer da campanha de coletas realizadas em abril/14, e do possível aumento na contribuição de efluentes não domésticos, conforme abordado anteriormente. O comportamento do P-total, do P-org e do P-inorg ao longo das campanhas de coleta 03 e 06 podem ser visualizados nas Figuras 93 e 94.

Figura 93: Concentração de P-total e P-org nos esgotos das diferentes ETEs, em mg.P/L.

Figura 94: Concentração de P-total e P-inorg nos esgotos das diferentes ETEs, em mg.P/L.

Outro ponto a ser observado é o enquadramento dos resultados obtidos para as diferentes ETEs frente à faixa de comportamento típico para o fósforo nos esgotos, descrita no item 4.2 do presente trabalho. Com base nos valores descritos por METCALF & EDDY (2014) para concentração e contribuição *per capita* de P-total, P-org e P-inorg, considerando-se a média resultante das coletas realizadas em agosto/13 e abril/14, verifica-se que os sistemas amostrados possuem resultados compatíveis com a bibliografia consultada. Com relação às concentrações, as três ETEs apresentam resultados situados entre 3,7 e 11,0 mg.P/L, com fração orgânica entre 2,1 e 6,3 mg.P/L e fração inorgânica entre 1,6 e 4,7 mg/L. No que se refere à contribuição *per capita*, ainda que os resultados estejam equivalentes com os dados bibliográficos, deve-se notar que os resultados para P-org na ETE Conchas encontram-se superiores ao limite máximo previsto, de 0,6 g/hab.dia, apresentando um valor de 0,7 g/hab.dia. Tal situação pode ser resultante dos excrementos humanos, e também, conforme já abordado anteriormente, da contribuição indevida de lançamentos de origem não doméstica na rede coletora.

A Figura 95 apresenta o gráfico da concentração média das diferentes frações de fósforo obtidas nas campanhas 03 e 06, com indicação da faixa de concentração estimada para cada uma de acordo com essa referência bibliográfica.

Figura 95: Concentrações médias de P-total, P-org e P-inorg, e faixa de concentração, em mg/L.

*Valores mínimo e máximo para as frações de fósforo no esgoto, conforme faixa de concentração descrita por METCALF e EDDY (2014).

Na Figura 96 pode-se visualizar o gráfico da contribuição *per capita* média das diferentes frações de fósforo obtidas nas campanhas 03 e 06, com indicação da faixa estimada para cada uma de acordo com essa referência bibliográfica.

Figura 96: Contribuição *per capita* de P-total, P-org e P-inorg, e faixa de contribuição, em g/hab.dia.

*Valores mínimo e máximo para as frações de fósforo no esgoto, conforme faixa de contribuição *per capita* descrita por METCALF e EDDY (2014).

6.2 Análise dos Detergentes

A seguir encontram-se descritos os dados referentes ao consumo de detergentes no Brasil, bem como, os resultados obtidos nos trabalhos de análise dos detergentes efetuados pelos dois laboratórios contratados para determinação da concentração de fósforo. A finalidade foi verificar a atual situação de atendimento da legislação vigente, subsidiando a análise da necessidade de sua revisão e a avaliação da contribuição desses produtos para o total de fósforo presente nos esgotos sanitários das ETEs estudadas.

6.2.1 Dados de Consumo

Dados sobre o consumo médio de detergentes em pó foram levantados a partir de informações disponibilizadas anualmente pela ABIPLA, através das publicações periódicas para o setor, nos documentos denominados Anuários. Através destes, verifica-se que houve uma evolução no consumo médio *per capita* de detergentes em pó para roupas no Brasil, no período entre 2007 e 2012, com alteração de 4 para 5 kg/hab.ano.

Tais informações sobre consumo não puderam ser detalhadas, regionalizadas ou segregadas por marca, visto que as consultas formais efetuadas à ABIPLA e à Nielsen do Brasil para obtenção desses dados, conforme relatado na metodologia da pesquisa, no item 5.4 do presente trabalho, não foram respondidas. Além disso, as tentativas de contato visando obtenção de informações, também não surtiram efeito. Sendo assim, para estimativa da atual contribuição dos detergentes para o total de fósforo presente nos esgotos, este trabalho considera o valor médio de consumo *per capita* registrado em 2012, acima citado, de 5 kg de detergente, por habitante ao ano.

6.2.2 Concentração de Fósforo nos Detergentes

Os resultados obtidos com relação à concentração de fósforo nos detergentes permitem observar, inicialmente, que existe certa diferença nos dados apresentados pelos laboratórios contratados, apesar dos valores estarem bastante aproximados. Tal situação é provavelmente decorrente do fato de que foram adotados diferentes procedimentos analíticos, envolvendo metodologias e intervalos de confiança diferenciados para a média de três repetições.

Observam-se também, diferenças na concentração de fósforo em alguns produtos da mesma marca com numeração de lote diferenciado, e com comercialização em regiões distintas. No caso da marca D, por exemplo, a concentração de fósforo em um dos produtos adquiridos no estado do Mato Grosso possui concentração de P menor que a dos demais exemplares da mesma marca.

Pode-se observar ainda, que diferentes produtos do mesmo fabricante podem apresentar concentrações diferenciadas de P. No caso do fabricante VI, por exemplo, identifica-se que a marca F, que é comercializada com um valor maior com o objetivo de atingir classes sociais mais elevadas, possui maior concentração de fósforo do que a marca H, do mesmo fabricante, que possui menor custo e é classificada como popular.

No entanto, ainda que possam ser notadas tais diferenças, elas estão distantes da possibilidade de desenquadrar os produtos frente aos limites da legislação vigente.

Os resultados fornecidos pelos laboratórios contratados apontam teores de P nos detergentes analisados menores que 0,01%, em peso. Este resultado demonstra que os produtos comercializados no país estão utilizando fósforo em concentrações bastante inferiores ao estipulado pela Resolução CONAMA nº 359/05, cujo limite de 4,8% de P, em peso, passou a vigorar no ano de 2008. Diante da similaridade dos resultados apresentados, pode-se concluir que os dados fornecidos pelo laboratório CEAQUIM, do IB/UNESP, foram confirmados pelo laboratório CQuiM, do IPT.

Em todos os resultados é possível observar que as concentrações de fósforo estão bastante abaixo dos limites estabelecidos. Comparando-se com os resultados apresentados pelo produto identificado como *Pfree*, pode-se verificar que os produtos brasileiros analisados possuem concentrações de fósforo similares ao produto adquirido no mercado americano. Na Tabela 44, podem ser visualizados os resultados das análises dos detergentes.

Tabela 44: Concentração de fósforo nos detergentes analisados.

NOME	MARCA	FABRICANTE	LOCAL DE AQUISIÇÃO	RESULTADOS		
				CEAQUIM/IB/UNESP	CQuiM-IPT	
				% P	% P2O5	% P2O5
DET 01	A	I	BA	0,003	0,007	< 0,001
DET 02			BA	0,006	0,014	não realizado
DET 03			PB	0,005	0,012	não realizado
DET 04	B	II	BA	0,003	0,007	0,0054 0,0002
DET 05			BA	0,003	0,007	não realizado
DET 06			BA	0,004	0,009	não realizado
DET 07	C	III	RS	0,003	0,007	< 0,001
DET 08			RS	0,002	0,005	não realizado
DET 09			RS	0,003	0,007	não realizado
DET 10	D	IV	MS	0,010	0,023	0,0032 0,0003
DET 11			MS	0,003	0,007	não realizado
DET 12			SP	0,005	0,012	não realizado
DET 13	E	I	SC	0,005	0,012	< 0,001
DET 14			SC	0,005	0,012	não realizado
DET 15			PB	0,005	0,012	não realizado
DET 16	F	VI	SP	0,005	0,012	< 0,001
DET 17			SC	0,005	0,012	não realizado
DET 18			PB	0,004	0,009	não realizado
DET 19	G	VII	SP	0,008	0,018	0,0012 0,0001
DET 20			SP	0,007	0,016	não realizado
DET 21			SP	0,008	0,018	não realizado
DET 22	H	VI	SP	0,002	0,005	< 0,001
DET 23			SP	0,001	0,002	não realizado
DET 24			SP	0,002	0,005	não realizado
DET 25	I	II	PB	0,002	0,004	< 0,001
DET 26			PB	0,004	0,009	não realizado
DET 27			MA	0,003	0,007	não realizado
DET 28	J	VIII	RO	0,004	0,009	0,0024 0,0004
DET 29			SP	0,004	0,009	não realizado
DET 30			SP	0,005	0,012	não realizado
Mínimo				0,001		
Médio				0,004		
Máximo				0,010		
<i>Pfree</i>	K	IX	MA/EUA	0,001	0,002	não realizado

Para obter detalhes a respeito desse assunto, bem como, para complementar e ratificar os resultados, foi efetuado contato com quatro empresas fabricantes de detergentes amostrados na presente pesquisa, com o objetivo de solicitar o envio de dados a respeito da formulação dos seus produtos. As empresas contatadas foram as identificadas com os códigos I, II, VI e VII.

Para a realização desse contato, foram utilizados os canais de comunicação e reclamação do consumidor, por meio da *internet*, através da realização de cadastro de solicitação de informações nos mecanismos “fale conosco”, “contate-nos” ou “serviços de atendimento ao consumidor”.

Tal procedimento não atingiu os objetivos propostos pois, de forma geral, as respostas foram pouco esclarecedoras e até evasivas. A título de exemplificação, duas dessas mensagens podem ser visualizadas na Figura 97. Cumpre acrescentar que os trechos das mensagens que permitiam a identificação dos produtos foram suprimidos, de forma a evitar a exposição da marca e do fabricante.

Figura 97: Respostas obtidas em consulta aos fabricantes.

<p>Cara consumidora, nossas embalagens seguem o mesmo padrão exigido pela Anvisa para todas as embalagens, não constam concentrações. Na composição temos todos os itens que fazem parte da formulação, caso a embalagem não tenha estas informações obrigatórias, favor nos comunicar.</p> <p>Agradecemos seu contato e transmitimos nosso agradecimento pela oportunidade de ser uma cliente [REDACTED]</p> <p>[REDACTED]</p>
<p>Olá, Claudia.</p> <p>Obrigada por nos escrever.</p> <p>Embora você não mencione a marca de detergente em pó que é objeto de estudo de vocês. Veja no link, lá é possível acessar o histórico de todas as marcas.</p> <p>No site [REDACTED] consta um acervo com o histórico da empresa desde [REDACTED] quando chegou ao Brasil - além de materiais de publicidade, design e marketing. Estas informações estão disponíveis para você, estudante, que deseja se aprofundar nas pesquisas. Para obter estes dados, acesse o site e digite “Centro de História” no campo “busca”.</p> <p>O Serviço de Atendimento ao Consumidor continua à disposição para fornecer outras informações. Afinal, sua participação é sempre bem-vinda.</p> <p>Abraços, Equipe do Serviço de Atendimento ao Consumidor</p>

Diante das respostas recebidas, novo contato foi efetuado com as empresas I e VI. Nesta oportunidade, foram solicitadas informações a respeito da concentração de

fósforo aplicada na formulação dos produtos A e F. Para essa consulta, a empresa I não encaminhou resposta; a manifestação da empresa denominada como VI foi também pouco esclarecedora, como se pode observar na Figura 98.

Figura 98: Resposta obtida em nova consulta ao fabricante.

Na sequência dessa resposta por e-mail, a empresa VI entrou em contato por telefone solicitando detalhes a respeito do questionamento efetuado pela *internet*. Informou que o fósforo havia sido retirado dos detergentes em pó fabricados pela empresa e comercializados no Brasil há cerca de 2 anos. Em sua substituição, o fabricante informou que passaram a ser utilizadas zeólitas; informou também, que a menção a respeito da ausência de fosfato passaria a constar na embalagem do produto ainda no ano de 2014.

Avaliando essa informação e com base nos dados históricos das ETEs PNM e Franca, referentes à concentração de fósforo total nos esgotos ao longo dos anos, conforme apresentado nos itens 6.1.1 e 6.1.2 do presente trabalho, pode-se inferir que nas regiões atendidas por essas estações de tratamento, os detergentes com baixo teor de fosfato passaram a ser comercializados entre os anos de 2009 e 2010, período em que se verifica a tendência de redução da concentração desse elemento no esgoto afluente aos sistemas.

Vale salientar que no ano de 2009, VAN HAANDEL et al. (2009, p. 227) descreveram que no Brasil, “a principal fonte de fósforo nos esgotos está no polifosfato presentes nos sabões em pó”, e apontaram o aumento da pressão da sociedade quanto à necessidade de mudanças no processo produtivo, com substituição do fósforo por outro *builder*.

Cumpre observar, entretanto, que as reduções verificadas nessas estações de tratamento podem ter sido influenciadas também por outros fatores, como a possível evolução nas ferramentas para coibir lançamentos indevidos, bem como, para monitorar e controlar os lançamentos de efluentes não domésticos.

Diante do exposto, e levando-se em conta as informações apresentadas no item 4.4.3.2 do presente trabalho, deve-se considerar a possibilidade de que a introdução dos detergentes sem fosfato no mercado tenha ocorrido a partir de 2009.

6.3 A Atual Contribuição dos Detergentes para o Fósforo nos Esgotos

Nesta pesquisa, foi aplicada metodologia alinhada com demais trabalhos desenvolvidos para avaliação da contribuição dos detergentes em relação ao total de fósforo presente nos esgotos, bem como, com a proposta de metodologia apresentada pelo Grupo de Trabalho do CONAMA com o objetivo de determinar a quantidade de fósforo no esgoto devido aos sabões e detergentes em pó, monitorar os avanços e subsidiar as futuras decisões quanto à necessidade de evoluir nas medidas restritivas necessárias, conforme itens 4.2.2 e 4.4.3.2 do presente trabalho.

Foi avaliado o comportamento diário do fósforo em três ETEs através da composição de amostras durante dois diferentes períodos de sete dias consecutivos, bem como, foi determinada a concentração de fósforo em trinta amostras de detergentes comercializados em diferentes regiões do país.

Os dados sobre consumo de detergentes estão baseados na média anual apresentada pela entidade que coordena o assunto no âmbito nacional, e oferece um panorama geral a respeito do comportamento de mercado, nesse segmento, para o Brasil, ainda que não tenha sido possível obter um detalhamento ou a regionalização das informações.

Considerando os dados populacionais e a carga média de fósforo que chega até as estações de tratamento, conforme dados obtidos nas campanhas de coletas desenvolvidas em agosto/13 e abril/14, verifica-se que a contribuição *per capita* média de P-total nas diferentes ETEs é a seguinte:

- 0,75 g/hab.dia na ETE PNM;
- 0,84 g/hab.dia na ETE Franca; e
- 1,02 g/hab.dia na ETE Conchas.

Com base nos dados sobre consumo *per capita* de detergentes, que é de 5 kg/hab.ano, ou 13,7 g/hab.dia, conforme descrito no item 6.2.1 deste trabalho, e concentração máxima de fosfato obtida nas análises laboratoriais realizadas nos produtos, de 0,01% de fósforo em peso, verifica-se que a contribuição *per capita* de fósforo nos esgotos oriunda do uso de detergentes pode ser considerada atualmente bastante reduzida, na faixa de 0,0014 g/hab.dia.

Sendo assim, pode-se concluir que a participação percentual dos detergentes frente ao total de fósforo presente nos esgotos situa-se atualmente na faixa de 0,19% na ETE PNM, 0,16% na ETE Franca, e 0,15% na ETE Conchas.

Considerando-se a carga média diária de fósforo que chegou até as diferentes estações de tratamento analisadas durante as campanhas de agosto/13 e abril/14, tem-se o seguinte cenário:

- De 1262 kg/dia lançados no sistema de esgotos operado pela ETE PNM, 2,32 kg/dia teve origem no uso de detergentes;
- De 224 kg/dia lançados no sistema de esgotos operado pela ETE Franca, 0,37 kg/dia teve origem no uso de detergentes; e
- De 13 kg/dia lançados no sistema de esgotos operado pela ETE Conchas, 0,02 kg/dia, ou 20 g/dia, teve origem no uso de detergentes.

Na Tabela 45, a seguir, podem ser observados os resultados obtidos para as ETEs amostradas, de acordo com os resultados médios obtidos nas campanhas de coletas desenvolvidas em agosto/13 e abril/14.

Tabela 45: Contribuição dos detergentes em relação ao P-total presente nos esgotos – Situação Atual - ETEs PNM, Franca e Conchas.

PERÍODO DE COLETA	FAIXA	POPULAÇÃO ATENDIDA (hab)			CARGA P-total (kg/dia)			CARGA P-total PER CAPITA (g/hab.dia)			CONSUMO DE DETERGENTES (g/hab.dia)	MÉDIA P DETERGENTES (%)	CONTRIBUIÇÃO P DETERGENTES (g/hab.dia)	CONTRIBUIÇÃO P - DETERGENTES (%)			CARGA P-DETERGENTES (kg/dia)		
		PNM	Franca	Conchas	PNM	Franca	Conchas	PNM	Franca	Conchas				PNM	Franca	Conchas	PNM	Franca	Conchas
	Mínima				967,41	133,07	6,16	0,57	0,50	0,47				0,24%	0,27%	0,29%	2,32	0,36	0,02
Agosto/13	Média	1.692.015	264.553	13.122	1408,01	239,77	17,90	0,83	0,91	1,36	13,70	0,01%	0,0014	0,16%	0,15%	0,10%	2,32	0,36	0,02
	Máxima				2009,80	459,91	42,11	1,19	1,74	3,21				0,12%	0,08%	0,04%	2,32	0,36	0,02
	Mínimo				752,87	145,19	5,58	0,44	0,54	0,42				0,31%	0,25%	0,32%	2,32	0,37	0,02
Abril/14	Médio	1.692.015	268.582	13.122	1115,96	207,86	8,90	0,66	0,77	0,68	13,70	0,01%	0,0014	0,21%	0,18%	0,20%	2,32	0,37	0,02
	Máximo				1485,57	299,59	19,08	0,88	1,12	1,45				0,16%	0,12%	0,09%	2,32	0,37	0,02
MÉDIAS					1261,99	223,82	13,40	0,75	0,84	1,02				0,19%	0,16%	0,15%	2,32	0,37	0,02

Comparando-se os resultados para contribuição *per capita* média de P-total nos esgotos entre as estações amostradas, verifica-se que a ETE Conchas é a que apresenta maior variação entre os valores mínimos e máximos. Tal situação pode ser decorrente da possível existência de fontes não domésticas de fósforo nos esgotos, conforme identificado no item 6.1.3.1, o que faz com que haja uma interferência nos valores registrados para esse elemento.

Caso estivesse sendo praticado o limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 359/05 para a presença de P nos detergentes, que é atualmente de 4,8%, as cargas de fósforo nos esgotos dessas ETEs seriam aumentadas para cerca de 0,66 g.P/hab.dia.

Tal resultado é compatível com os dados apresentados por BALMÉR e HULTMAN (1988), que apontam que, na maioria dos países com águas menos duras, que é o caso do Brasil, onde a presença de fósforo nos detergentes situa-se na faixa de 5%, a contribuição *per capita* de fósforo nos esgotos a partir dessa fonte é calculada em 0,65 g.P/hab.dia.

Sendo assim, com base nos valores levantados, na ETE PNM a carga de P-total seria alterada da atual média de 1.262 para 2.375 kg/dia, com alteração da contribuição *per capita* média de 0,75 para 1,40 g/hab.dia; na ETE Franca a carga de P-total seria alterada de 224 para 400 kg/dia, e a contribuição *per capita* de 0,84 para 1,50 kg/dia; na ETE Conchas a carga de P-total seria alterada de 13 para 22 kg/dia, e a contribuição *per capita* de 1,02 para 1,68 g/hab.dia.

Pode-se inferir, portanto, que caso estivessem sendo aplicados os limites estabelecidos pela atual legislação, as cargas de fósforo lançada nos esgotos seriam, em geral, duplicadas. Nesse cenário, levando-se em conta as médias das cargas totais e das cargas *per capita* resultantes das coletas efetuadas em agosto/13 e em abril/14, pode-se verificar que a contribuição dos detergentes passaria de 0,19% para 47% do total de fósforo presente no esgoto na ETE PNM, de 0,16% para 44% do total de fósforo presente no esgoto na ETE Franca, e de 0,15% para 39% do total de fósforo presente no esgoto na ETE Conchas.

Na Tabela 46, pode ser verificada contribuição estimada para o fósforo nos esgotos, caso estivessem sendo obedecidos os limites estabelecidos pela legislação vigente.

Tabela 46: Contribuição estimada dos detergentes em relação ao P-total presente nos esgotos – Limites CONAMA - ETEs PNM, Franca e Conchas.

PERÍODO DE COLETA	FAIXA	POPULAÇÃO ATENDIDA (hab)			CARGA P-total (kg/dia)			CARGA P-total PER CAPITA (g/hab.dia)			MÉDIA P DETERGENTES (%)	CONTRIBUIÇÃO P DETERGENTES (g/hab.dia)	CARGA ESTIMADA P-total PER CAPITA - CONAMA (g/hab.dia)			CARGA ESTIMADA P-total - CONAMA (kg/dia)			CONTRIBUIÇÃO P - DETERGENTES (%)		
		PNM	Franca	Conchas	PNM	Franca	Conchas	PNM	Franca	Conchas			PNM	Franca	Conchas	PNM	Franca	Conchas	PNM	Franca	Conchas
Agosto/13	Mínima				967,41	133,07	6,16	0,57	0,50	0,47			1,23	1,16	1,13	2079,97	307,03	14,79	53%	57%	58%
	Média	1.692.015	264.553	13.122	1408,01	239,77	17,90	0,83	0,91	1,36	4,8%	0,66	1,49	1,56	2,02	2520,57	413,73	26,53	44%	42%	33%
	Máxima				2009,80	459,91	42,11	1,19	1,74	3,21			1,85	2,40	3,87	3122,36	633,86	50,73	36%	27%	17%
Abril/14	Mínimo				752,87	145,19	5,58	0,44	0,54	0,42			1,10	1,20	1,08	1865,43	321,79	14,20	60%	55%	61%
	Médio	1.692.015	268.582	13.122	1115,96	207,86	8,90	0,66	0,77	0,68	4,8%	0,66	1,32	1,43	1,34	2228,52	384,46	17,52	50%	46%	49%
	Máximo				1485,57	299,59	19,08	0,88	1,12	1,45			1,54	1,77	2,11	2598,13	476,19	27,71	43%	37%	31%
MÉDIAS					1261,99	223,82	13,40	0,75	0,84	1,02			1,40	1,50	1,68	2374,55	399,09	22,03	47%	44%	39%

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ao longo das últimas décadas, diversos estudos foram dedicados à avaliação da contribuição dos detergentes em pó como fonte de fósforo nos esgotos sanitários, sendo que os resultados obtidos deram suporte à adoção de ações voltadas para a restrição de sua utilização.

É fato que o controle da eutrofização envolve um minucioso levantamento das fontes naturais e antrópicas de nutrientes, e o planejamento das medidas de gestão a serem implementadas em função da classe de enquadramento e dos usos requeridos para cada corpo hídrico. Para isso, devem ser levadas em conta as características físicas e ambientais das bacias hidrográfica, as atividades econômicas prioritárias, o nível de ocupação populacional e as formas de uso do solo.

As experiências vivenciadas em diversas localidades do mundo, abordadas no presente trabalho, permitem constatar que o dimensionamento da contribuição dos produtos de uso doméstico, como é o caso dos detergentes, para o total de fósforo presente nos esgotos é uma atividade normalmente considerada complexa. Envolve o levantamento de dados a respeito do comportamento de consumo e a obtenção de informações mercadológicas. Requer o delineamento de características culturais e a avaliação de aspectos mutáveis, como a decisão de compra, fator considerado de alta volatilidade, uma vez que está sujeito à dinâmica da economia e ao nível de acesso da população aos veículos de comunicação e marketing.

Não obstante, a identificação das fontes de fósforo é considerada uma medida de grande importância para planejamento e gestão da qualidade dos corpos d'água, bem como, para otimização dos custos relacionados com a implantação, operação e manutenção de estações de tratamento de esgotos, em decorrência da sua contribuição para diminuição do aporte de fósforo nos sistemas de esgotos sanitários. Além disso, pode auxiliar na redução dos níveis de utilização desse elemento químico que possui fontes naturais escassas, auxiliando na implementação de ações voltadas para a manutenção da qualidade de vida das atuais e das futuras gerações.

Trata-se, portanto, de uma medida considerada preventiva aos processos de poluição das águas e, como tal, não pode ser relegada a um segundo plano.

A partir do presente estudo, foram obtidos subsídios técnicos para analisar a presença de fósforo nos esgotos sanitários e avaliar a contribuição dos detergentes em pó destinados à limpeza de tecidos em relação ao total desse elemento que chega até as estações de tratamento.

Verificou-se que os detergentes atualmente comercializados no Brasil possuem uma concentração de fósforo bastante baixa, situando-se abaixo de 0,01% em peso. Esse valor é sensivelmente inferior ao estabelecido pela legislação que atualmente regulamenta a utilização de fósforo nesses produtos, a Resolução CONAMA nº 359/05, cujo limite é de 4,8% em peso. Considerando-se o limite estipulado por essa legislação e os dados obtidos neste trabalho, é possível inferir que o setor produtivo pode ter, voluntariamente, substituído o fósforo por outro tipo de *builder*, seja com a finalidade de reduzir os custos de produção ou para alinhar-se às tendências já implementadas em outras localidades do mundo.

Verificou-se ainda, que os detergentes atualmente comercializados no país podem contribuir, tecnicamente, e em média, para 0,17% do total de fósforo presente nos esgotos. Em termos de contribuição *per capita*, os dados obtidos indicam um resultado da ordem de 0,0014 g/hab.dia, valor este que, face ao aporte total de fósforo, é considerado muito pouco representativo.

A substituição do fósforo nos detergentes pode ter refletido na proporção entre as frações orgânica e inorgânica desse elemento nos esgotos, pois, de forma divergente da literatura clássica relativa ao assunto, onde a fração orgânica é usualmente apresentada como mais reduzida que a fração inorgânica, a contribuição média de fósforo orgânico obtida neste trabalho foi dimensionada na faixa de 64% do total de fósforo presente nos esgotos. Cumpre ressaltar, que dados mais recentes sobre o assunto, publicados por METCALF e EDDY (2014), já apresentam indicativos dessa possível mudança, na medida em que apontam a fração orgânica como responsável por 57% do total de fósforo nos esgotos.

A introdução dos detergentes com baixo teor de fosfato pode ter refletido também, na

redução da quantidade *per capita* de fósforo lançada nos esgotos. Os resultados obtidos apontam para uma faixa de contribuição situada entre 0,75 e 1,02 g/hab.dia, em média, valores diferentes daqueles normalmente encontrados na literatura, onde essa faixa de contribuição é mais ampla e com limite superior mais elevado, estando usualmente dimensionada entre 0,7 e 2,0 g/hab.dia.

Caso os fabricantes estivessem atendendo os limites estabelecidos pela CONAMA nº 359/05, as cargas de fósforo identificadas nos esgotos afluentes das ETEs seriam aumentadas, e em muito, de forma que, nas estações de tratamento analisadas, a contribuição dos detergentes com relação ao total de fósforo presente nos esgotos sanitários passaria para faixa de 43%, em média, com contribuição *per capita* da ordem de 1,4 a 1,7 g/hab.dia.

De forma geral, os dados levantados neste trabalho permitiram visualizar uma importante evolução, considerando-se que a redução das cargas de fósforo lançadas nos sistemas de esgotos poderá auxiliar no planejamento de ferramentas adequadas para a gestão de ambientes eutrofizados, levando-se em conta as especificidades regionais. Necessita-se, entretanto, evoluir com o conteúdo dos dispositivos legais atualmente vigentes, de forma que as condições praticadas atualmente pelo setor produtivo e já vigentes no mercado, sejam regulamentadas, inclusive coibindo a informalidade, e permitindo a manutenção do controle dessa importante fonte de fósforo nos esgotos sanitários.

Necessita-se também caminhar com o processo de averiguação de outras possíveis fontes que podem contribuir para o aumento da concentração de fósforo nos esgotos, como é o caso dos efluentes de origem não doméstica. Nesse sentido, deve-se citar a importância de serem adotadas ações efetivas para controle e fiscalização dessa atividade, principalmente nas ETEs de menor porte, que são mais suscetíveis às variações nas contribuições.

Outro ponto a ser abordado, é a importância do dimensionamento das contribuições naturais e antrópicas de nutrientes nas águas para o controle da eutrofização. Para tanto, necessitam ser desenvolvidos estudos que levem em conta as formas de ocupação do solo e as atividades desenvolvidas no âmbito das bacias

hidrográficas, bem como, os usos previstos e requeridos para os corpos d'água, em consonância com sua classe de enquadramento.

Desta forma, será possível planejar medidas de gestão e controle adequadas aos diferentes atores, de forma equilibrada e sustentável, possibilitando a definição de etapas para eventuais melhorias nos sistemas de saneamento básico, com vistas à melhor utilização dos recursos financeiros e ambientais disponíveis e ao atendimento às demandas sociais existentes em cada região, em consonância com os dispositivos preconizados pela Lei Federal 11.445/2007, que estabelece as diretrizes para o setor de saneamento no Brasil.

Face ao exposto, com relação à questão do uso de fósforo nos detergentes, recomenda-se aperfeiçoar os atuais dispositivos legais, da seguinte forma:

- Revisar a legislação vigente, a Resolução CONAMA nº 359/05, de forma que seu conteúdo reflita as condições atualmente praticadas pelo mercado, permitindo a manutenção do controle dessa importante fonte de fósforo no nos esgotos sanitários;
- Inserir mecanismos para divulgação do assunto junto aos consumidores, de forma a instituir um processo de comunicação claro, que contribua para o aprimoramento das ferramentas de educação e conscientização ambiental.

No que se refere à presença do fósforo nos esgotos sanitários, e, numa visão global, com relação ao controle da eutrofização, recomenda-se:

- Levantar e dimensionar as fontes naturais e antrópicas que contribuem para o aporte de nutrientes nas águas, priorizando as bacias hidrográficas com histórico de mananciais afetados pela eutrofização;
- Promover estudos específicos para dimensionamento das fontes de nutrientes nos esgotos sanitários, observando-se as diferenças regionais, com identificação das possíveis medidas preventivas a serem adotadas no sentido de reduzir o aporte;
- Evoluir com as ferramentas para fiscalização e controle das fontes não

domésticas de fósforo nos esgotos sanitários, bem como de outros nutrientes;

- Estudar o estabelecimento limites para lançamento de fósforo nos esgotos domésticos e efluentes industriais, levando-se em conta as características sociais e econômicas de cada região, a motivação ambiental (enquadramento dos corpos d'água e usos atuais e previstos), e as metas previstas para universalização dos serviços de saneamento;
- Definir critérios para a execução de sistemas de tratamento de esgotos terciários ou avançados, destinados à remoção de fósforo e outros nutrientes, com base nas especificidades de cada bacia hidrográfica, e considerando-se as alternativas técnicas que possam auxiliar na preservação das fontes de fósforo no meio ambiente, contribuindo para a sustentabilidade das suas reservas naturais;
- Implementar mecanismos voltados para fiscalização e controle do aporte de fósforo e outros nutrientes em áreas agrícolas, por meio da regulamentação e disciplinamento a atividade.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABAD - Associação Brasileira de Atacadistas e Distribuidores. **As mais vendidas**. Revista Abastecimento, ano 5, n. 36, nov./dez. 2012. Disponível em: <<http://www.sincovaga.com.br/ct/abastecimento/pdf/AB36.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2014.
2. ABBT-BRAUN, G.; BÖRMICK, H.; BRANDÃO, C. C. S.; CAVALCANTI, C. B. G.; CAVALCANTI, C. P.; FRIMMEL, F. H.; MAJEWSKY, M.; STEINIGER, B.; TRÖSTER, M.; WORCH, E. **Water quality of tropical reservoirs in a changing world: the case of Lake Paranoá, Brasília, Brazil**. In: LORZ, C.; MAKESCHIN, F.; WEISS, H. (eds). Integrated water resource management in Brazil. United Kingdom: IWA Publishing, 2014.
3. ABDUL NOUR, E. A.; PHILLIPPI, L. A.; ROSTON, D. M.; ZANELLA, L.; GONÇALVES, R. F. Gerenciamento de águas negras e amarelas. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso racional de água em edificações**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006, p. 224-265.
4. ABIPLA - Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Limpeza e Afins. **Anuário ABIPLA**. São Paulo: Public, 2008. Disponível em: <<http://www.abipla.org.br/novo/anuario.aspx>>. Acesso em: 26 mar. 2012.
5. ABIPLA - Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Limpeza e Afins. **Anuário ABIPLA**. São Paulo: Public, 2009. Disponível em: <<http://www.abipla.org.br/novo/anuario.aspx>>. Acesso em: 26 mar. 2012.
6. ABIPLA - Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Limpeza e Afins. **Anuário ABIPLA**. São Paulo: Public, 2010. Disponível em: <<http://www.abipla.org.br/novo/anuario.aspx>>. Acesso em: 26 mar. 2012.
7. ABIPLA - Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Limpeza e Afins. **Anuário ABIPLA**. São Paulo: Public, 2011. Disponível em: <<http://www.abipla.org.br/novo/anuario.aspx>>. Acesso em: 04 abr. 2014.
8. ABIPLA - Associação Brasileira das Indústrias de Produtos de Limpeza e Afins. **Anuário ABIPLA**. São Paulo: Public, 2013. Disponível em: <<http://www.abipla.org.br/novo/anuario.aspx>>. Acesso em: 04 abr. 2014.
9. ABRAS - Associação Brasileira de Supermercados. Mercado de sabão para lavar roupa cresce 9,6%. **Notícias do setor**. Set. 2013. Disponível em: <<http://www.abrasnet.com.br/clipping.php?area=17&clipping=40949>>. Acesso em: 30 out 2013.
10. ABRE - Associação Brasileira de Embalagem. Embalagem pode ajudar indústria de produtos de limpeza a combater a informalidade. **ABRE News**, n. 79, mar./abr. 2009. Disponível em: <<http://abre.org.br/jornal/news79/news.htm>>. Acesso em: 18 jul. 2014.
11. AESBE - Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais. **Financiamento de investimentos em saneamento básico**: medidas sugeridas para expansão sustentável e modernizadora. Proposta em discussão. São Paulo, dez. 2006. Disponível em: <<http://www2.al.rs.gov.br/fórumdemocratico/LinkClick.aspx?fileticket=ISM6R5IfONA%3D&tabid=3230&mid=4650>>. Acesso em: 23 dez. 2013.
12. ALONSO, R. **Fósforo utilizado em detergentes em pó prejudica qualidade de mananciais de água**. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. São

- Paulo, abr. 2002. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/destaque/workshop_fosforo.htm>. Acesso em: 20 mai 2007.
13. ANA – Agência Nacional das Águas. Resolução nº 677, de 30 de novembro de 2010. Outorga do direito de uso de recursos hídricos para diluição de efluentes tratados no braço do ribeirão do Marinheiro, localizado no Reservatório da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha, situado no rio Grande, com a finalidade de esgotamento sanitário do Município de Cardoso, Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2010/677-2010.pdf>>. Acesso em 10 dez. 2014.
 14. ANA - Agência Nacional das Águas. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras:** água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Desenvolvido em parceria com Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/publicacoes/guia-nacional-coleta-2012.pdf>>. Acesso em: 31 mai. 2013.
 15. ANDRADE NETO, C. O.; CAMPOS, J. R. Capítulo 1: introdução. In: CAMPOS, J. R. (Coord). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999, p. 1-28.
 16. ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; FERNANDES, F. Disposição do lodo no solo. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos, tratamento e disposição final.** V. 6. Belo Horizonte: DESA–UFMG e Sanepar, 2001.
 17. ANGELINI, R.; BINI, L. M.; STARLING, L. R. M. Efeitos de diferentes intervenções no processo de eutrofização do lago Paranoá (Brasília – DF). **Oecol. Brasiliensia**, v. 12, n. 3, p. 564 – 571, 2008.
 18. ANJOS JUNIOR, A. H. **Gestão estratégica do saneamento.** Barueri: Manolo, 2011.
 19. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Conceitos técnicos:** detergentes e seus congêneres. 2011. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/saneantes/conceito.htm#DETERGENTES>>. Acesso em 12 jan. 2011.
 20. APHA. American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21ª ed. Washington: APHA-AWWA-WEF, 2005.
 21. BALMÉR, P.; HULTMAN, B. Control of phosphorus discharges: present situation and trends. **Hydrobiologia**, Brussels, v. 170, n. 1, p. 305-319, dez. 1988.
 22. BARBOSA, A. B.; SILVA, R. B. Química e sociedade. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 2, p. 3-6, nov. 1995.
 23. BARROS, A. J.; LEHFELD, N. A. S. **Projeto de pesquisa:** propostas metodológicas. Petrópolis: Vozes, 1990.
 24. BAUER, H. P. Environmental impact of inorganic detergent builders. In: ZOLLER, U. (Coord.). **Handbook of detergents - Part B:** Environmental Impact. Surfactant Science Series. New York: Marcel Dekker, 2004, p. 573-588.
 25. BOCCHIGLIERI, M. M. **O lixiviado de aterros sanitários em estações de tratamento dos sistemas públicos de esgotos.** 2010. 257 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.
 26. BOOMAN, K. A.; SEDLAK, R. I. Phosphate detergents: a closer look. **Journal Water Pollution Control Federation**, New York, v. 58, n. 12, p. 1092-1100, dez. 1986.
 27. BORSATO, D.; GALÃO, O. F.; MOREIRA, I. **Detergentes naturais e sintéticos:** um guia técnico. Londrina: Ed. UEL, 1999.

28. 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.
29. BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: CETESB, 1993.
30. BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Elementos de ciência do ambiente**. 2 ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987.
31. BRASIL. 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. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005a. p. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2009.
32. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 359, de 29 de abril de 2005b. Dispõe sobre a regulamentação do teor de fósforo em detergentes em pó para uso em todo o território nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 mai. 2005b. Seção 1, p. 63-64. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35905.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2009.
33. BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 jan. 2007. Seção 1, p. 3. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 16 ago 2013.
34. BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Seção 1, p. 3. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 12 dez. 2013.
35. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 mai. 2011. p. 89 Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 15 mai 2011.
36. CATHCART, J. B. World phosphate reserves ad resources. In: KHASAWNEH, F. E. et al. (Coord). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980, p. 1-18.
37. CECHIN, A. D.; VEIGA, J. E. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. **Revista Economia Política**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 438-454, jul./set. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010131572010000300005>. Acesso em: 25 jan. 2014.
38. CEEP - Centre Européen d'Estudes des Polyphosphates. Desenvolvido por European Chemical Industry Council. **Scope Newsletter**, n. 71, set. 2008. Disponível em: <<http://www.ceep-phosphates.org>>. Acesso em 15 jul. 2014.
39. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade de Águas Interiores do Estado de São Paulo**: relatório técnico. São Paulo: CETESB, 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais>>. Acesso em: 29 mai. 2013.
40. 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.
41. CHORUS, I.; BARTRAM, J. (Coord.). **Water quality assessments: a guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring.** Cambridge: UNESCO/WHO/UNEP, 1999. <http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/resquality/en/index.html>. Acesso em: 25 nov. 2007.
 42. COMBER, S.; GARDNER, M.; GEORGES, K.; BLACKWOOD, D.; GILMOUR, D. Domestic source of phosphorus to sewage treatment works. **Environmental Technology**, Hertfordshire, n. 34, p. 1349-1358, set./dez. 2013.
 43. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Metodologia de avaliação das reduções das concentrações de fósforo com base na Resolução CONAMA nº 359.** Grupo de Monitoramento do Fósforo. Brasília: ago. 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/1B20DDC4/Metfosforo_%20Conama359_28ago09.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2011.
 44. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Relatório Final.** Grupo de Monitoramento do Fósforo. Resolução CONAMA nº 359/05. Brasília: fev. 2010. 19 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir1242/RelatFinalFosforo_99RO_25e26ago10.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2011.
 45. CORAZZA, R. I. Tecnologia e meio ambiente no debate sobre os limites do crescimento. **Rev. Economia**, Brasília, v. 6, p. 435-461, jul./dez. 2005. Disponível em: <http://anpec.org.br/revista/vol6/vol6n2p435_461.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2014.
 46. CORBRIDGE, D. E. C. **Phosphorus: an outline of its chemistry, biochemistry and technology.** Studies in inorganic chemistry. 4 ed. New York: Elsevier Science Publishers B. V., 1990.
 47. CORDELL, D. The story of phosphorous: missing global governance of a critical resource. In: SENSE Earth Systems Governance, Amsterdam, 24-31 ago. 2008. Sydney: Institute for Sustainable Futures, 2008. Disponível em: <http://phosphorusfutures.net/files/DCordell_SENSEpaper.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2008.
 48. CORDELL, D.; ROSEMARIN, A.; SCHORODER, J. J.; SMIT, A. L. Towards global phosphorus security: a systems framework for phosphorus recovery and reuse options. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 6, n. 84, p. 47-58, mar. 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653511001652>>. Acesso em: 28 out. 2013.
 49. COSMÉTICOS. A perfumaria funcional: sabão em pó, amaciante e detergente. **Revista Cosméticos & Perfumes**, n. 11, p. 16-29, mar./abr. 2001.
 50. CWS - Clean Water Services. **Durham houses first full-scale commercial nutrient recovery facility in the nation.** Disponível em: <<http://www.cleanwaterservices.org/AboutUs/WastewaterAndStormwater/Ostara.aspx>>. Acesso em: 21 abr. 2014.
 51. DARDNI - Department of Agriculture and Rural Development. **The code of good agriculture practice for the prevention of pollution of water, air and soil.** Northern Ireland: DARDNI, 2008. Disponível em: <http://www.dardni.gov.uk/code_of_good_agricultural_practice_cogap_august_2008.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2014.
 52. DEFRA - Department for Environment, Food and Rural Affairs. Water Quality Division. **Consultation on options for controls on phosphates in domestic laundry cleaning products in England.** London, 47 p, fev. 2008. Disponível em: <<http://www.endseurope.com/docs/80215a.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2014.
 53. DELETIC, A. The first flush load of urban surface runoff. **Water Research**, London,

- v. 32, n. 8, p. 2462-2470, ago. 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135497004703>>. Acesso em: 26 jul. 2014.
54. DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle da poluição ambiental**. 2 ed. São Paulo: Signus Editora, 2000.
 55. 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. London: Pergamon Press Officers, 1975, p. 35-54.
 56. EC - European Commission. Council Directive nº 60, of 23 Oct. 2000. Establishing a framework for Community action in the field of water policy. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ>>. Acesso em: 29 out. 2012.
 57. EEA - European Environment Agency. **Source apportionment of nitrogen and phosphorus inputs into the aquatic environment**. Report nº 7. Copenhagen, 2005, 48 p. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2005_7>. Acesso em: 21 jan. 2012.
 58. ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: FINEP, 1988.
 59. EUROPA. Commission of the European Communities. Current Legislation on Detergents. Regulamento (CE) nº 648/2004 do Parlamento Europeu e do Conselho de 31 de março de 2004 relativo aos detergentes. Jornal da União Européia JOL, Brussels, n. 104, abr. 2004. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/documents/specific-chemicals/detergents/>>. Acesso em: 12 jul 2011.
 60. EUROPA. Commission of the European Communities. Reports of the Commission on the implementation of the Detergents Legislation. Reports on phosphates in detergents. Brussels: abr. 2007. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/documents/specific-chemicals/detergents/>>. Acesso em: 12 jul. 2011.
 61. EUROPA. Commission of the European Communities. Accompanying document to the Proposal for amending Regulation (EC) No 648/2004 as regards the use of phosphates and other phosphorous compounds in household laundry detergents - impact assessment. Brussels: nov. 2010. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52010SC1277&from=EN>>. Acesso em: 12 jul. 2011.
 62. EUROPA. Commission of the European Communities. Parecer do Comité Económico e Social Europeu sobre a “Proposta de regulamento (UE) nº .../... do Parlamento Europeu e do Conselho que altera o Regulamento (CE) nº 648/2004 no que diz respeito à utilização de fosfatos e de outros compostos fosforados em detergentes para a roupa de uso doméstico”. Jornal Oficial da União Européia - JOL, n. 132, mai. 2011. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/documents/specific-chemicals/detergents/>>. Acesso em: 12 jul. 2011.
 63. EUROPA. Commission of the European Communities. Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the committee of the Regions. 7th Commission Report on the Implementation of the Urban Waste Water Treatment Directive. 13 p. Brussels: ago. 2013. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0574&from=EN>>. Acesso em: 23 jul. 2014.
 64. EUROPARL - Parlamento Europeu. Sessão Plenária. Dossier. Referência 20111201 FCS33093. Strasbourg: 12 a 15 dez. 2011. Disponível em: <<http://www.europarl.europa.eu/news/pt/news-room/plenary/2011-12-12>>. Acesso em: 16 jul. 2014.
 65. FCTH. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. Universidade de São Paulo -

- USP. **Banco de dados pluviométricos**. Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=72:hidrometeorologia&catid=43:hidrometeorologia>. Acesso em: 08 ago. 2014.
66. FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JUNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (*r*). **Rev. Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115 – 146, 2009.
 67. FLOYD, P; ZAROGIANNIS, P; FOX, K. **Non-surfactant organic ingredients and zeolite-based detergents**: final report. Risk & Policy Analysts Limited - RPA. London: RPA, 2006.
 68. FRIEDMAN, M. Detergents and the environment: historical review. In: ZOLLER, U. (eds). **Handbook of detergents - Part B**: Environmental Impact. Surfactant Science Series. New York: Marcel Dekker, 2004, p. 11-34.
 69. GALVÃO JUNIOR, A. C.; NISHIO, R. R.; BOUVIER, B. B.; TUROLLA, F. A. Marcos regulatórios estaduais em saneamento básico no Brasil. **Revista Adm. Pública**, Rio de Janeiro, v. 43, 1 ed., p. 207-227, jan./fev. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rap/v43n1/a10v43n1>>. Acesso em: 23 jan. 2014.
 70. GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1989.
 71. GILINSKY, E.; CAPACASA, J. M.; BAKER, M. G.; KING, E. S. **An urgent call to action**: report of the State-EPA nutrient innovations task group. United States Environmental Protection Agency - USEPA. Washington: USEPA, 2009. Disponível em: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/waterquality/standards/criteria/aqlife/pollutants/nutrient/upload/2009_08_27_criteria_nutrient_nitgreport.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2013.
 72. GILMOUR, D.; BLACKWOOD, D.; COMBER, S.; THORNELL, A. **Identifying human waste contribution of phosphorus loads to domestic wastewater**. 11th International Conference on Urban Drainage. Scotland: 2008. 10p. Disponível em: <http://web.sbe.hw.ac.uk/staffprofiles/bdgsa/11th_International_Conference_on_Urban_Drainage_CD/ICUD08/pdfs/740.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2014.
 73. 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.
 74. GMSM - Global Material Supply Management. **Tripolifosfato de Sódio**: STPP em detergentes em pó. Grupo de fósforo. Apresentação. São Paulo: GMSM, 2008. Disponível em: <http://www.gmsm.com.br/arquivo/download2?ID_ARQUIVO=33>. Acesso em: 16 mai. 2013.
 75. GONÇALVES, R. F.; ALVES, W. C.; ZANELLA, L. Conservação de água no meio urbano. In: GONÇALVES, R. F. (Coord). **Uso racional de água em edificações**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006a, p. 29 - 71.
 76. GONÇALVES, R. F.; BAZZARELLA, B. B.; PETERS, M. R.; PHILLIPPI, L. S. Gerenciamento de águas cinzas. In: GONÇALVES, R. F. (Coord). **Uso racional de água em edificações**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006b, p. 153-222.
 77. GPF - Global Phosphate Forum. **Detergent phosphates**. Disponível em: <<http://www.phosphates-forum.org>>. Acesso em: 18 jun. 2011.
 78. GUERTECHIN, L. O. Surfactants: classification. In: ZOLLER, U; BROZE, G (eds). **Handbook of detergents - Part A**: properties. Surfactant Science Series. Vol 82. New York: Marcel Dekker Inc., 1999, p. 7-46.

79. HARTIG, J. H.; HORVATH, F. J. A preliminary assessment of Michigan's phosphorus detergent ban. **Journal Water Pollution Control Federation**, New York, v. 54, n. 2, p. 193-197, fev. 1982. Disponível em: <<http://www.jstor.org/discover/10.2307/25041261?uid=3737664&uid=2129&uid=2&uid=70&uid=4&sid=21104217043011>>. Acesso em: 22 mai. 2013.
80. HARTIG, J. H.; ZARULL, M. A.; CIBOROWSKI, J. J. H.; GANNON, J. E.; WILKE, E.; NORWOOD, G.; VINCENT, A. **State of strait**: status and trends of key indicators. Great Lakes Institute for Environmental Research. Occasional Publication n. 5. University of Windsor: Ontario, 2007.
81. HAUTHAL, H. G. Types and typical ingredients of detergents. In: WALDHOFF, H; SPILKER, R (eds). **Handbook of detergents - Part C**: analysis. Surfactant Science Series. Vol 123. New York: Marcel Dekker Inc., 2005, p. 1-100.
82. HESPANHOL, I. Biossólidos, meio ambiente e saúde pública: critérios para o estabelecimento de diretrizes. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALÉM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELPHI, A. J.; MELHO, W. J.; MARQUES, M. O. (eds). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: ABES, 2002, p. 273-287.
83. HORVATH, P. **The environmental and economic impacts of detergent phosphorus bans on Great Lakes municipal wastewater treatment systems**. Report. United States Environmental Protection Agency - USEPA. Great Lakes National Program Office. Report EPA-68-04-5017, 60 p., mar. 1985. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/>>. Acesso em: 16 jul. 2014.
84. IJC - International Joint Commission. **Pollution of lake Erie, lake Ontario and the international section of St. Lawrence river**. International Lake Erie Water Pollution Board and the International Lake Ontario - St Lawrence River Water Pollution Board. v. 3, 329 p. Ontario: IJC, 1969. Disponível em: <<http://www.ijc.org/files/publications/C114.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2014.
85. IJC - International Joint Commission. **Phosphorus management for the Great Lakes. Final Report of the Phosphorus Management Strategies Task Force**. 135 P. Ontario: IJC, 1980. Disponível em: <<http://www.ijc.org/files/publications/D16.pdf>>. Acesso em: 26 jun 2014.
86. IJC - International Joint Commission. A balanced diet for Lake Erie: reducing phosphorus loadings and harmful algal blooms. **Report of the Lake Erie Ecosystem Priority**. 95 p. Washington: IJC, 2014. Disponível em: <<http://www.ijc.org/files/publications/2014%20IJC%20LEEP%20REPORT.pdf>>. Acesso em: 26 jun 2014.
87. JARVIE, H. P.; NEAL, C.; WITHERS, P. J. A. Sewage-effluent phosphorus: A greater risk to river eutrophication than agricultural phosphorus? **Science of the Total Environment**, n. 360, p. 246-253, mai. 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969705006066>>. Acesso em: 16 jun. 2013.
88. JÖNSSON, H.; BAKY, A.; JEPPSSON, U.; HELLSTRÖM, D.; KÄRRMAN, E. Composition of urine, faeces, greywater and biowaste: for utilization in the URWARE model. **Urban Water Report 2005:6**. The Mistra Program. Chalmers University of Technology, Dept. of Industrial Electrical Engineering and Automation. 49 p. Sweden: 2005.
89. JORDÃO, E. P. Uso benéfico do lodo traria benefícios ambientais. Entrevista. **Rev. Saneas**, São Paulo, ano X, n. 32, p. 5-6, jan./fev./mar. 2009.
90. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6ª ed. 1050 p. Rio de Janeiro: ABES, 2011.
91. KNUD-HANSEN, C. **Historical perspective of the phosphate detergent conflict**.

- Conflict Information Consortium. University Of Colorado at Boulder. Working Paper 94-54, fev. 1994. Disponível em: < http://www.colorado.edu/conflict/full_text_search/AllCRCDocs/94-54.htm>. Acesso em: 16 mar. 2012.
92. 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.
 93. LARA, A. I.; FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; ILHENFELD, R. G. K. **Uso e manejo de lodo de esgoto na agricultura**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB e Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. Curitiba: FINEP, 1999. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/uso_manejo_lodo_agricultura.pdf>. Acesso em: 30 de dez. 2013.
 94. LARSEN T.; LIENERT, J. Spotlight on NoMix. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. **Eawag News**, n. 63, mar. 2007. Disponível em: <http://www.novaquatis.eawag.ch/publikationen/eawag_news_E>. Acesso em: 14 fe. 2014.
 95. LEONETI, A. B.; PRADO, E. L.; OLIVEIRA, S. V. W. B. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Rev. Adm. Pública**, Rio de Janeiro, v. 45, 2 ed., p. 331-348, mar./abr. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-76122011000200003&script=sci_arttext>. Acesso em: 22 jan. 2014.
 96. LIRA, S. A. **Análise de correlação**: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações. 2004. 196 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Setor de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.
 97. LITKE, D. W. **Review of phosphorus control measures in the United States and their effects on water quality**. United States Geological Survey. Water-Resources Investigations Report 99-4007. National Water Quality Assessment Program. Colorado: 1999.
 98. LLOYD, J. The nutrient cycle: closing the loop. In: HISLOP, H. (Coord.). **The nutrient cycle: closing the loop**. United Kingdom: Green Alliance, 2007. Disponível em: <<http://www.green-alliance.org.uk>>. Acesso em: 15 dez. 2008.
 99. 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.
 100. MACRAE, R.; ROBINSON, R. K.; SADLER, M. J. (Coord.). **Encyclopaedia of food science, food technology and nutrition**. V. 6. Londres: Academic Press Limited, 1993.
 101. 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.
 102. MARTINS, G. A.; DONAIRE, D. **Princípios de estatística**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 1982.
 103. MAUCH, C.; REYNARD, E.; THORENS, A. Historical profile of water regime in Switzerland (1870 - 2000). **Working Paper**. Swiss Graduate School of Public Administration - IDHEAP. Politiques Publiques et Environment. 75 p. Nov. 2000.
 104. McKINNEY, R. E. Detergents: composition, characteristics of componants, uses and applications. **Seminar on "Considerations for a Detergent Policy"**. CETESB. São Paulo: 6 a 09/12/1976.
 105. MELPHI, A. J.; MONTES, C. R. Impacto dos bio sólidos sobre o solo. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALÉM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELPHI, A. J.; MELHO, W. J.; MARQUES, M. O. (eds).

- Biossólidos na agricultura.** São Paulo: ABES, 2002, p. 243-272.
106. MENEGON JUNIOR, N.; BEVILACQUA, E. Resolução CONAMA nº359 de 2005 sobre teor de fósforo nos detergentes em pó: essa ação tem se mostrado efetiva para a redução da eutrofização? **Revista DAE**, São Paulo, n. 188, ano LIX, p. 10-11, jan. 2012. Disponível em: <http://revistadae.com.br/downloads/Revista_DAE_Edicao_188.pdf>. Acesso em: 15 out 2012.
 107. METCALF & EDDY, Inc; TCHOBANOGLOUS, G.; STENSEL, H. D.; TSUCHIHASHI, R.; BURTON, F. L. **Wastewater engineering: treatment and resource recovery**. 5ª ed. New York: McGraw-Hill, 2014.
 108. MINARECI, O.; ÖZTÜRK, M.; EGEMEN, Ö.; MINARECI, E. Detergent and phosphate pollution in Gediz River, Turkey. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 15, p. 3568–3575, 04 aug 2009.
 109. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução Normativa nº 1, de 25 de outubro de 1978. Aprova as normas a serem obedecidas pelos detergentes e seus congêneres. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/anvisalegis/resol/01_78.htm>. Acesso em: 22 abr. 2011.
 110. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Portaria nº 3.011, de 1º de dezembro de 2009. Torna pública a proposta de Projeto de Resolução "Regulamento Técnico Mercosul sobre Listas de Substâncias que os Produtos de Higiene Pessoal, Cosméticos e Perfumes não devem conter exceto nas Condições e com as Restrições Estabelecidas" (Revogação da Resolução GMC Nº 26/05) e dá outras providências. Ministério da Saúde. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2009/prt3011_01_12_2009.html>. Acesso em 16 jul. 2014.
 111. MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. (Coord.). **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Projeto Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 428 p.
 112. MUMMA, C. E.; HOPKINS, F. C.; BOHANNON, K.; LAPP, T. W. Analysis of the sources of phosphorus in the environment. United States Environmental Protection Agency - USEPA. Office of Toxic Substances. **Report 560/2-79-002**. Mar. 1979, 226 p. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov>>. Acesso em: 17 jan. 2011.
 113. NAKAMURA, C. H.; GRISOTTO, L. E. G.; JESUS, J. A. O.; GALLEGOS, C. E. C.; PEREIRA, C. A. A. O.; BITTENCOURT, A. G.; TENSO, E. J. Avaliação dos Impactos de ações integradas de saneamento ambiental sobre a qualidade das águas dos mananciais de abastecimento público da Região Metropolitana de São Paulo, Brasil. In: VI ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 2012, Belém. **Anais...** Belém: ANPPAS; 2012. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro6/anais/ARQUIVOS/GT9-821-535-20120621094205.pdf>>. Acesso em: 09 dez. 2014.
 114. NIXON, S.C.; LACK, T.J.; HUNT, D.T.E. **Recursos hídricos na Europa: uma utilização sustentável?** Relatório de Avaliação Ambiental n. 7. Agência Europeia do Ambiente. Copenhagen: 2000. 36 p. Disponível em: <<http://eea.eu.int>>. Acesso em: 08 mai. 2014.
 115. NOWOSIELSKI, A. **Impact assessment of ban on phosphorus in domestic laundry cleaning products**. Department for Environment, Food & Rural Affairs - DEFRA. Set. 2009. Disponível em: <http://www.pesticides.gov.uk/Resources/CRD/Migrated-Resources/Documents/D/Defra_Impact_Assessment_ai-phosphate-detergent.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2014.
 116. OSORIO, V. K. L.; OLIVEIRA, W. Polifosfatos em detergentes em pó comerciais.

- Revista Eletrônica Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 5, set./out. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422001000500019>. Acesso em: 28 abr. 2012.
117. PAGANINI, W. S. **Disposição de esgotos no solo**: escoamento à superfície. São Paulo: Fundo Editorial AESABESP, 1997.
 118. 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.
 119. PAGANINI, W. S. Reúso agrícola: uma alternativa de utilização sustentável dos serviços ambientais. **Revista Saneas**, São Paulo, ano IX, n. 28, p. 23–24, jan./fev./mar. 2008.
 120. PAGANINI, W. S. Alternativas para a disposição final de lodos de estações de tratamento de água e estações de tratamento de esgotos. Matéria Sabesp. **Revista Saneas**, São Paulo, ano X, n. 32, pp. 13-19, jan./fev./mar. 2009.
 121. PEDROSO, J. S. O. Medidas de proteção das águas do reservatório do Guarapiranga. **Rev. DAE**, n. 36, p. 53 – 56, 1960. Disponível em: <<http://www.revistadae.com.br/novosite/artigo.php?id=733>>. Acesso em: 09 dez. 2014.
 122. PEREIRA, B. E. B.; YASSUDA, E. R.; MARTINS, J. A.; NOGAMI, P. S.; GAGLIANONE, S.; OLIVEIRA, W. E. **Técnicas de abastecimento de água**. V. 1 - Abastecimento de água. 2 ed. São Paulo: CETESB, 1987. 550 p.
 123. PESCOD, M. B. **Agricultural use of sewage sludge**. Wastewater treatment and use in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. Rome: 1992. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/T0551E/t0551e08.htm#TopOfPage>>. Acesso em: 04 fev. 2014.
 124. PILLAY, M. **Detergent phosphorus in South Africa**: impact on eutrophication with specific reference to the Umgeni catchment. Dissertação de Mestrado. University of Kwazulu-Natal. Durban. 1994. Disponível em: <<http://prg.ukzn.ac.za/>>. Acesso em: 09 dez. 2014.
 125. PINTO, M. T.; CAVALCANTE, C. G.; LUDUVICE, M. A evolução do processo de eutrofização do Lago Paranoá, Brasília, após cinco anos de controle nas descargas de nutrientes. In: 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES; 1999.
 126. PINTO, M. T.; FORESTI, E.; PIVELI, R. P.; MARQUES JR, J.; VON SPERLING, M. Elementos para decisão acerca do reúso ou lançamento do esgoto tratado. In: MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. (Coord). **Nutrientes de esgoto sanitário**: utilização e remoção. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009, pp. 406-425.
 127. PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição**: aspectos físico-químicos. São Paulo: ABES, 2005.
 128. PIVELI, R. P.; CORAUCCI FILHO, B.; MONTES, C. R.; NASCIMENTO, C. W. A.; MOTA, S.; MARQUES JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, O.; STEFANUTTI, R.; BOTELHO, S. Utilização de esgoto tratado na agricultura: aporte de água e nutrientes. In: MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. (Coord). **Nutrientes de esgoto sanitário**: utilização e remoção. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009, pp. 52-118.
 129. QUEVEDO, C. M. G. **As atividades do homem e a evolução da dinâmica do fósforo no meio ambiente**. 2009. 230 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.

130. RANDALL, C.; BARNARD, J.; STENSEL, H. D.; DUFRESNE, L. **Nutrient control design manual**. United States Environmental Protection Agency- USEPA. Office of Research and Development. Scientific, Technical, Research, Engineering and Modeling Support (STREAMS). Task Order 68. Cincinnati: EPA, 2010. 347 p
131. RITTNER, H. **Sabão: tecnologia e utilização**. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 1995. 526 p.
132. ROSSIN, A.C. **Influence of detergent builders on heavy metals in waste water treatment**. 1981. 231 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Imperial College of Science and Technology, London.
133. RUDOLPF, K.U.; BLOCK, Ö.T. Introduction. In: RUDOLPF, K.U.; BLOCK, Ö.T. **The German Water Sector: Policies and Experiences**. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Federal Environmental Agency. Berlin-Bonn- Witten: out. 2001. Disponível em: <<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2752.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2012.
134. SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Planos integrados regionais**. Relatório Síntese. Diretoria Metropolitana (M). Unidade de Negócio de Tratamento de Esgotos da Metropolitana (MT). 25 p. São Paulo: SABESP, 2006.
135. SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Emenda técnica ao projeto executivo do sistema de tratamento de esgotos de Conchas**. Coordenadoria de Empreendimentos Centro. Relatório REE 005. 25 p. Botucatu: SABESP, 2008.
136. SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Plano diretor de esgotos da Região Metropolitana de São Paulo - PDE**. Relatório Síntese. 30 p. São Paulo: SABESP, 2010.
137. SABESP - Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Monitoramento do esgoto afluente da ETE PNM**. Laboratório da Divisão de Operação e Manutenção da ETE Parque Novo Mundo - MTTP. São Paulo: SABESP, 2014a.
138. SABESP - Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Monitoramento do esgoto afluente da ETE Franca**. Laboratório de Ensaio de Controle da Qualidade de Água e Esgoto de Franca - RGOC. Franca: SABESP, 2014b.
139. SABESP - Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Monitoramento do esgoto afluente da ETE Conchas**. Laboratório de Controle Sanitário do Médio Tietê - RMOC. Botucatu: SABESP, 2014c.
140. SABESP - Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Portal TRATESGO**. Departamento de Controle Sanitário e Ambiental da Diretoria de Sistemas Regionais. São Paulo: São Paulo: SABESP, 2014d.
141. SÃO PAULO. Lei nº 12.233, de 16 de janeiro de 2006. Define a Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga, e dá outras providências correlatas. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/norma>>. Acesso em: 08 dez. 2014.
142. SAWYER, C. N.; MCCARTY, P. L.; PARKER, G. F. **Chemistry for environmental engineering**. 5. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 2003.
143. SCHMIDTKE, N. W. Nutrient removal technology: the Canadian connection. In: BARTH, E.F. Control of nutrients in municipal wastewater effluents. Volume I: Phosphorus. **International Seminar on Control of Nutrients in Municipal Wastewater Effluents**. USEPA. United States Environmental Protection Agency. Municipal Environmental Research Laboratory. California: set. 1980, p. 1-37. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov>>. Acesso em: 30 jun. 2013.

144. SCHINDLER, D.W. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. **Limnology and Oceanography**, v. 51, n. 1, Part 2: Eutrophication of Freshwater and Marine Ecosystems, p. 356-363, jan. 2006. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/4499595>>. Acesso em: 30 jun. 2013.
145. SCHRÖDER, J.J.; CORDELL, D.; SMIT, A.L.; ROSEMARIN, A. **Sustainable use of phosphorus**. European Commission Environment. Report 357. Plant Research International. Business Unit Agrosystems. Brussels: out. 2010. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/natres/pdf/sustainable_use_phosphorus.pdf>. Acesso em 26 jul. 2013.
146. SDA - Soap and Detergents Association. **For a better living**. Soap and detergent: history. American Cleaning Institute. Washington: 2010. Disponível em: <http://www.cleaninginstitute.org/clean_living/soaps__detergent_history>. Acesso em 06 jun 2011.
147. SHANNON, E.E. Effects of detergent formulation on wastewater characteristics and treatment. **Journal Water Pollution Control Federation**, New York, v. 47, n. 10, p. 2371-2383, out. 1975. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/25038382>>. Acesso em: 04 abr 2011.
148. SHARFSTEIN, B.; ROELS, O. A.; HARRIS, V.; LEE, V. Effect of detergent legislation on phosphorus in effluent and receiving waters. **Journal Water Pollution Control Federation**, New York, v. 49, n. 9, p. 2017-2021, set. 1977. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/25039394>>. Acesso em: 25 jan. 2014.
149. SHARPLEY, A. N.; DANIEL, T.; SIMS, T.; LEMUNYON, J.; STEVENS, R.; PARRY, R. **Agricultural phosphorus and eutrophication**. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. 2 ed. Washington: USDA-ARS, 2003. Disponível em: <<http://www.ars.usda.gov/is/np/Phos&Eutro2/agphoseutro2ed.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2014.
150. SHOWELL, M. S. Introduction to detergents. In: SHOWELL, M.S. (eds). **Handbook of detergents - Part D: formulations**. Surfactant Science Series. V. 128. Boca Raton: Taylor & Francis Group. 2006. p. 1-29.
151. SILVA, C. C. A. **Poluição das águas e eutrofização**. 1972. 69 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo
152. SILVA, F. S. V. C. B.; SILVA, V. L.; LAVORANTE, A. F.; PAIM, A. P. S. Utilização de planejamento fatorial no preparo de amostras de detergente em pó para a determinação de fósforo por análise em fluxo. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 5, p. 1199-1203, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422010000500035>. Acesso em: 25 abr. 2011.
153. SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2009**. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: MCIDADES. SNIS, 2011. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=89>>. Acesso em: 23 dez. 2013.
154. 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.
155. SOUZA, A. C. S.; CARDOSO, C. E.; FRAGUAS NETO, M. R. Determinação da concentração de fosfato em amostras de detergente em pó utilizando detecção titulométrica. **Revista Eletrônica TECCEN**, Vassouras, v. 3, n. 4, p. 19-28, out./dez. 2010. Disponível em: <http://www.uss.br/pages/revistas/revistateccen/V3N42010/pdf/002_Determinacao_Concentracao.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2012.

156. STAFFEL-SCHIERHOFF, U. Pollutant: group oriented action concepts illustrated by the example of nutrient reduction. In: RUDOLPF, K.U.; BLOCK, Ö.T. **The German Water Sector: Policies and Experiences**. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Federal Environmental Agency. Berlin-Bonn-Witten: out. 2001. Disponível em: <<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2752.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2012.
157. 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.
158. 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.
159. TRAJANO, G. **Detergente em pó**: produto com maior poder de lavagem e menor consumo de água é o desafio do mercado. Portal Química, domissanitários e limpeza, dez. 2011. Disponível em: <<http://www.quimica.com.br/pquimica/domissanitarios-e-limpeza/detergente-em-po/3/>>. Acesso em: 22 jul. 2014.
160. TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALÉM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELPHI, A. J.; MELHO, W. J.; MARQUES, M. O. (eds). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: ABES, 2002.
161. TUNDISI, J. G. **Água no século XXI**: enfrentando a escassez. São Carlos, SP: RiMa, IIE, 2003.
162. TUROLLA, F. A. **Política de saneamento básico**: avanços recentes e opções futuras de políticas públicas. Texto discussão 922. Instituto Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Brasília: IPEA, 2002.
163. USEPA - United States Environmental Protection Agency. Office of Toxic Substances. **Analisis of the Sources of Phosphorus in the Environment**. EPA 560/2-79-002. Washington: mar. 1979. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov>>. Acesso em: 24 mar. 2014.
164. USEPA - United States Environmental Protection Agency. Division of Surface Water. **Ohio Lake Erie Phosphorus Task Force Final Report**. Ohio: abr. 2010. Disponível em: <<http://www.epa.ohio.gov/dsw/lakeerie/ptaskforce/index.aspx>>. Acesso em: 14 abr. 2014.
165. VAN GINKEL, C. Eutrophication: present reality and future challenges for South Africa. **Water SA**, Pretória, WRC 40-Year Celebration Special Edition, vol. 37, n. 5, pp. 693 - 701, set., 2011. Disponível em: <<http://www.wrc.org.za>>. Acesso em: 09 dez. 2014.
166. VAN HAANDEL, A.; GIRARD, L.; MENDONÇA, N.; TEIXEIRA, M.; VON SPERLING, M. Remoção biológica de fósforo no sistema de lodo ativado: mecanismos e configurações. In: MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. (Coord). **Nutrientes de esgoto sanitário**: utilização e remoção. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009, pp. 227-261.
167. VANZO, J.E.; MACEDO, L.S.; TSUTIYA, M.T. ETE Franca: uma estação que além de tratar os esgotos, produz insumos agrícolas. In: XXVII Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental. **Anais...** Porto Alegre, dez. 2000.
168. VOLCHAN JR, I.; PIVELI, R. P.; VAN HAANDEL, A.; MONTEGGIA, L. O.; CORAUCCI FILHO, B.; FIGUEIREDO, I. C. Remoção de nutrientes por processos físico-químicos. In: MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. (Coord). **Nutrientes de esgoto sanitário**: utilização e remoção. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

- PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009, pp. 341-377.
169. VON SPERLING, M. **Lodos ativados**. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. V. 4. Belo Horizonte: DESA/UFGM, 1997.
 170. VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. v. 1. 3 ed. Belo Horizonte: DESA/UFGM, 2005.
 171. VON SPERLING, M.; ANDRADE NETO, C. O.; VOLSCHAN JUNIOR, I.; FLORÊNCIO, L. Impacto dos nutrientes do esgoto lançado em corpos d'água. In: MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. (Coord). **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009, pp. 26-51.
 172. WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P. **Updating the estimate of the sources of phosphorus in UK waters**: a DEFRA funded project WT0701CSF. Final Report. Department for Environment, Food and Rural Affairs. 57 p. United Kingdom: DEFRA, Warwick HRI, Scottish Crop Research Institute, 2006. Disponível em: <<http://randd.defra.gov.uk>>. Acesso em: 14 set. 2013.
 173. WIECHERS, H. N. S.; HEYNIKE, J. J. C. Sources of phosphorus which give rise to eutrophication in South African waters. **Water SA**, Pretoria, v. 12, n. 2, p. 99-102, abr. 1986. Disponível em: <<http://www.wrc.org.za/Pages/DisplayItem.aspx?ItemID=6459&FromURL%2FPages%2FAllKH.aspx%3F>>. Acesso em: 12 jan. 2014.
 174. WIND, T. **The role of detergents in the phosphate-balance of european surface waters**. European Water Association. E-Water Journal. Hennef: abr. 2007. Disponível em: <<http://www.dwa.de/portale/ewa/ewa.nsf/home?readform&objectid=0AB6528C5177A8B7C12572B1004EF1C7>>. Acesso em: 12 jan. 2014.
 175. 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.
 176. ZAPPONE, M.; KAZISKA, A.; BOGUSH, G. Aplications of detergent in laundering. In: ZOLLER, U. (Coord.). **Handbook of detergents - Part E**: applications. Surfactant Science Series. Vol 141. Boca Raton: CRC Press, 2009, p. 69-82.
 177. ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Agência Nacional das Águas - ANA. Ministério do Meio Ambiente. Cadernos de Recursos Hídricos. 73p. Brasília: ANA-CDOC, 2005. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20Qualidade%20AguasSubterraneas.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2014.
 178. ZOLLER, U. Sustainable relationships: raw materials - surfactant/detergent production/formulation - usage/consumption - environment. In: ZOLLER, U. (Coord.). **Handbook of detergents - Part B**: Environmental Impact. Surfactant Science Series. New York: Marcel Dekker, 2004, p. 1-10.
 179. ZOLLER, U. Detergents application: current realities and future perspectives. In: ZOLLER, U. (Coord.). **Handbook of detergents - Part E**: applications. Surfactant Science Series. v. 141. Boca Raton: CRC Press. 2009. p. 1-4.

9. ANEXO

Currículo Lattes

Wanderley da Silva Paganini

Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/5175772273020198>

Última atualização do currículo em 25/08/2014

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 e gestão ambiental. **(Texto informado pelo autor)**

Claudia Maria Gomes de Quevedo

Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/0623129688112609>

Última atualização do currículo em 01/10/2014

Possui graduação em Desenho Industrial, com habilitação em Projeto de Produtos, pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), especialização em Gestão Ambiental e MBA em Gestão Empresarial pela Business School São Paulo (BSP). É Mestre em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (FSP/USP), na área de concentração de Saúde Ambiental e atualmente cursa Doutorado pela mesma instituição. Atua como analista de gestão do Núcleo de Gestão Ambiental do Médio Tietê, da Superintendência de Gestão Ambiental da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Sabesp, e possui 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)**