

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

LUIZ FERNANDO WAGNER

**AVALIAÇÃO DO LANÇAMENTO DE LODO DE ETA ACTIFLO® EM ETE COM
REATOR ANAERÓBIO NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA – PR**

PONTA GROSSA

2015

LUIZ FERNANDO WAGNER

**AVALIAÇÃO DO LANÇAMENTO DE LODO DE ETA ACTIFLO® EM ETE COM
REATOR ANAERÓBIO NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA – PR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental, Área de Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador:

Prof. Dr. Marcos Rogério Széliga.

Co-orientadora:

Prof.^a Dr.^a Giovana Kátie Wiecheteck.

PONTA GROSSA

2015

W133 Wagner, Luiz Fernando
Avaliação do lançamento de lodo de ETA Actiflo® em ETE com reator anaeróbio no Município de Ponta Grossa – PR /Luiz Fernando Wagner. Ponta Grossa, 2015.
121f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental – Área de Concentração : Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Marcos Rogério Széliga.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Giovana Kátie Wiecheteck.

1. Lodo. 2. ETA.3. Actiflo. 4.ETE. 5. UASB. I. Széliga, Marcos Rogério. II. Wiecheteck, Giovana Kátie . III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestrado de Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. T.

CDD:628.3

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: **“AVALIAÇÃO DO LANÇAMENTO DE LODO DE ETA ACTIFLO®
EM ETE COM REATOR ANAERÓBIO NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA – PR”**

Nome: **Luiz Fernando Wagner.**

Orientador: **Prof. Dr. Marcos Rogério Széliga.**

Co-Orientadora: **Prof^ª. Dr^ª. Giovana Kátie Wiecheteck.**

Aprovado pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Marcos Rogério Széliga - Orientador
Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG



Prof^ª Dr^ª Maria Magdalena Ribas Döll
Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG



Prof. Dr. Miguel Mansur Aisse
Universidade Federal do Paraná – UFPR

Ponta Grossa, 23 de março de 2015.

À minha esposa Kátia,
companheira e auxiliadora.

Aos meus filhos,
Luiz Henrique, Luiz Gustavo e Fernanda,
bênçãos em minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo.

Ao Prof. Dr. Marcos Rogério Széliga e à Prof.^a Dr.^a Giovana Kátie Wiecheteck pela acolhida, paciência, incentivo e orientação.

À SANEPAR por ter me proporcionado as condições para que eu pudesse realizar este trabalho.

Aos colegas da SANEPAR, André Michel Tramontin, Airton Bueno Filho, Diogo Inglês Zarpellon e Ronald Gervasoni, pela ajuda indispensável durante a realização da pesquisa.

Ao amigo e colega da SANEPAR José Geraldo Machado Filho, pelo companheirismo, amizade e incentivo durante o curso.

À Prof.^a Dr.^a Ana Cláudia Barana e à Prof.^a Dr.^a Maria Magdalena Ribas Döll, pelas dicas e correções apontadas na qualificação.

Ao Prof. Dr. Jorim Sousa das Virgens Filho, pelas aulas de estatística, tão úteis neste trabalho.

Ao Prof. Dr. José Adelino Krüger e ao Prof. Dr. Vicente Coney Campiteli pelas cartas de recomendação para o mestrado.

Aos meus pais, meus primeiros professores e incentivadores.

E, finalmente, à minha esposa e filhos, pelo amor e pela torcida, e, principalmente, por aceitar as horas ausentes para a realização desta conquista.

RESUMO

A disposição dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água (ETA) através do lançamento *in natura* em corpos d'água é considerada crime ambiental pela legislação brasileira vigente e passou a ser um dos desafios das companhias de abastecimento público de água, na atualidade. O objetivo deste trabalho foi analisar a alternativa de disposição do lodo do decantador de uma ETA, com sedimentação lastreada por microareia (Actiflo[®]), em uma estação de tratamento de esgotos (ETE) composta de reatores anaeróbios de leito fluidizado (RALFs) e lagoa de polimento, denominada ETE Verde, no município de Ponta Grossa – PR, através da rede coletora de esgotos. A avaliação do tratamento da ETE foi feita durante sete fases distintas. A fase 1 ocorreu com a ETE recebendo apenas esgoto sanitário. As fases 2 a 7 ocorreram com lançamentos de lodo de ETA, em períodos contínuos que variaram desde 4 horas por dia (fase 2) até 24 horas por dia (fase 7), chegando ao percentual de 3,2% de lodo de ETA, em relação ao volume total afluente à ETE. A ETE operou em condição estável durante todo o período, com uma vazão média afluente de 213,14 L/s. Os RALFs operaram com TDH de 9,9 horas, CHV de 2,4 m³/m³/d e COV aplicada variando entre 0,75 e 1,66 kgDQO/m³/d. A lagoa operou com TDH de 4,5 dias, com TAS variando entre 765 e 2872 kgDQO/ha/d e COV aplicada variando entre 19 e 72 gDQO/m³/d. A eficiência na remoção de DQO e SST pelos RALFs e pela lagoa foi mantida, mesmo com o lançamento do lodo da ETA. A eficiência global da ETE variou entre 80% e 86% para a remoção de DQO e entre 92% e 96% para a remoção de SST. Foi observada maior remoção de nitrogênio e fósforo pelos RALFs e maior concentração de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio no lodo dos RALFs, no período em que a ETE operou com o lançamento do lodo de ETA. Concluiu-se que o lançamento do lodo na rede de esgotos é uma alternativa viável de disposição dos rejeitos do decantador da ETA Actiflo[®], não inviabilizando o tratamento de esgotos na ETE Verde e o uso do lodo do esgoto na agricultura. Porém, pode ser necessário aumentar a frequência de extração do lodo dos RALFs, a partir de 16 horas diárias de duração contínua de lançamento de lodo de ETA na rede coletora de esgotos.

Palavras-chave: lodo, ETA, Actiflo, ETE, UASB, RALF, lagoa de polimento.

ABSTRACT

The disposal of wastes generated in water treatment plants (WTP) by launching into water streams is considered an environmental crime by current Brazilian law and became one of the challenges of drinking water public companies, nowadays. The objective of this study was to analyze the alternative disposal of decanter's sludge from a WTP, with microsand ballasted sedimentation (Actiflo[®]), in a wastewater treatment plant (WWTP) containing upflow anaerobic sludge blanket reactors (UASB) and polishing pond, called WWTP Verde, in the city of Ponta Grossa - PR, through the sewage collection network. The treatment evaluation on the WWTP was performed for seven distinct phases. The phase 1 occurred with WWTP receiving only sewage. Phases 2 to 7 occurred with release of WTP sludge in continuous periods ranging from 4 hours per day (phase 2) to 24 hours per day (phase 7), reaching the percentage of 3.2% of WTP sludge, in relation to the total volume tributary to WWTP. The WWTP operated in stable condition throughout the period, with an average flow tributary of 213.14 L/s. The UASBs operated with HRT in 9.9 hours, VHL in 2.4 m³/m³/d, and OLR ranging from 0.75 to 1.66 kgCOD/m³/d. The polishing pond operated with HRT in 4.5 days and OLR ranging from 765 to 2872 kgCOD/ha/d, which corresponds from 19 to 72 gCOD/m³/d. The removal efficiency of COD and TSS by UASBs and the pond was maintained even with the release of WTP sludge. The overall efficiency of the WWTP ranged between 80% and 86% for COD removal and between 92% and 96% for the TSS removal. It was observed greater removal of nitrogen and phosphorus by UASBs and higher concentration of nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium in the UASB's sludge, in the period in which the WWTP was operated with the WTS sludge release. It was concluded that the sludge release in the sewage collection network is a viable alternative to disposal of the decanter's waste of WTP Actiflo[®], not precluding the treatment of sewage in WWTP Verde and the use of sewage sludge in agriculture. However, can be necessary increase the UASB's sludge extraction frequency, from 16 hours of continuous duration of WTP sludge release in the sewage collection network.

Keywords: sludge, WTP, Actiflo, WWTP, UASB, RALF, polishing pond.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	– Principais tecnologias utilizadas no tratamento de água	19
FIGURA 2	– Esquema de ETA em ciclo completo e pontos de geração de Lodo	21
FIGURA 3	– Esquema de clarificação com sedimentação lastreada por microareia	22
FIGURA 4	– Córrego da Carioca recebendo lodo da ETA Itabirito – MG	28
FIGURA 5	– Processos utilizados na desidratação do lodo de ETA	30
FIGURA 6	– Processos da digestão anaeróbia	38
FIGURA 7	– Representação esquemática de um reator UASB	40
FIGURA 8	– Representação esquemática de um RALF	41
FIGURA 9	– Localização do município de Ponta Grossa, PR	45
FIGURA 10	– Planta esquemática das ETAs em Ponta Grossa	47
FIGURA 11	– Foto da ETA Pitangui em Ponta Grossa	49
FIGURA 12	– Foto da ETA Actiflo [®] em Ponta Grossa	50
FIGURA 13	– Localização da ETA Actiflo [®] e da ETE Verde em Ponta Grossa ..	51
FIGURA 14	– Planta esquemática da ETE Verde em Ponta Grossa	54
FIGURA 15	– Foto da ETE Verde em Ponta Grossa	55
FIGURA 16	– Foto do poço de visita na ETA utilizado para medida de vazão	58
FIGURA 17	– Foto dos equipamentos utilizado para medida de vazão	58
FIGURA 18	– Foto durante o processo de medição de vazão em PV	58
FIGURA 19	– Valores de vazão de descarte de lodo da ETA Actiflo [®]	65
FIGURA 20	– Vazão de descarte de lodo da ETA Actiflo [®]	66
FIGURA 21	– Valores de vazão média diária afluyente à ETE Verde	68
FIGURA 22	– Vazão média diária afluyente à ETE Verde	69

FIGURA 23 – Resultados das análises das amostras do afluente, do efluente dos reatores e do efluente da lagoa da ETE Verde, para o parâmetro DQO	71
FIGURA 24 – DQO afluente à ETE Verde durante as sete fases da pesquisa	73
FIGURA 25 – DQO efluente dos RALFs durante as sete fases da pesquisa	75
FIGURA 26 – DQO efluente da lagoa durante as sete fases da pesquisa	78
FIGURA 27 – Eficiência na remoção de DQO pelos RALFs durante as sete fases da pesquisa	80
FIGURA 28 – Eficiência na remoção de DQO pela lagoa durante as sete fases da pesquisa	82
FIGURA 29 – Resultados das análises das amostras do afluente, do efluente dos reatores e do efluente da lagoa da ETE Verde, para o atributo SST	84
FIGURA 30 – SST afluente à ETE Verde durante as sete fases da pesquisa	85
FIGURA 31 – SST efluente dos RALFs durante as sete fases da pesquisa	87
FIGURA 32 – SST efluente da lagoa durante as sete fases da pesquisa	89
FIGURA 33 – Eficiência na remoção de SST pelos RALFs durante as sete fases da pesquisa	91
FIGURA 34 – Eficiência na remoção de SST pela lagoa durante as sete fases da pesquisa	93
QUADRO 1 – Métodos e equipamentos utilizados nas análises do lodo das ETAs	57
QUADRO 2 – Cronograma de descarte do lodo da ETA Actiflo®	59
QUADRO 3 – Métodos e equipamentos utilizados nas análises do esgoto e do lodo da ETE Verde	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– Valores dos atributos típicos para o lodo de ETA	23
TABELA 2	– Produção de lodo na ETA em função da qualidade do manancial	25
TABELA 3	– Faixa de concentração típica de SST em lodo de ETA	27
TABELA 4	– Comparação entre os processos de desidratação do lodo de ETA	30
TABELA 5	– Principais vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios	36
TABELA 6	– Volume de água nas ETAs de Ponta Grossa no ano de 2013	48
TABELA 7	– Rede de esgotos entre a ETA e a ETE	51
TABELA 8	– Sistema de esgotamento sanitário contribuinte à ETE Verde	52
TABELA 9	– Caracterização do efluente tratado na ETE Verde em 2013	56
TABELA 10	– Valores dos parâmetros analisados nas amostras de lodo da ETA Actiflo® e da ETA Pitangui, coletadas no verão (dias 13/01/12, 04/12/12 e 08/01/13)	62
TABELA 11	– Valores dos parâmetros analisados nas amostras de lodo da ETA Actiflo® e da ETA Pitangui, coletadas no inverno (dias 19/07/12, 08/07/13 e 13/08/13)	63
TABELA 12	– Volume médio diário de lodo descartado na rede de esgotos e volume diário total médio de esgotos afluente à ETE Verde durante as sete fases da pesquisa	67
TABELA 13	– Vazão média diária afluente à ETE Verde durante as sete fases da pesquisa	68
TABELA 14	– Valores de TDH nos RALFs e na lagoa e valores de CHV aplicada nos RALFs durante as sete fases da pesquisa	70
TABELA 15	– DQO média afluente à ETE Verde durante as sete fases da pesquisa	72
TABELA 16	– DQO média efluente dos RALF's durante as sete fases da pesquisa	74
TABELA 17	– Valores de COV aplicada nos RALFs e valores de TAS e COV aplicada na lagoa durante as sete fases da pesquisa	76
TABELA 18	– DQO média efluente da lagoa durante as sete fases da pesquisa	77

TABELA 19	– Eficiência média na remoção de DQO pelos RALFs durante as sete fases da pesquisa	79
TABELA 20	– Eficiência média na remoção de DQO pela lagoa durante as sete fases da pesquisa	81
TABELA 21	– Remoção média de DQO na ETE Verde para as sete fases da pesquisa	83
TABELA 22	– SST médio afluente à ETE Verde durante as sete fases da pesquisa	84
TABELA 23	– SST médio efluente dos RALF's durante as sete fases da pesquisa	86
TABELA 24	– SST médio efluente da lagoa durante as sete fases da pesquisa	88
TABELA 25	– Eficiência média na remoção de SST pelos RALFs durante as sete fases da pesquisa	90
TABELA 26	– Eficiência média na remoção de SST pela lagoa durante as sete fases da pesquisa	92
TABELA 27	– Remoção média de SST na ETE Verde para as sete fases da pesquisa	94
TABELA 28	– Valores de concentração de macronutrientes para as amostras do afluente e do efluente dos reatores da ETE Verde, coletadas nas datas indicadas	94
TABELA 29	– Valores de concentração de macronutrientes para as amostras do lodo dos reatores da ETE Verde, coletadas nas datas indicadas	96
TABELA 30	– Valores de concentração de micropoluentes para as amostras do afluente e do efluente dos reatores da ETE Verde, coletadas nas datas indicadas	97
TABELA 31	– Valores de concentração de micropoluentes para as amostras do lodo dos reatores da ETE Verde, coletadas nas datas indicadas	98

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASCE	American Society of Civil Engineers
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
CAP	Carvão Ativado em Pó
CHV	Carga Hidráulica Volumétrica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Carga Orgânica Volumétrica
CT	Coliformes Termotolerantes
CV	Coeficiente de Variação
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DN	Diâmetro Nominal
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ISO	International Organization for Standardization
MBBR	Moving Bed Biofilm Reactors
pH	Potencial Hidrogeniônico
PAC	Cloreto de Polialumínio
PVC	Policloreto de Vinila
PV	Poço de Visita
RALF	Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SEMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SFT	Sólidos Fixos Totais
SMEWW	Standard Methods for Examination of Water and Wastewater
SS	Sólidos Sedimentáveis
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
SVT	Sólidos Voláteis Totais
TAS	Taxa de Aplicação Superficial
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
USEPA	United States Environmental Protection Agency
WPCF	Water Pollution Control Federation

LISTA DE SÍMBOLOS

mg/L	Miligrama por litro
Al	Alumínio
Cd	Cádmio
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Mn	Manganês
Ni	Níquel
Pb	Chumbo
Zn	Zinco
g	Grama
m ³	Metro cúbico
kg/d	Quilograma por dia
m ³ /d	Metro cúbico por dia
uT	Unidade de turbidez
uH	Unidade Hazen
L/s	Litro por segundo
R\$	Reais
MPa	Megapascal
m ³ /s	Metro cúbico por segundo
mgSST/L	Miligrama de sólidos suspensos totais por litro
L	Litros
m ²	Metro quadrado
°C	Graus Celsius
m	Metro
km ²	Quilômetro quadrado
km	Quilômetro
mm	Milímetro
m/s	Metro por segundo
ud	Unidades
L/hab/d	Litros por habitante por dia
econ/lig	Economias por ligação
m/lig	Metros por ligação
m ³ /m ³ /d	Metro cúbico por metro cúbico por dia
kgDQO/m ³ /d	Quilogramas de DQO por metro cúbico por dia
kgDBO/ha/d	Quilogramas de DBO por hectare por dia
gDBO/m ³ /d	Gramas de DBO por metro cúbico por dia
kgDQO/ha/d	Quilogramas de DQO por hectare por dia
As	Arsênio
Ba	Bário
Hg	Mercúrio
Mo	Molibdênio
Se	Selênio
Sn	Estanho

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA	19
3.2	CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ETA	22
3.3	DISPOSIÇÃO DO LODO DE ETA	27
3.3.1	DISPOSIÇÃO EM ATERRO SANITÁRIO	29
3.3.2	APLICAÇÃO CONTROLADA NO SOLO	30
3.3.3	FABRICAÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO	31
3.3.4	APLICAÇÃO EM CONCRETO	32
3.3.5	LANÇAMENTO EM SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS	33
3.4	TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS	35
3.5	DIGESTÃO ANAERÓBIA	37
3.6	REATORES ANAERÓBIOS UASB	39
3.7	LAGOAS DE POLIMENTO	43
3.8	PADRÕES PARA O LANÇAMENTO DE EFLUENTES	45
4	MATERIAIS E MÉTODOS	46
4.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES	46
4.1.1	ÁREA DE ESTUDO	46
4.1.2	ETA	47
4.1.3	ETE	52
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO LODO	56
4.3	VAZÃO DO LODO	57
4.4	CRONOGRAMA DE DESCARTE DE LODO NA REDE DE ESGOTOS	59
4.5	ACOMPANHAMENTO DA OPERAÇÃO DA ETE VERDE	60
4.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	61
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO LODO	62
5.2	VAZÃO DO LODO	65
5.3	VOLUMES DE LODO E DE ESGOTOS NA ETE VERDE	66
5.4	ACOMPANHAMENTO DA OPERAÇÃO DA ETE VERDE	67
5.4.1	VAZÃO AFLUENTE À ESTAÇÃO	67
5.4.2	ANÁLISES DE DQO	71
5.4.3	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DQO	79
5.4.4	ANÁLISES DE SST	83

5.4.5	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE SST	90
5.4.6	ANÁLISES DE MACRONUTRIENTES	94
5.4.7	ANÁLISES DE MICROPOLUENTES	97
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	100
7	REFERÊNCIAS	102
	APÊNDICE 1 – VAZÃO DE DESCARTE DE LODO DA ETA ACTIFLO®	107
	APÊNDICE 2 – ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE ESGOTO E VAZÃO MÉDIA DIÁRIA DA ETE VERDE	109
	APÊNDICE 3 – RESULTADOS DO TESTE DE TUKEY DE COMPARAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DE 5%	111
	APÊNDICE 4 – RESULTADOS DO TESTE F E DO TESTE T NA COMPARAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DE 5% ..	120

1 INTRODUÇÃO

A água utilizada para o consumo humano deve seguir os padrões de potabilidade estabelecidos, no Brasil, pelo Ministério da Saúde, através da Portaria nº 2.914/11. A estação de tratamento de água (ETA) tem por objetivo a transformação da água, captada em seu estado bruto a partir do manancial de abastecimento público, em água potável, utilizando o sistema de tratamento adequado.

No Brasil, o sistema de tratamento convencional é o mais amplamente utilizado, sendo composto pelas etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. O processo de tratamento de água utiliza produtos químicos e gera um resíduo sólido, conhecido como lodo de ETA, o qual é descartado para a rede de drenagem pluvial, durante as descargas de fundo dos decantadores e, eventualmente, durante as lavagens dos filtros.

O lançamento deste resíduo *in natura* nos corpos d'água receptores passou a ser considerado crime ambiental pela legislação brasileira, a partir da publicação da Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei 9.433/97 e da Lei de Crimes Ambientais – Lei 9.605/98, fazendo com que as companhias de abastecimento público acabem tendo uma maior preocupação com a correta gestão dos resíduos gerados em suas estações de tratamento de água.

Alternativas de disposição dos rejeitos de ETA passaram, então, a ser objeto de estudo no Brasil, tais como: a disposição em aterro sanitário, a aplicação controlada no solo, a incorporação na produção de material cerâmico, a aplicação em concreto e o lançamento em sistemas de tratamento de esgotos.

A disposição do lodo de ETA em sistemas de tratamento de esgotos, através da rede coletora ou através do transporte em caminhão, tem se mostrado uma opção bastante atraente para as companhias de abastecimento, visto que possibilita um tratamento único, centralizado, e minimiza os investimentos a serem aplicados, quando comparados aos custos da implantação de uma unidade de tratamento do lodo na própria área da ETA.

O município de Ponta Grossa, no Paraná, possui duas estações de tratamento de água: a ETA Pitangui, que utiliza o tratamento convencional, e a ETA Actiflo®, que utiliza o tratamento com sedimentação lastreada por microareia, ambas operadas pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), concessionária

do serviço no município. Como as estações ainda não possuem sistema de tratamento de lodo, o qual encontra-se em fase de projeto pela SANEPAR, atualmente todo o lodo produzido está sendo descartado diretamente no sistema de drenagem de águas pluviais.

O lodo proveniente do decantador da ETA Actiflo® tem possibilidade de ser destinado para a rede coletora de esgotos existente, a qual faz parte da bacia de esgotamento sanitário da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Verde, uma das nove estações de tratamento de efluentes do município e a SANEPAR demonstrou interesse em estudar esta alternativa de disposição.

Este projeto de pesquisa insere-se neste contexto. O seu propósito é analisar a alternativa de disposição do lodo da ETA Actiflo® na ETE Verde, via rede coletora de esgotos, de modo a avaliar a viabilidade desta alternativa quanto ao impacto causado na eficiência do processo de tratamento da ETE, e, em especial, na eficiência dos reatores anaeróbios existentes, que efetuam a maior parte da remoção da carga orgânica poluidora dos efluentes domésticos afluentes a esta estação.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desta pesquisa foi analisar se o lançamento do lodo gerado na descarga do decantador da ETA Actiflo[®] compromete o tratamento de efluentes na ETE Verde, em Ponta Grossa – PR, dando ênfase principal aos efeitos produzidos no tratamento realizado pelos reatores anaeróbios existentes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

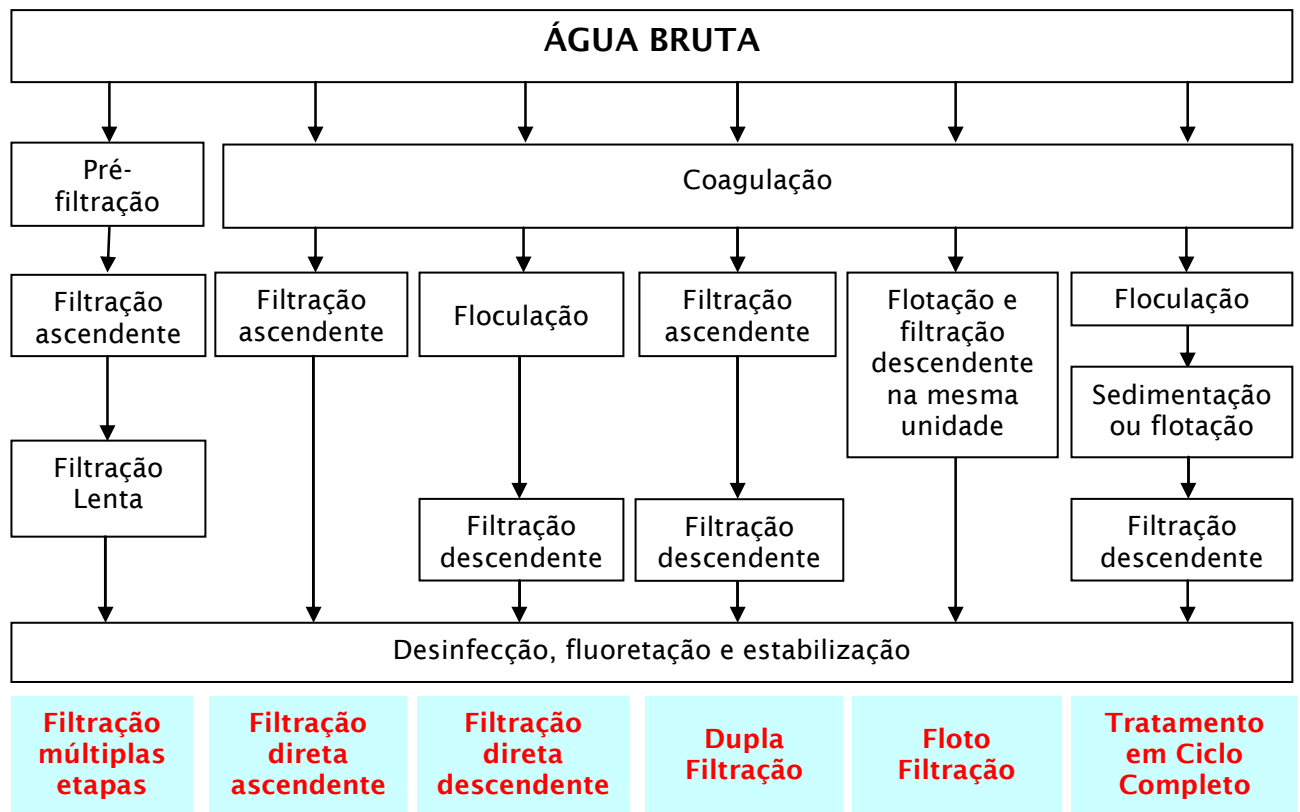
- a) caracterizar o lodo da ETA Actiflo[®];
- b) estimar a vazão de lodo da ETA Actiflo[®] descartado na rede de esgotos;
- c) monitorar os efeitos causados no tratamento de efluentes da ETE Verde a partir do lançamento do lodo da ETA Actiflo[®], em especial, nos reatores anaeróbios existentes, através dos parâmetros de controle do processo: a demanda química de oxigênio (DQO) e os sólidos suspensos totais (SST);
- d) comparar os resultados obtidos através de método estatístico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

As estações de tratamento de água para abastecimento público transformam água inadequada para o consumo humano em água sanitariamente segura, de acordo com o padrão de potabilidade estabelecido no Brasil através da Portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde. Na Figura 1 apresentam-se as principais tecnologias utilizadas no tratamento de água para consumo humano.

FIGURA 1 – Principais tecnologias utilizadas no tratamento de água



Fonte: Adaptado de Di Bernardo; Dantas e Voltan (2012).

No Brasil, o sistema de tratamento mais comumente utilizado é o chamado convencional ou em ciclo completo, composto pelas etapas de coagulação, flocculação, sedimentação (ou flotação), filtração, desinfecção, fluoretação e estabilização.

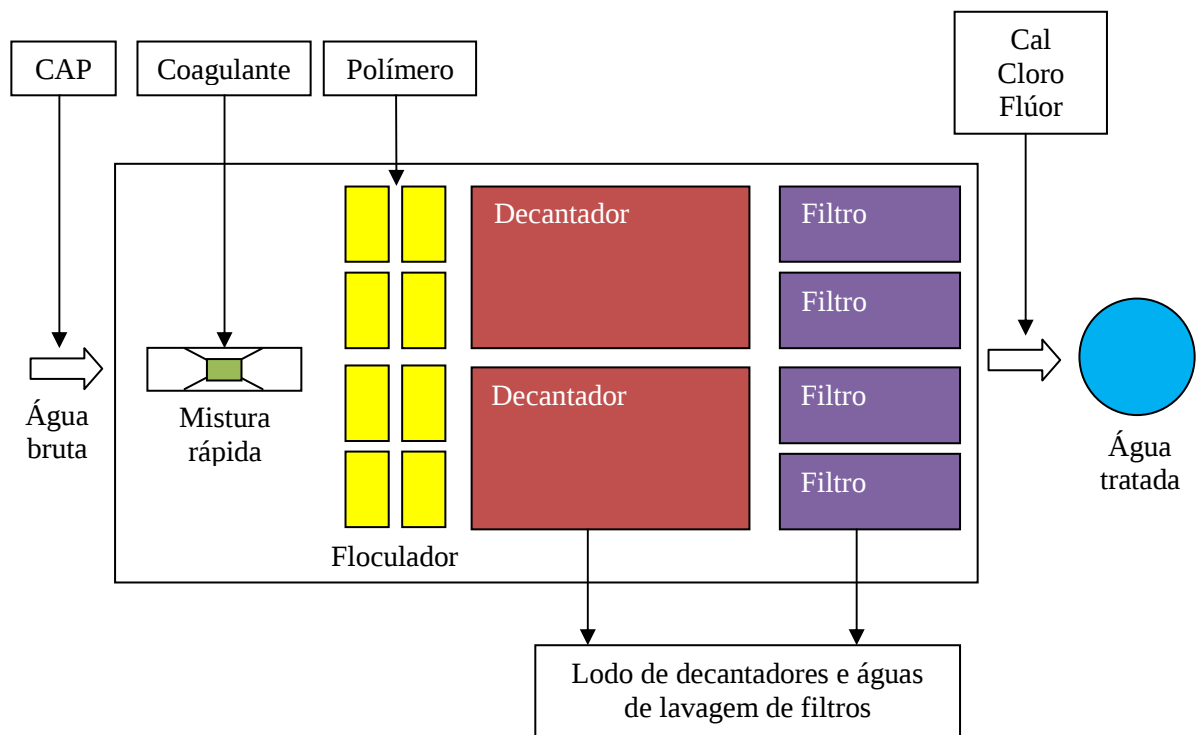
Segundo Di Bernardo; Dantas e Voltan (2012), estes processos unitários têm as seguintes características:

- a) a coagulação é o processo de desestabilização das partículas coloidais ou neutralização das cargas das moléculas da matéria orgânica dissolvida na água; ocorre através de unidades de mistura rápida (hidráulicas ou mecânicas), com gradiente de velocidade apropriado, e depende das características e das impurezas presentes na água, conhecidas através de atributos como pH, alcalinidade, turbidez, cor verdadeira, tamanho e distribuição das partículas coloidais, entre outros;
- b) o processo de coagulação tem fundamental importância na quantidade e características dos resíduos gerados em uma ETA em ciclo completo, ocorrendo predominantemente no mecanismo de varredura, em que o excesso dos sais metálicos utilizados no coagulante formam precipitados, que estarão presentes no lodo removido nos decantadores;
- c) desde que o gradiente de velocidade necessário à mistura seja atingido adequadamente, a dosagem ótima de coagulante dependerá do mecanismo de coagulação predominante no processo, do potencial hidrogeniônico (pH) da mistura e do tipo do coagulante utilizado;
- d) a coagulação é o processo mais importante no tratamento da água, pois é decisivo para a produção de uma água filtrada de qualidade, com características de cor e turbidez que atendam aos parâmetros requisitados pelos padrões de potabilidade;
- e) no processo de floculação, as impurezas contidas na água são aglutinadas formando flocos, através das unidades de mistura lenta (hidráulicas ou mecânicas), onde se aplica um gradiente de velocidade adequado, e que também pode resultar ineficiente, comprometendo o desempenho da sedimentação (ou flotação) e da filtração;
- f) os flocos formados nos processos anteriores são removidos nas etapas de sedimentação (ou flotação) e filtração;
- g) nos decantadores (convencionais ou de alta taxa) ou nos flotadores ocorre a maior parte do processo de remoção dos flocos de matéria orgânica dissolvida na água, os quais serão descartados no lodo da ETA;
- h) os flocos não removidos na etapa anterior acabam sendo retidos nos filtros e são removidos junto com a água de lavagem dos filtros, a qual é recirculada, sempre que possível, para o início do tratamento;

- i) as etapas finais de desinfecção, fluoretação e estabilização adequam a água para o consumo final, eliminando os agentes patogênicos, ajudando na proteção dos dentes contra as cáries e adequando o pH para minimizar os efeitos de oxidação e incrustação das tubulações.

A Figura 2 traz a representação esquemática das unidades de tratamento e dos pontos de geração de lodo em uma ETA convencional. Também é possível observar os pontos de aplicação do coagulante e dos demais produtos químicos utilizados no processo de tratamento de água tais como o polímero, o carvão ativado em pó (CAP), a cal, o cloro e o flúor.

FIGURA 2 – Esquema de ETA em ciclo completo e pontos de geração de Lodo

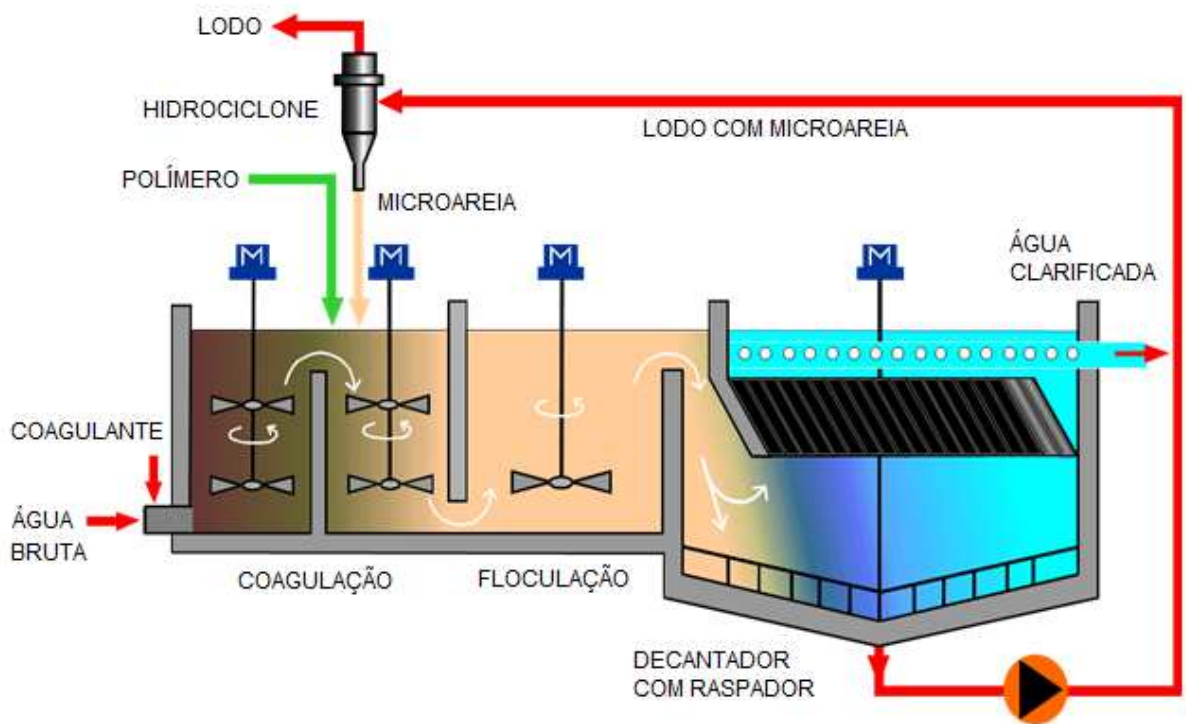


Fonte: Adaptado de Reali (1999).

A sedimentação lastreada por microareia, processo conhecido como Actiflo[®], é uma melhoria do processo de sedimentação floculenta que ocorre em uma ETA convencional. É um sistema de tratamento físico-químico de alto rendimento, que introduz partículas de microareia na etapa de coagulação, acelerando a formação e aumentando o tamanho e o peso dos flocos durante a etapa de floculação, o que proporcionará uma clarificação da água muito mais rápida, durante a etapa de sedimentação.

A Figura 3 traz a representação esquemática do processo de clarificação de uma ETA através da sedimentação lastreada por microareia, onde é possível se observar o ponto de geração de lodo, assim como os pontos de aplicação do coagulante e do polímero.

FIGURA 3 – Esquema de clarificação com sedimentação lastreada por microareia



Fonte: Adaptado de USEPA (2003).

3.2 CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ETA

Nas ETAs, a produção de água utiliza produtos químicos e gera um resíduo sólido não inerte e não perigoso, de Classe II A (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), conhecido como lodo de ETA, o qual é descartado durante as descargas de fundo dos decantadores (ou nos flotadores) e, eventualmente, durante as lavagens dos filtros, já que, sempre que possível esta água é reaproveitada, retornando ao início do processo de tratamento.

O lodo de ETA é caracterizado por possuir elevada umidade, entre 95 e 97% (KYNCL, 2008), apresentando-se normalmente na forma fluido-pastosa. Além dos sólidos e matéria orgânica removidos da água bruta, é comum serem encontrados no lodo de ETA a presença dos coagulantes (normalmente sulfato de alumínio, cloreto de polialumínio ou hidróxido de ferro), polímeros, cal e carvão ativado em pó,

componentes de alto potencial tóxico para o homem, para as plantas e para a vida aquática (TSUTIYA; HIRATA, 2001).

Os parâmetros utilizados na caracterização do lodo de ETA variam em função da finalidade da destinação, sendo os mais comuns: pH, DQO, sólidos totais (ST), alumínio, zinco, chumbo, cádmio, níquel, ferro, manganês, cobre e cromo. São apresentados, na Tabela 1, alguns dos valores tipicamente observados para estes parâmetros.

TABELA 1 – Valores dos parâmetros típicos para o lodo de ETA

Parâmetros	Cordeiro (2001)	Lombardi (2009)	Sena (2011)	Silveira (2012)
pH	7,2 – 8,93	8,70 – 8,85	5,4 – 7,0	Não determinado
DQO (mg/L)	140 – 5.450	83 – 206	2.483 – 15.985	814,5 – 2.540
ST (mg/L)	1.620 – 58.630	1.132 – 2.120	2.596 – 77.280	9.150 – 12.790
Al (mg/L)	2,16 – 11.100	< 0,01	3 – 8.749	237,6 – 757,7
Cd (mg/L)	0,00 – 0,27	< 0,0006	0,003 – 8,574	0,00
Cr (mg/L)	0,19 – 1,58	0,08 – 0,12	0,250 – 34,830	0,24 – 0,34
Cu (mg/L)	1,70 – 2,06	0,09 – 0,18	0,440 – 1.167,40	0,60 – 1,29
Fe (mg/L)	214 – 5.000	90,60 – 282,00	652 – 195.631	324,30 – 545,60
Mn (mg/L)	3,33 – 60,00	0,84 – 2,80	15,06 – 3.290,10	7,72 – 13,71
Ni (mg/L)	0,00 – 1,80	< 0,008	0,005 – 0,560	0,094 – 0,10
Pb (mg/L)	0,00 – 1,60	< 0,01	0,050 – 33,500	0,00 – 0,41
Zn (mg/L)	0,10 – 48,53	0,44 – 1,68	1,970 – 109,700	0,42 – 0,55

Fonte: O autor.

Notas: Dados extraídos pelo autor dos trabalhos referenciados.

Os dados de Cordeiro (2001) são relativos a amostras de lodo de três ETAs em ciclo completo situadas nas cidades de Araraquara, São Carlos e Rio Claro, no centro do Estado de São Paulo. As ETAs possuem decantadores convencionais, e na ETA de Araraquara o lodo é removido até três vezes ao dia, enquanto que nas ETAs de São Carlos e de Rio Claro, os decantadores são paralisados para a limpeza e remoção manual do lodo, com grandes intervalos de tempo, acarretando o aumento na concentração dos sólidos e nas concentrações de metais. Não ficou evidenciado neste trabalho, qual era o tipo de coagulante utilizado nas ETAs referenciadas no período de estudo.

No estudo de Lombardi (2009), as amostras de lodo foram obtidas na ETA Fonte, no município de Araraquara - SP. Esta ETA opera em ciclo completo, e o lodo estudado é proveniente de dois decantadores de alta taxa e de seis filtros rápidos descendentes com camada dupla de antracito e areia. O coagulante utilizado na ETA durante o período de estudo era o cloreto férrico. Os decantadores operavam

com duas descargas de fundo por dia em cada decantador, com duração de 5 minutos em cada descarga, as quais ocorriam em turnos diferentes. Os filtros eram lavados a cada seis horas, através de sistema de retrolavagem com insuflação de ar, seguida de lavagem com água no sentido ascensional, com um tempo de duração total entre 10 e 15 minutos.

Sena (2011) caracterizou o lodo das ETAs Guaraú e Alto da Boa Vista, localizadas na região metropolitana de São Paulo – SP, ambas operando no sistema de tratamento em ciclo completo. A primeira utilizava coagulante à base de sais de alumínio, e a segunda, coagulante à base de sais de ferro, no período da pesquisa. As amostras de lodo foram retiradas da descarga dos decantadores convencionais, em ambas as ETAs.

O lodo das ETAs Cafezal e Tibagi, no município de Londrina – PR, foi objeto de estudo de Silveira (2012). As ETAs operam em ciclo completo, e, na época da pesquisa, a ETA Cafezal utilizava cloreto férrico como coagulante, enquanto que a ETA Tibagi utilizava cloreto de polialumínio (PAC). Na ETA Cafezal, as amostras de lodo foram retiradas da descarga de fundo dos decantadores convencionais, que eram paralisados a cada 35-40 dias para limpeza manual. Na ETA Tibagi, as amostras de lodo foram retiradas da descarga dos decantadores de alta taxa, com limpeza realizada quinzenalmente.

Observa-se pelos dados apresentados, que há uma variação significativa nos valores dos parâmetros típicos encontrados para o lodo de ETA, em função da própria diferença entre os resíduos gerados de uma estação de tratamento para outra, principalmente em função das características do manancial, do coagulante utilizado e das características da ETA (como o tipo de tratamento, tamanho e tipo das unidades, modo de operação, etc.), o que evidencia a necessidade de se estudar as alternativas da sua disposição de forma individual, caso a caso.

Segundo Reali (1999), é importante observar que a qualidade da água retirada do manancial de abastecimento, principalmente em relação ao aspecto de turbidez, é outro fator que influi diretamente na qualidade e na quantidade do lodo gerado na ETA.

A Tabela 2, apresentada a seguir, mostra como a qualidade do manancial interfere na quantidade de lodo produzido na ETA, em termos de massa seca por volume de água tratada.

TABELA 2 – Produção de lodo na ETA em função da qualidade do manancial

Manancial	Faixa de produção de lodo (g de sólidos secos por m ³ de água tratada)
Água de represa de boa qualidade	12 – 18
Água de represa com média qualidade	18 – 30
Água de represa com qualidade ruim	30 – 42
Água de rio com qualidade média	24 – 36
Água de rio com qualidade ruim	42 – 54

Fonte: Adaptado de Doe (1990) apud Reali (1999).

A produção diária de lodo seco em uma ETA também pode ser estimada através equações empíricas, as quais devem ser utilizadas com cautela, e, sempre que possível, devem ser confirmadas mediante levantamentos quantitativos e qualitativos no caso de ETA existente, e a partir dos ensaios de tratabilidade, no caso do projeto de ETA nova. Quando a coagulação é realizada no mecanismo de varredura, a produção de lodo pode ser estimada através das equações (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012):

$$P_L = Q \cdot (4,89.D_{Al} + SST + D_P + D_{CAP} + 0,1.D_{CAL}) \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

$$P_L = Q \cdot (2,9.D_{Fe} + SST + D_P + D_{CAP} + 0,1.D_{CAL}) \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

em que:

P_L : produção de lodo seco (kg/d);

Q : vazão da água bruta a ser tratada (m³/d);

D_{Al} : dosagem de sulfato de alumínio líquido (mg/L);

D_{Fe} : dosagem de cloreto férrico anidro (mg/L);

SST : concentração de sólidos suspensos totais na água a ser tratada (mg/L);

D_P : dosagem de polímero seco (mg/L);

D_{CAP} : dosagem de carvão ativado em pó (mg/L);

D_{CAL} : dosagem de cal hidratada (mg/L).

Os coeficientes utilizados nas equações (4,89 e 2,9) são decorrentes da relação estequiométrica na formação do precipitado a partir dos coagulantes mencionados. Para outros coagulantes (sulfato férrico, cloreto de polialumínio, etc.), estes coeficientes devem ser obtidos da mesma forma, a partir da fórmula química do produto utilizado.

No caso em que os dados de sólidos suspensos do monitoramento do manancial de abastecimento não estejam disponíveis, é possível estimar a produção de lodo seco em função de outros atributos da água bruta, tais como turbidez e cor verdadeira. Algumas equações empíricas têm sido propostas por vários autores para este fim, tais como as apresentadas a seguir:

- ASCE; AWWA e USEPA (1996):

$$P_L = 3,5 \cdot T^{0,66} \quad (3)$$

em que:

P_L : produção de lodo seco (g de lodo seco por m³ de água tratada);

T : turbidez da água bruta (uT).

- Kawamura (1991) apud Reali (1999):

$$P_L = k \cdot D_C + 1,5 \cdot T \quad (4)$$

em que:

P_L : produção de lodo seco (g de lodo seco por m³ de água tratada);

k : relação estequiométrica na formação do precipitado;

$k = 0,23$ a $0,26$ para sulfato de alumínio;

$k = 0,66$ para cloreto férrico anidro;

$k = 0,40$ para cloreto férrico hidratado;

D_C : dosagem de coagulante (mg/L);

T : turbidez da água bruta (uT).

- Richter (2001):

$$P_L = 0,2 \cdot C + 1,3 \cdot T + k \cdot D_C \quad (5)$$

em que:

P_L : produção de lodo seco (g de lodo seco por m³ de água tratada);

C : cor aparente da água bruta (uH);

T: turbidez da água bruta (uT);

k: relação estequiométrica na formação do precipitado;

k = 0,26 para sulfato de alumínio;

k = 0,40 para cloreto férrico hidratado;

k = 0,54 para sulfato férrico;

D_C: dosagem de coagulante (mg/L).

Quanto à concentração de sólidos suspensos totais (SST) no lodo de ETA, o seu valor varia em função do tipo e do tamanho da unidade utilizada no processo de sedimentação ou flotação, do regime de descarga do lodo, do tempo de limpeza e do número de funcionários envolvidos na operação, do uso ou não de mangueiras auxiliares, do arraste excessivo de água pelas paletas do flotador, entre outros fatores, sendo que as faixas de valores tipicamente encontrados estão apresentadas na Tabela 3 (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012).

TABELA 3 – Faixa de concentração típica de SST em lodo de ETA

Tipo da unidade	Faixa de concentração típica de SST (mg/L)
Decantador convencional com limpeza manual	50 – 100.000
Decantador convencional com equipamento de remoção de lodo	8.000 – 12.000
Decantador de alta taxa com equipamento de remoção de lodo	8.000 – 12.000
Decantador de alta taxa com descarga hidráulica	3.000 – 10.000
Flotador	50 – 50.000

Fonte: Adaptado de Di Bernardo; Dantas e Voltan (2012).

3.3 DISPOSIÇÃO DO LODO DE ETA

Segundo dados da ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), há cerca de 7.500 estações de tratamento de água instaladas no Brasil, a maioria delas operando em ciclo completo, que inclui coagulação, floculação, decantação e filtração, e lançam as suas descargas de lodo diretamente nos cursos d'água, sem qualquer tratamento (ACHON; BARROSO; CORDEIRO, 2013).

O lançamento dos resíduos de ETA no curso d'água mais próximo, através da rede de águas pluviais, é uma prática que tem sido bastante questionada pelos órgãos ambientais, visto que, devido as suas características peculiares, o lodo de ETA pode aumentar o grau de poluição e contaminação dos corpos receptores,

contribuindo para a crescente degradação das comunidades aquáticas existentes a jusante desses lançamentos (SCALIZE, 2003).

Para efeito de ilustração, apresenta-se na Figura 4, o aspecto visual do córrego da Carioca em condição normal e imediatamente depois de receber o lançamento do lodo da ETA de Itabirito – MG, onde se percebe uma sensível alteração em suas características estéticas, principalmente em relação à cor e turbidez. A ETA de Itabirito tem uma capacidade de produção de 120 L/s de água tratada, e possui dois decantadores convencionais com remoção manual do lodo, com uma descarga anual de lodo estimada em 95,5 m³, cuja concentração média de sólidos totais foi de 130.226,4 mg/L (RIBEIRO, 2007).

FIGURA 4 – Córrego da Carioca (a) e recebendo lodo da ETA Itabirito – MG (b)



Fonte: Adaptado de Ribeiro (2007).

No Brasil, a preocupação com a correta gestão dos resíduos gerados nas ETAs pelas companhias de abastecimento público somente se intensificou a partir do final da década de 90, com o advento da Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei 9.433/97, e da Lei de Crimes Ambientais – Lei 9.605/98, as quais passaram a considerar como crime ambiental o lançamento do lodo de ETA *in natura* nos corpos d'água (SILVEIRA, 2012).

A destinação adequada do lodo das ETAs, de forma economicamente viável e ambientalmente segura, é um dos grandes desafios das companhias de abastecimento público de água do Brasil. Só nos municípios operados pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), por exemplo, estima-se que a produção diária atual de lodo de ETA seja de aproximadamente 90 toneladas, em base seca (TSUTIYA; HIRATA, 2001).

No Paraná, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) estabeleceu em sua Resolução nº 021/09, que as ETAs com vazão superior a 30 L/s deverão implantar um sistema de tratamento e disposição final dos seus efluentes e resíduos, com prazos máximos que findam entre 2014 e 2019, dependendo do porte da ETA. A SANEPAR possui 176 ETAs no Paraná, com uma geração estimada para o ano de 2011 de 118 mil litros de lodo por dia. Destas 176 ETAs, até o ano de 2013, apenas 12 delas possuíam algum sistema de tratamento de lodo (CARNEIRO; ANDREOLI, 2013).

Diante deste panorama, a discussão sobre a gestão dos rejeitos de ETA tem sido intensificada no Brasil, assim como em vários outros países, além do que, a divulgação e a procura mais intensa pelas certificações com base nas normas ISO 9001 e ISO 14001 aceleraram o enfoque na melhoria dos serviços prestados à população, principalmente nas áreas relacionadas ao meio ambiente, como é o caso da produção de água tratada (REALI, 1999).

Dentre as alternativas de disposição de rejeitos de ETA de maior potencial de utilização, e que têm sido objeto de estudo no Brasil, destacam-se: disposição em aterro, aplicação controlada no solo, fabricação de material cerâmico, aplicação em concreto e lançamento em sistemas de tratamento de esgotos.

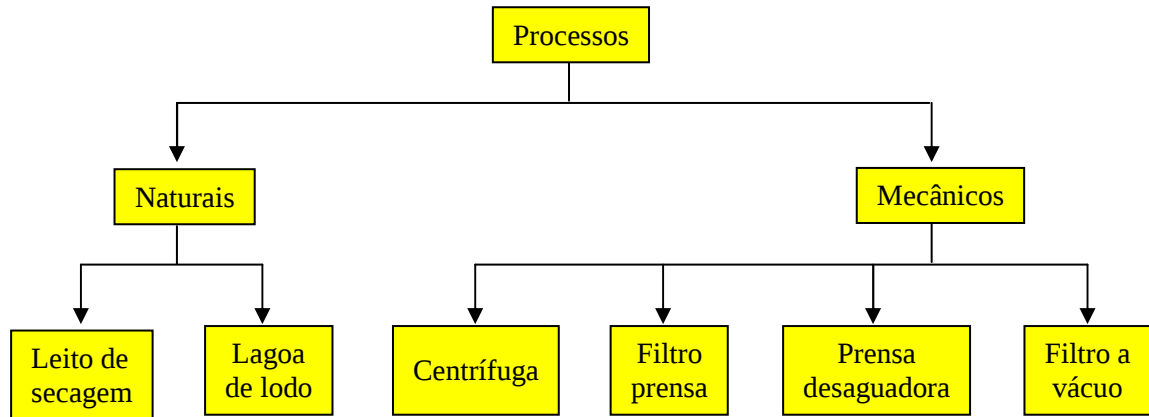
3.3.1 DISPOSIÇÃO EM ATERRO SANITÁRIO

A disposição do lodo de ETA em aterro sanitário é uma alternativa bastante utilizada no Brasil, principalmente nas cidades de pequeno e médio porte, onde os aterros são relativamente próximos e com custo de transporte economicamente acessível, além de ser uma alternativa viável do ponto de vista técnico e ambiental.

Este tipo de disposição é normalmente precedido da etapa de desaguamento ou desidratação, que consiste na remoção da parcela de água livre existente no lodo, objetivando a remoção de volume e consequente aumento do teor de sólidos, através de processos naturais (não mecânicos) ou mecânicos. Estes processos são os mesmos utilizados para o desaguamento de lodo de ETE (RICHTER, 2001).

A Figura 5 apresenta, esquematicamente, os processos mais comuns utilizados na desidratação do lodo de ETA e a Tabela 4 traz uma comparação entre estes processos no que diz respeito à concentração percentual de sólidos que é tipicamente encontrada no efluente correspondente a cada um deles.

FIGURA 5 – Processos utilizados na desidratação do lodo de ETA



Fonte: Adaptado de Richter (2001).

TABELA 4 – Comparação entre os processos de desidratação do lodo de ETA

Processo	Concentração de sólidos no efluente (%)
Leito de secagem	10 – 25
Lagoa de lodo	5 – 15
Centrífuga	15 – 35
Filtro prensa	40 – 50
Prensa desaguadora	15 – 50
Filtro a vácuo	35 – 40

Fonte: Adaptado de Richter (2001) e Reali (1999).

De acordo com Januário e Ferreira Filho (2007), giram em torno de R\$ 60,00 a R\$ 80,00 por tonelada de lodo desidratado, os custos médios de transporte e disposição final em aterros particulares para as estações de tratamento de água da região metropolitana da cidade de São Paulo.

Segundo Richter (2001), a maior dificuldade desta alternativa de disposição é que nem sempre há disponibilidade de aterro sanitário que esteja preparado para a codisposição do lodo de ETA, com custos economicamente viáveis para sua operacionalização. A construção de um aterro exclusivo para atendimento a ETA é geralmente a última opção a ser considerada, devido ao seu alto custo de implantação e de operação.

3.3.2 APLICAÇÃO CONTROLADA NO SOLO

A aplicação controlada do lodo de ETA no solo é uma alternativa tecnicamente viável, pois o lodo é um material rico em matéria orgânica, argilas, micro e macronutrientes, alumínio e ferro, que são tipicamente encontrados no solo.

O maior cuidado deve ser tomado em relação ao teor de alumínio, pois em altas concentrações pode reduzir a disponibilidade de fósforo e ser tóxico à maioria das plantas cultivadas (CARNEIRO; ANDREOLI, 2013).

Botero et al. (2009) caracterizaram os lodos das ETAs de Jaboticabal – SP, Taquaritinga – SP e de Manaus – AM, objetivando avaliar a fertilidade do solo em função do teor de matéria orgânica e da concentração de macro e micronutrientes disponíveis nos lodos, e concluem que há relevante potencial agrícola para o uso do lodo de ETA e que a sua utilização depende principalmente das características da água bruta e do tipo do coagulante utilizado no tratamento.

Bittencourt et al. (2012), analisando o efeito da aplicação de lodo da ETA Passaúna nas características de fertilidade de solo degradado e na produtividade do milho, em Curitiba – PR, concluem que a aplicação é viável, apesar de não ter ocorrido efeito significativo sobre a produtividade do milho, nem tampouco sobre os teores dos elementos avaliados no solo. Os melhores resultados se deram com a aplicação conjunta com lodo de esgoto, a qual se mostrou favorável à dinâmica do nitrogênio no solo e elevou o teor de nutrientes como o cálcio, carbono e fósforo.

3.3.3 FABRICAÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO

O lodo de ETA é um dos resíduos que possui grande potencial de reciclagem na produção de cerâmica vermelha, pois sua constituição química comumente apresenta componentes tais como o ferro, o cálcio e o silício, que podem ser reaproveitados durante o processo de fabricação deste tipo de cerâmica. Alguns autores sugerem a introdução de até 10% de lodo de ETA na massa cerâmica, quando a queima da peça é feita em até 1000°C de temperatura, chegando até o percentual de 20%, quando a temperatura de queima da peça cerâmica é elevada acima de 1000°C (KIZINIEVIC et al., 2014).

Os recentes estudos nesta área têm sido bastante promissores, demonstrando sua viabilidade técnica e ambiental, visto que a incorporação do lodo de ETA pode contribuir para a redução do consumo de argilas, recurso natural não renovável, sem prejuízos para as características técnicas do produto final. A viabilidade econômica desta alternativa está atrelada principalmente à maneira pela qual a companhia de saneamento irá disponibilizar o lodo para a indústria (JANUÁRIO; FERREIRA FILHO, 2007).

O lodo da ETA de Presidente Prudente – SP foi utilizado nos estudos de Teixeira et al. (2006), os quais concluem que, em geral, a adição do lodo na massa cerâmica piorou suas propriedades, mas ainda assim, elas permaneceram dentro dos valores limites aceitáveis, o que torna esta alternativa viável na produção de tijolos e telhas, sem função estrutural.

Oliveira e Holanda (2008) estudaram a influência da adição do lodo da ETA de Campos dos Goytacazes – RJ na cerâmica vermelha, e concluem que a adição de até 15% em peso do resíduo estudado a uma massa argilosa industrial não causou variações significativas sobre a microestrutura e as propriedades tecnológicas avaliadas (retração linear, absorção de água, massa específica aparente e tensão de ruptura à flexão).

3.3.4 APLICAÇÃO EM CONCRETO

Os óxidos de cálcio, sílica, alumínio e ferro são os principais constituintes do cimento Portland e são retirados da natureza na forma de carbonatos ou sulfatos. Os lodos de ETA também possuem estes mesmos componentes em sua constituição, e, portanto, podem substituir parte da matéria prima utilizada na fabricação do cimento (RICHTER, 2001).

Hoppen et al. (2006) analisaram a incorporação de lodo centrifugado da ETA Passaúna, em Curitiba – PR, em matriz de concreto, e concluem que há viabilidade técnica e ambiental para este tipo de disposição, na proporção de 4 e 8% (em partes por peso) de lodo em substituição ao peso do agregado miúdo (areia). Apesar de ocorrerem reduções na qualidade do concreto, o seu uso na construção civil em funções não estruturais mostrou-se bastante promissor, com resultados de valores de resistência superiores a 27 MPa, aos 28 dias, para as proporções mencionadas, além da redução do consumo de matéria prima.

A utilização do lodo de ETA em concreto também se mostrou viável na recomposição de calçadas do município de Mirassol – SP. A viabilidade do lodo como agregado foi atestada com base nos ensaios de resistência à compressão, com resultados superiores à meta de 15 MPa para os concretos em que foram adicionados lodo de ETA na porcentagem recomendada de até 10% em massa no composto com areia para uso como agregado miúdo (COSTA, 2011).

3.3.5 LANÇAMENTO EM SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

A disposição do lodo de ETA em ETE via rede coletora ou por meio de transporte em caminhão, constitui-se de um método alternativo que tem se mostrado uma opção bastante atraente, pois elimina a implantação do sistema de tratamento do resíduo na própria ETA, muito embora esteja transferindo a gestão do lodo para a administração da ETE. No Brasil, os estudos desenvolvidos a respeito desta opção de descarte ainda são escassos, com maior intensificação a partir do final da década de 1990 (REALI, 1999).

O reaproveitamento dos coagulantes à base de sais de ferro ou de alumínio, presentes no lodo de ETA, tem-se mostrado como uma opção economicamente vantajosa, principalmente nos processos que utilizam a coagulação e a precipitação química como etapas do tratamento de esgotos, substituindo, em parte, os coagulantes comerciais utilizados, os quais constituem um dos principais custos operacionais neste tipo de tratamento (GUAN; CHEN; SHANG, 2005; SHARMA; THORNBERG; ANDERSEN, 2013).

Segundo Ferreira Filho e Waelkens (2009), a SABESP já utiliza esta alternativa de disposição no Brasil, podendo-se citar, por exemplo, o lançamento do lodo da ETA Rio Grande (vazão da ordem de $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$) na ETE ABC (vazão de $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$) e o envio, via rede coletora de esgotos, encaminhando o lodo da ETA Alto da Boa Vista (vazão de $14 \text{ m}^3/\text{s}$) para a ETE Barueri (vazão de $9,5 \text{ m}^3/\text{s}$).

A viabilidade técnica deste tipo de disposição depende de fatores tais como: tipo do coagulante utilizado no tratamento da água, regime de descarga dos decantadores da ETA, concentração de sólidos totais e matéria orgânica (DQO) no lodo, presença de metais pesados, diluição do lodo em relação ao efluente da ETE, processo adotado para o tratamento do esgoto, e método de disposição do lodo da ETE (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012).

Já a viabilidade econômica desta opção está atrelada basicamente à disponibilidade de rede coletora de esgotos entre a ETA e a ETE, ou, em caso contrário, ao custo do transporte entre as duas estações. Em todo caso, deve-se observar que esta não é uma alternativa de custo zero, uma vez que, invariavelmente, haverá aumento do volume de lodo processado na ETE, gerando custos adicionais no processo de desidratação, transporte e disposição final (JANUÁRIO; FERREIRA FILHO, 2007).

A avaliação do recebimento do lodo de ETA no processo de tratamento de esgoto por lodo ativado com aeração prolongada foi objeto de estudo de Asada (2007). Neste trabalho, uma estação piloto de fluxo contínuo foi inicialmente alimentada com esgoto bruto, e posteriormente, foi operada com adição de lodo de ETA, utilizando sulfato de alumínio como coagulante, em quantidade suficiente para produzir acréscimos de 25, 50 e 100 mg/L nos sólidos suspensos do esgoto. Concluiu-se que não houve prejuízos no processo biológico aeróbio do sistema de lodo ativado nestas circunstâncias, sendo o aumento dos sólidos no sistema (com acréscimos médios de 4,6% para 25 mg/L, 37,7% com 50 mg/L e 41,0% com 100 mg/L) a principal consequência observada nos resultados obtidos.

Sena (2011) estudou em escala piloto, o tratamento de lodo de ETA coagulado com sais de ferro e alumínio em ETE por sistema de lodo ativado com o emprego da tecnologia conhecida por MBBR (Moving Bed Biofilm Reactors ou Biorreator de Leito Móvel), adicionando-se mídia plástica móvel nos tanques de aeração. Esta alternativa mostrou-se viável, não tendo sido observada qualquer inibição no processo aeróbio com o recebimento do lodo da ETA, tanto quanto à remoção de matéria orgânica, quanto à nitrificação, inclusive com melhora na remoção da DBO no decantador primário, a qual passou de 35% para 45%, quando operou-se com dosagem de lodo de ETA de até 50 mgSST/L, atingindo remoção de 50% para dosagens superiores.

De acordo com Di Bernardo; Dantas e Voltan (2012), o principal problema encontrado no lançamento do lodo de ETA em uma ETE com reatores anaeróbios UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket ou Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo), é que pode ocorrer toxicidade às bactérias pelo alumínio presente no lodo da ETA. Observa-se ainda, neste caso, o aumento de frequência no descarte do lodo produzido no reator anaeróbio devido ao incremento de matéria sólida tipicamente presente no lodo de ETA.

A eficiência de reatores anaeróbios UASB tratando lodo de ETA foi objeto de estudo de Rosario (2007) e de Lombardi (2009), ambos em escala piloto. No primeiro estudo, foi feita a comparação entre duas estações piloto operando em batelada, uma recebendo apenas esgoto doméstico e a outra recebendo, além do esgoto, dosagens de lodo de ETA, coagulado com sulfato de alumínio, no valor de 50 mg/L e 75 mg/L em termos de sólidos suspensos totais. Os resultados obtidos mostraram que o reator que recebeu lodo de ETA não teve seu desempenho afetado

negativamente, tendo sido alcançados resultados semelhantes entre os dois reatores, em termos de remoção de DQO, DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e fósforo. No trabalho de Lombardi (2009), foi avaliada a disposição do lodo de ETA coagulado com cloreto férrico em dois reatores UASB operando continuamente, com TDH (tempo de detenção hidráulica) de 24 horas, um com volume de 18 L e outro com volume de 38 L. Foram aplicados nos reatores lodo de ETA e misturas de lodo de ETA e esgoto sanitário nas proporções de 1:1, 1:3 e 1:7, em volume, e os resultados obtidos mostraram eficiência média de remoção de DQO de 75 a 83% e na remoção de sólidos totais de 73 a 87%, além de se observar uma alta capacidade de bioabsorção de metais pelo lodo anaeróbio presente nos reatores.

Carraro (2004) pesquisou o impacto do lançamento do lodo de ETA, através de rede coletora, no processo de tratamento de esgotos da ETE Sul, em Londrina – PR. A ETE Sul é composta pelas seguintes unidades principais: dois decantadores primários, quatro RALF (Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado), três filtros biológicos de alta taxa e três decantadores secundários. O lodo coagulado com cloreto férrico era proveniente da descarga dos decantadores convencionais da ETA Cafezal, em Londrina, que funciona em ciclo completo. Durante o monitoramento da ETE, que durou 12 meses, observou-se uma eficiência média da ETE, em termos de remoção de DBO, de 89,8%, durante os períodos de recebimento de lodo de ETA e de 87,2% nos períodos sem a presença de lodo de ETA. Carraro concluiu que o recebimento do lodo da ETA não foi prejudicial ao sistema de tratamento da ETE, na proporção de 1% da vazão afluente, sendo inclusive benéfico, em termos de remoção de matéria orgânica.

3.4 TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS

Os esgotos sanitários são aqueles que compreendem: os despejos de origem doméstica, as águas de infiltração, a parcela de águas pluviais proveniente de lançamentos irregulares e uma parcela de esgotos industriais com características semelhantes às do esgoto doméstico. São considerados como águas residuárias de baixa concentração de poluentes e o seu tratamento em uma ETE pode envolver tanto processos aeróbios quanto processos anaeróbios (CAMPOS, 1999).

Dentre os processos aeróbios, merece destaque o processo de lodos ativados, surgido no início do século XX e implantado no Brasil na forma de

operação normal nas ETE da Asa Sul e Asa Norte, em Brasília, e da Ilha do Governador, no Rio de Janeiro, ainda nos anos 60, sendo o processo adotado nas estações de grande porte das regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Distrito Federal (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Segundo Metcalf & Eddy (2003), o processo de lodo ativado é composto por três componentes fundamentais: um reator aerado em que os microrganismos responsáveis pelo tratamento são mantidos em suspensão; um tanque de sedimentação, que faz a separação entre os sólidos e a parte líquida; e um sistema de recirculação para recuperar os microrganismos aderidos à matéria sólida (lodo ativado), que é enviado novamente ao reator.

O tratamento anaeróbio, por sua vez, é tido como a solução clássica para a estabilização do lodo de efluentes domésticos, e vem sendo utilizado desde o fim do século XIX, através do desenvolvimento dos Tanques Imhoff na Alemanha. Mais tarde, no final dos anos 70, na Holanda, surgiu o reator UASB, um reator anaeróbio desenvolvido pelo Professor Gratze Lettinga e sua equipe, o qual possui fluxo ascendente para o esgoto, atravessando um manto de lodo suspenso, agregado na forma de floco, e com um sistema superior de separação trifásica entre sólidos, líquidos e gases (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Nas regiões de clima quente, os processos anaeróbios geralmente alcançam eficiência de até 80% na remoção da matéria orgânica e na remoção de sólidos suspensos e têm como principais vantagens e desvantagens aquelas que se encontram relacionadas na Tabela 5 (CHERNICHARO, 2007; CAMPOS, 1999).

TABELA 5 – Principais vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios

Vantagens	Desvantagens
• Menor produção de sólidos (2 a 8 vezes menos que nos processos aeróbios). • Lodo já estabilizado, dispensando os digestores de lodo. • Menor custo de implantação (entre 20 a 30 dólares per capita). • Menor consumo de energia. • Menor demanda de área. • Operação e manutenção simplificada. • Ausência de equipamentos eletromecânicos complexos. • Pode ser aplicável em pequena e grande escala. • Boa tolerância a aplicação de elevadas cargas orgânicas.	• Baixa eficiência na remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos. • Efluente com qualidade insuficiente para atender aos padrões de lançamento, sendo normalmente necessário pós-tratamento. • Possibilidade de distúrbios devido a choque de carga orgânica ou hidráulica, presença de compostos tóxicos e ausência de nutrientes. • Possibilidade de geração de maus odores e de problemas de corrosão, embora sejam controláveis. • A partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semente adaptado. • Bioquímica e microbiologia são complexas e ainda necessitam de mais estudos.

Fonte: Adaptado de Chernicharo (2007) e Campos (1999).

3.5 DIGESTÃO ANAERÓBIA

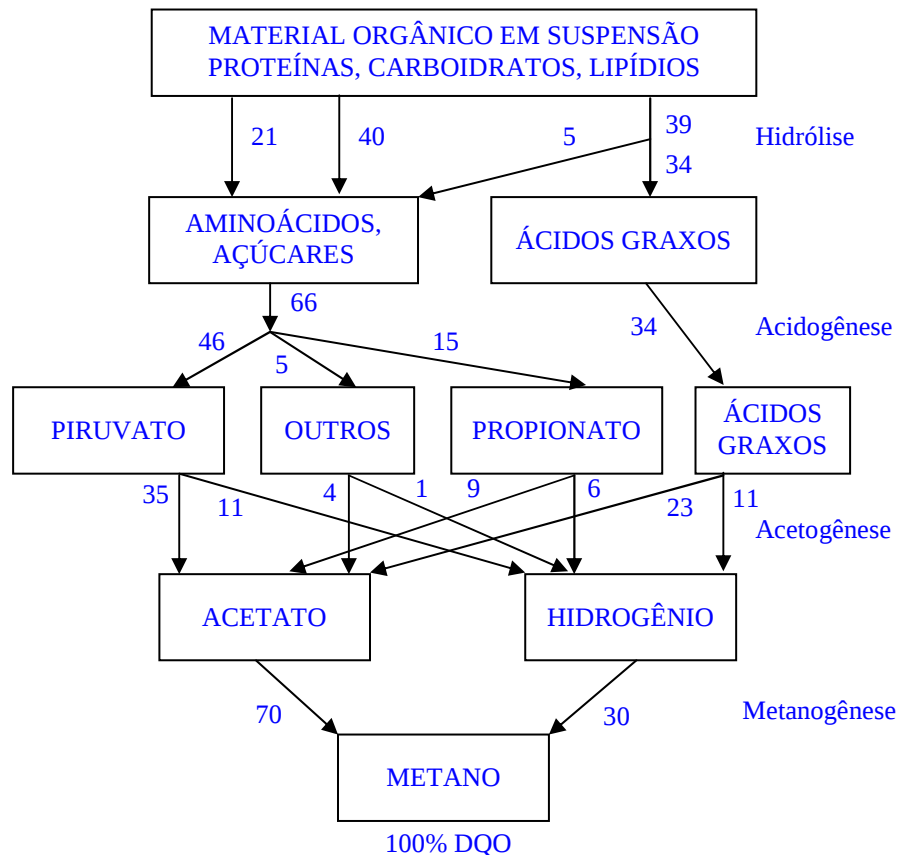
A digestão anaeróbia é o processo biológico de decomposição da matéria orgânica e inorgânica através do qual um conjunto de microrganismos transforma compostos orgânicos complexos, tais como carboidratos, proteínas e lipídios, em produtos mais simples como metano e gás carbônico, em ausência de oxigênio (METCALF & EDDY, 1985; LOMBARDI, 2007).

Segundo Chernicharo (2007), a digestão anaeróbia é caracterizada por quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Resumidamente, tem-se que:

- a) na hidrólise as proteínas são convertidas em aminoácidos, os lipídios se transformam em ácidos graxos e os polissacarídeos são convertidos em açúcares, através da ação de bactérias fermentativas hidrolíticas;
- b) na acidogênese os compostos dissolvidos são absorvidos pelas bactérias fermentativas, onde a maioria é anaeróbia obrigatória, e, posteriormente, são excretadas na forma de ácidos orgânicos (piruvato e propionato entre outros), ácidos graxos voláteis, álcoois e cetonas;
- c) na acetogênese, as bactérias sintróficas acetogênicas convertem os ácidos orgânicos e ácidos graxos voláteis em ácido acético (ou acetato), hidrogênio e gás carbônico, além da transformação dos demais produtos da acidogênese em compostos formadores de metano;
- d) e, finalmente, na metanogênese, as arqueas metanogênicas utilizam o hidrogênio e o dióxido de carbono na produção de metano e água, podendo também ocorrer a descarboxilação do acetato, produzindo dióxido de carbono e metano;
- e) a digestão anaeróbia pode incluir ainda a fase de redução de sulfatos e outros compostos à base de enxofre em sulfeto, através de um grupo de bactérias anaeróbias estritas, denominadas de sulforedutoras.

A Figura 6, apresentada a seguir, mostra a sequência de processos na digestão anaeróbia de macro moléculas complexas, onde estão destacadas as quatro fases já descritas e as estimativas de conversão percentual da matéria orgânica, expressa em termos de DQO, em cada transformação.

FIGURA 6 – Processos da digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado de Foresti (1999).

Notas: Os números referem-se a porcentagens, expressas como DQO.

Condições de instabilidade podem fazer com que ocorra a acumulação de ácidos orgânicos, principalmente acetato, propionato e butirato no processo de digestão anaeróbia, causando um desequilíbrio bacteriológico e comprometendo a sua eficiência. Estas condições de instabilidade podem ser ocasionadas pelo choque de carga orgânica ou hidráulica, pela presença de compostos tóxicos ou pela ausência de nutrientes (CHERNICHARO, 2007).

De acordo com Campos (1999), a temperatura, o pH, a alcalinidade e a presença de nutrientes são os principais fatores que interferem no desempenho do processo de digestão anaeróbia. Dentre os nutrientes tidos como importantes na digestão anaeróbia destacam-se o nitrogênio e o fósforo, tidos como essenciais em praticamente todos os processos biológicos.

Chernicharo (2007) destaca que a relação de 500:5:1 entre DQO:N:P é tida como suficiente para atender à necessidade de macronutrientes dos microrganismos anaeróbios, sendo esta a proporção desejável durante a digestão anaeróbia para que haja um desempenho satisfatório. Destaca ainda que na metanogênese, o

enxofre também é considerado um nutriente essencial, além de outros micronutrientes, tais como o ferro, o zinco, o níquel e o cobalto.

3.6 REATORES ANAERÓBIOS UASB

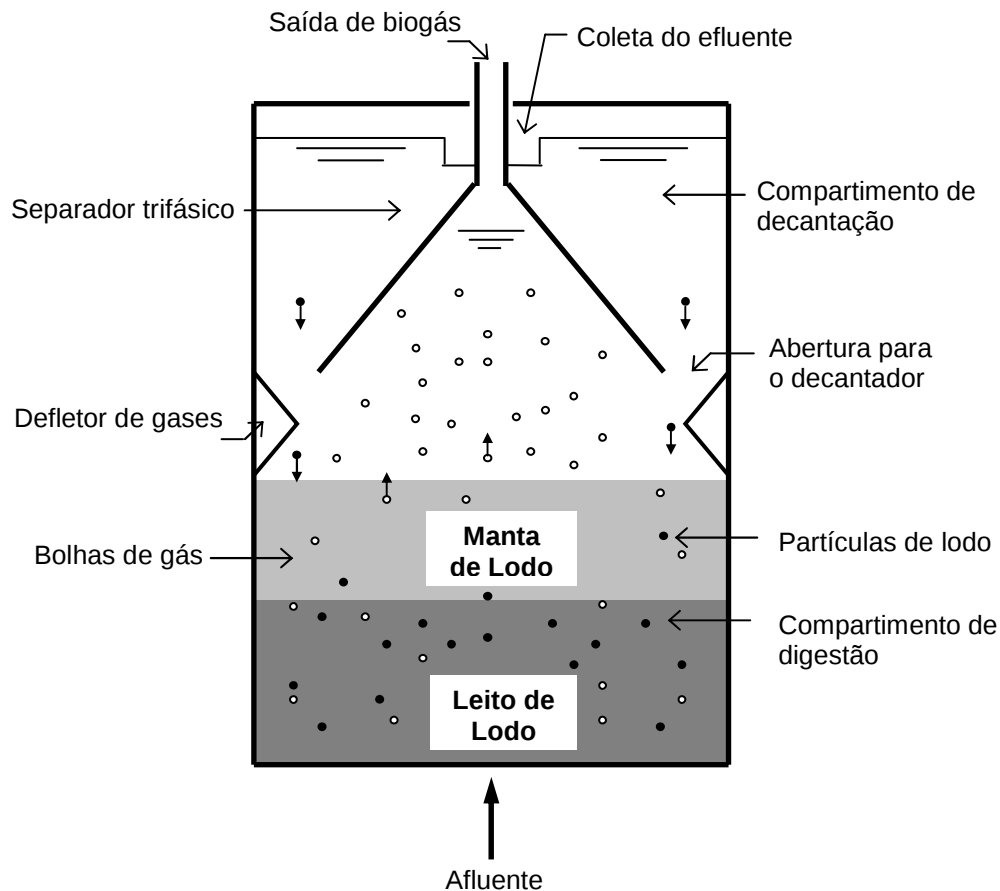
De acordo com Chernicharo (2007), os sistemas anaeróbios para o tratamento de esgotos podem ser classificados em dois grandes grupos, conforme apresentado a seguir:

- a) sistemas convencionais: digestores de lodo, tanques sépticos e lagoas anaeróbias;
- b) sistemas de alta taxa:
 - b.1) com crescimento aderido: reatores de leito fixo, reatores de leito rotatório e reatores de leito expandido e fluidificado;
 - b.2) com crescimento disperso: reatores de dois estágios, reatores de chicanas, reatores de manta de lodo, reatores com leito granular expandido e reatores com recirculação interna.

O reator UASB é um reator de manta de lodo e fluxo ascendente de esgoto, considerado como um sistema anaeróbio de alta taxa. O esgoto é distribuído no fundo do reator, atravessa a manta de lodo, dispersa mais próxima ao topo, saindo do reator através de um decantador interno localizado na parte superior. A estabilização da matéria orgânica ocorre em todas as regiões do reator, sendo que a mistura do sistema é promovida pelo fluxo ascensional do esgoto. Um dispositivo de separação trifásica (gases, sólidos e líquidos), localizado abaixo do decantador, garante que as partículas sólidas, que eventualmente se desprendem da manta de lodo, permaneçam dentro da câmara de digestão. O separador trifásico também promove a separação do biogás (gás metano) contido na mistura líquida, o qual é extraído do reator pela parte superior do reator. O efluente líquido, já tratado, é removido através das canaletas de coleta localizadas no topo do compartimento de decantação. O lodo anaeróbio mais pesado acaba sedimentando no fundo do reator, formando o leito de lodo, e é removido periodicamente do sistema durante a operação do reator (CHERNICHARO, 2007).

A Figura 7 traz a representação esquemática de um reator UASB com os seus componentes principais.

FIGURA 7 – Representação esquemática de um reator UASB



Fonte: Jordão e Pessôa (2011).

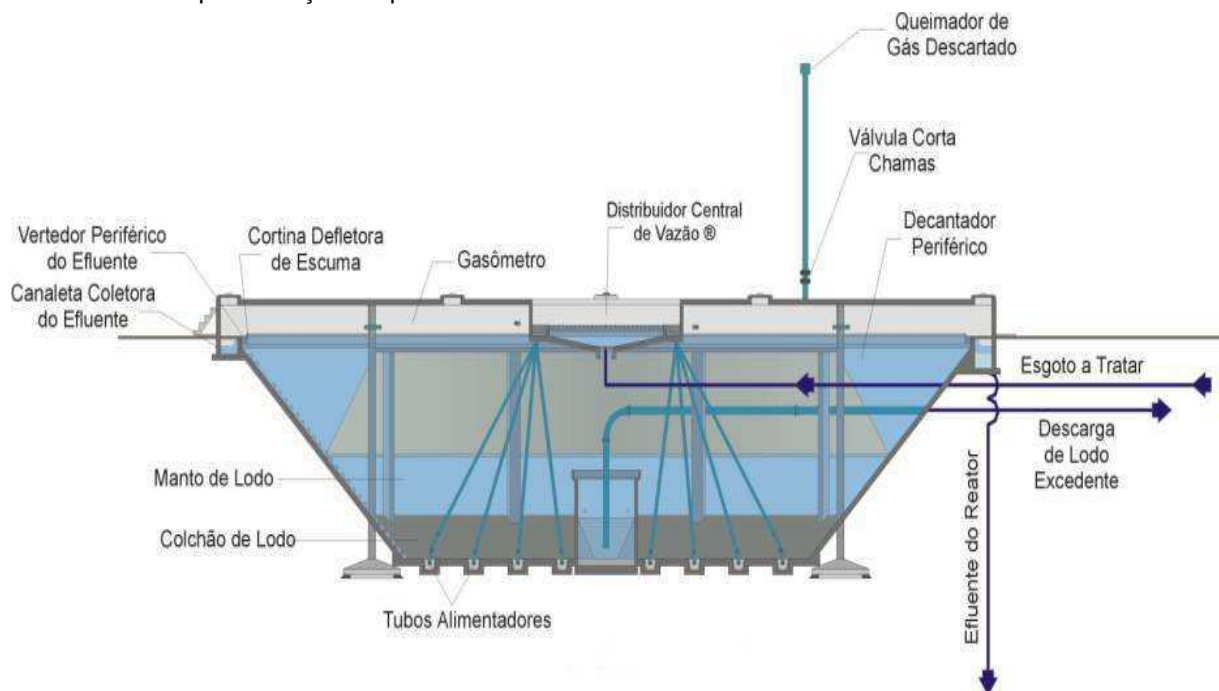
O lodo anaeróbico resultante dos reatores de manta de lodo apresenta elevado grau de estabilização, devido ao elevado tempo de retenção celular ou idade do lodo (da ordem de 50 dias), e não necessita de outro tipo de tratamento antes da desidratação. Possui uma boa capacidade de assimilar cargas tóxicas, devido ao tempo de retenção celular e uma concentração de sólidos de 3% a 5%, podendo utilizado como fertilizante, após o processo de desinfecção (CAMPOS, 1999).

Segundo Jordão e Pessôa (2011), o reator UASB tem sido adotado como solução para o tratamento de esgotos domésticos no Brasil desde meados dos anos 90, principalmente nos estados do Paraná, São Paulo e Minas Gerais. Especialmente no Paraná, a SANEPAR tem adotado o reator UASB em grande parte das suas ETES, e em algumas delas, o reator UASB aparece com a terminologia RALF (Reator Anaeróbico de Leito Fluidizado).

O RALF é um reator de manta de lodo, cujo projeto foi desenvolvido pela SANEPAR, através do engenheiro Celso Savelli Gomes e equipe. Possui o formato

espacial de tronco de cone invertido, com capacidade modulada para vazões entre 0,5 L/s até 150 L/s. A chegada do esgoto afluente se dá em um distribuidor central de vazão e um vertedor periférico faz a coleta do efluente tratado. Sua representação esquemática é apresentada na Figura 8 (SANEPAR, 2005).

FIGURA 8 – Representação esquemática de um RALF



Fonte: Companhia de Saneamento do Paraná (2005).

Uma das características dos reatores de manta de lodo (UASB ou RALF) é que eles favorecem o crescimento disperso das bactérias e não garantem a efetiva separação das fases acidogênica, acetogênica e metanogênica na digestão anaeróbia. Com isso, é possível que ocorra o acúmulo de propionato e butirato nestes reatores, principalmente durante as situações adversas tais como os choques de carga orgânica, a limitação nutricional e a presença de compostos tóxicos, sendo de fundamental importância que estes distúrbios sejam evitados durante a sua operação, de modo a garantir que não ocorra o colapso do processo de digestão anaeróbia e a consequente perda de eficiência do reator (CHERNICHARO, 2007).

De acordo com Rosario (2007), a amônia, o nitrato, os ácidos voláteis, os fenóis, os cianetos, os sulfetos, os metais pesados, os metais alcalinos e os alcalinos terrosos, os surfactantes e o oxigênio são as principais substâncias que podem ser tóxicas e prejudiciais à operação de reatores anaeróbios.

Jordão e Pessôa (2011) destacam as seguintes recomendações que devem ser observadas no projeto e operação dos reatores de manta de lodo com propósito de minimizar os fatores adversos e garantir uma boa eficiência no tratamento:

- a) um sistema de gradeamento eficiente deve ser previsto de modo a garantir que os sólidos grosseiros e materiais flutuantes seja removido antes da entrada do efluente nos reatores, caso contrário pode haver redução no volume útil do reator interferindo diretamente na qualidade do efluente;
- b) é fundamental que a areia seja removida previamente na fase preliminar de tratamento, caso contrário pode ocorrer o entupimento das tubulações de distribuição de esgoto e o acúmulo no interior do reator, obrigando o seu esvaziamento para limpeza;
- c) a distribuição de efluente no reator deve ser feita de modo uniforme sobre toda a área de fundo, sendo recomendada uma área de influência de 2 m² a 3 m² para cada tubulação de entrada;
- d) a velocidade ascensional no interior do reator deve ser limitada, de modo a reduzir a possibilidade de curto-circuito e manter o tempo de detenção hidráulico (TDH) de projeto;
- e) a espuma formada no processo deve ser removida periodicamente, caso contrário haverá perda de matéria graxa no efluente, além da possibilidade de gerar maus odores;
- f) o volume do reator deve ser compatível com o TDH e a carga orgânica aplicada definidos no projeto, caso contrário o reator poderá operar com TDH muito baixo, apresentando velocidades ascensionais muito altas, o que resultará em arraste da biomassa com o efluente, redução do tempo de residência celular e redução da sua eficiência.

A NBR 12209 traz as condições que devem ser observadas na elaboração dos projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgoto, onde é possível encontrar outras recomendações e critérios de dimensionamento dos reatores anaeróbios (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

Segundo Campos (1999), tem-se adotado um TDH da ordem de 8 a 10 horas, para a vazão média de operação de esgotos sanitários tratados na faixa de temperatura em torno de 20°C, não devendo ser inferior a 4 horas para a vazão máxima, com picos de vazão que não se prolonguem por mais de 4 a 6 horas.

A variação brusca na vazão afluyente aos reatores de manta de lodo constitui-se num dos principais problemas que podem ocorrer durante a sua operação, e é típico dos casos em que a ETE é alimentada a partir de uma estação elevatória de esgotos que opera em regime intermitente, em função do liga e desliga dos conjuntos bombeadores. Nestes casos, uma das soluções que têm sido implantadas na SANEPAR com bons resultados é a alteração do regime de funcionamento das bombas da elevatória de esgotos através da instalação de inversores de frequência, equipamentos eletrônicos capazes de variar a velocidade de rotação dos motores elétricos trifásicos, e consequentemente regular a vazão encaminhada à ETE.

O efluente dos reatores de manta de lodo apresentam eficiência e qualidade insuficientes para atender aos padrões de lançamento, exigidos pela legislação federal e estadual na maioria dos casos, e, portanto, necessitam de uma etapa de pós-tratamento, como por exemplo, as lagoas de estabilização e a disposição controlada no solo. Sistemas aeróbios e de desinfecção também podem ser utilizados como pós-tratamento de reatores anaeróbios, principalmente nos casos em que alta eficiência na remoção de carga orgânica e de patógenos seja requerida pelos órgãos ambientais (CAMPOS, 1999).

3.7 LAGOAS DE POLIMENTO

As lagoas de polimento são lagoas de estabilização destinadas ao refinamento de outro processo biológico, em especial, de um reator UASB, objetivando uma remoção adicional de carga orgânica, nutrientes e sólidos suspensos, de modo a adequar o efluente final à exigência estabelecida pela legislação e pelos órgãos ambientais (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Diferentemente das lagoas de estabilização convencionais, as lagoas de polimento não tratam esgoto bruto, mas efetuam o pós-tratamento de efluentes de sistemas anaeróbios. No tratamento anaeróbio, as concentrações de matéria orgânica e de sólidos em suspensão são drasticamente reduzidas, de modo que, na lagoa de polimento, a remoção destes constituintes seja muito mais fácil e com um TDH muito mais reduzido. Além disso, as lagoas de polimento normalmente não apresentam os problemas de maus odores, característicos das lagoas de estabilização convencionais tratando esgoto bruto (CAVALCANTI et al., 2001).

De acordo com a forma pela qual se dá a estabilização da matéria orgânica a ser tratada, a lagoa pode ser anaeróbia, aeróbia, aerada ou facultativa. Na lagoa anaeróbia, praticamente não há oxigênio dissolvido abaixo do nível do líquido. Na lagoa aeróbia, todo o meio líquido apresenta bons níveis de oxigênio dissolvido, que é mantido através do equilíbrio entre a oxidação biológica e a fotossíntese. As lagoas aeradas possuem algum sistema mecanizado de aeração, de modo a garantir boa oxigenação em toda a massa líquida. E, finalmente, as lagoas facultativas são caracterizadas por possuírem uma zona aeróbia, próxima à superfície, sobrepondo outra zona anaeróbia, localizada na parte do fundo da lagoa.

Em levantamento efetuado no ano de 2013, a SANEPAR possuía 225 ETEs operando no Paraná, sendo que deste total, 70 ETEs dispunham de algum tipo de lagoa de estabilização em seu processo de tratamento. Destas 70 ETEs, três estavam localizadas em Ponta Grossa: a ETE Ronda, a ETE Olarias e a ETE Verde. Nestes locais, as lagoas operavam como lagoas de polimento facultativas, fazendo o pós-tratamento de efluentes oriundos de RALF (DA CRUZ, 2013).

De acordo com Jordão e Pessôa (2011), nas lagoas facultativas, o processo de estabilização da matéria orgânica ocorre de maneira natural e contínua, onde ocorrem três processos principais: oxidação e nitrificação da matéria orgânica pelas bactérias aeróbias; oxigenação da camada superior da lagoa através da fotossíntese das algas; e redução da matéria orgânica por bactérias anaeróbias no fundo da lagoa. Apresentam boa eficiência de tratamento, com faixas variando entre 75 e 85% de eficiência para a remoção de DBO, entre 65 e 80% para a remoção de DQO, entre 70 e 80% para a remoção de SST, de até 35% para a remoção de fósforo e de até 60% para a remoção de nitrogênio.

Segundo Cavalcanti et al. (2011), quando o esgoto bruto é submetido a um tratamento anaeróbio eficiente, através de um reator UASB, por exemplo, a concentração de material orgânico a ser lançado na lagoa de polimento se reduz substancialmente, na faixa de 65% a 80%, de maneira que a DQO lançada na lagoa é menos de 1/3 da DQO do esgoto bruto. É comum, nestes casos, obter um efluente final com DQO na faixa de 60 a 120 mg/L e SST na faixa de 40 a 80 mg/L, adequado aos padrões de lançamento de efluentes para a maioria dos corpos d'água receptores, segundo a legislação brasileira vigente.

3.8 PADRÕES PARA O LANÇAMENTO DE EFLUENTES

Os padrões de qualidade, associados às características que devem ser observadas para o corpo receptor, e os padrões de lançamento, relativos às características que devem ser observadas nos efluentes para que possam ser lançados em um corpo receptor, são definidos através de legislação federal e legislação estadual, pelos órgãos de controle e proteção ambiental.

No Brasil, os padrões para o lançamento de efluentes em corpos de água receptores são estabelecidos pela Resolução nº 430/11 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Para efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, destaca-se, dentre outras condições, que a concentração de sólidos sedimentáveis (SS) observada deve ser inferior a 1 mL/L, que o pH deve estar entre 5 e 9 e que a DBO não pode ultrapassar 120 mg/L.

No Paraná, a Resolução nº 021/09 – SEMA estabelece as concentrações máximas permitidas no lançamento de efluentes em corpos de água receptores. Para efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, admite-se uma concentração limite de 90 mg/L para DBO e 225 mg/L para a DQO.

Entretanto, as licenças de operação emitidas pelos órgãos estaduais de controle e proteção do meio ambiente podem ter valores mais restritivos, em função das características do corpo receptor e da sua capacidade de autodepuração. Assim sendo, cada ETE pode possuir parâmetros de controle diferenciados, com os seus respectivos valores limites de lançamento, os quais são definidos no documento de outorga de lançamento de efluentes que acompanha a licença de operação da referida estação de tratamento.

O gestor do sistema de tratamento de esgotos sanitários é o responsável por assegurar que os padrões de lançamento estabelecidos no licenciamento ambiental dos seus empreendimentos sejam atingidos durante todo o período de operação, a fim de garantir a preservação das características do corpo de água receptor que estará recebendo o efluente tratado.

Desta forma, o controle operacional de uma ETE tem importância fundamental na garantia da qualidade do efluente tratado, devendo possibilitar a identificação de eventuais problemas e efetuar as correções e adaptações necessárias no sistema de tratamento, sempre que necessário.

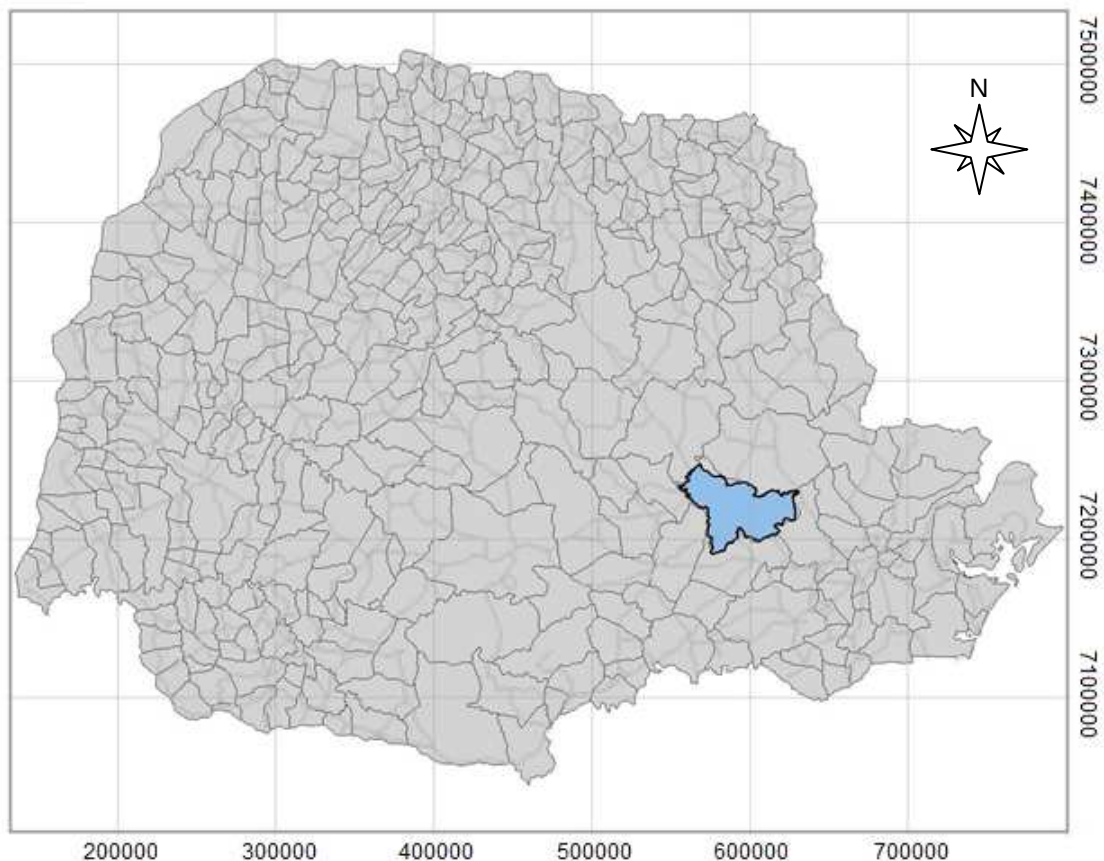
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES

4.1.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Ponta Grossa está localizado no segundo planalto paranaense, na mesorregião centro-oriental do Estado do Paraná, tendo como coordenadas geográficas médias 25°09' latitude sul e 50°16' longitude oeste, com uma altitude média de 975 m em relação ao nível do mar. Cobre uma superfície de 2.067,547 km², sendo que a área urbana ocupa 47,2% e a área rural ocupa 52,6%, representando 1% do território paranaense. Situada a uma distância de 114 km da capital estadual, Ponta Grossa representa um importante entroncamento rodoferroviário do Paraná. A população total do município foi estimada em 311.611 pessoas, segundo o censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). A Figura 9 localiza o município de Ponta Grossa no Estado do Paraná.

FIGURA 9 – Localização do município de Ponta Grossa, PR

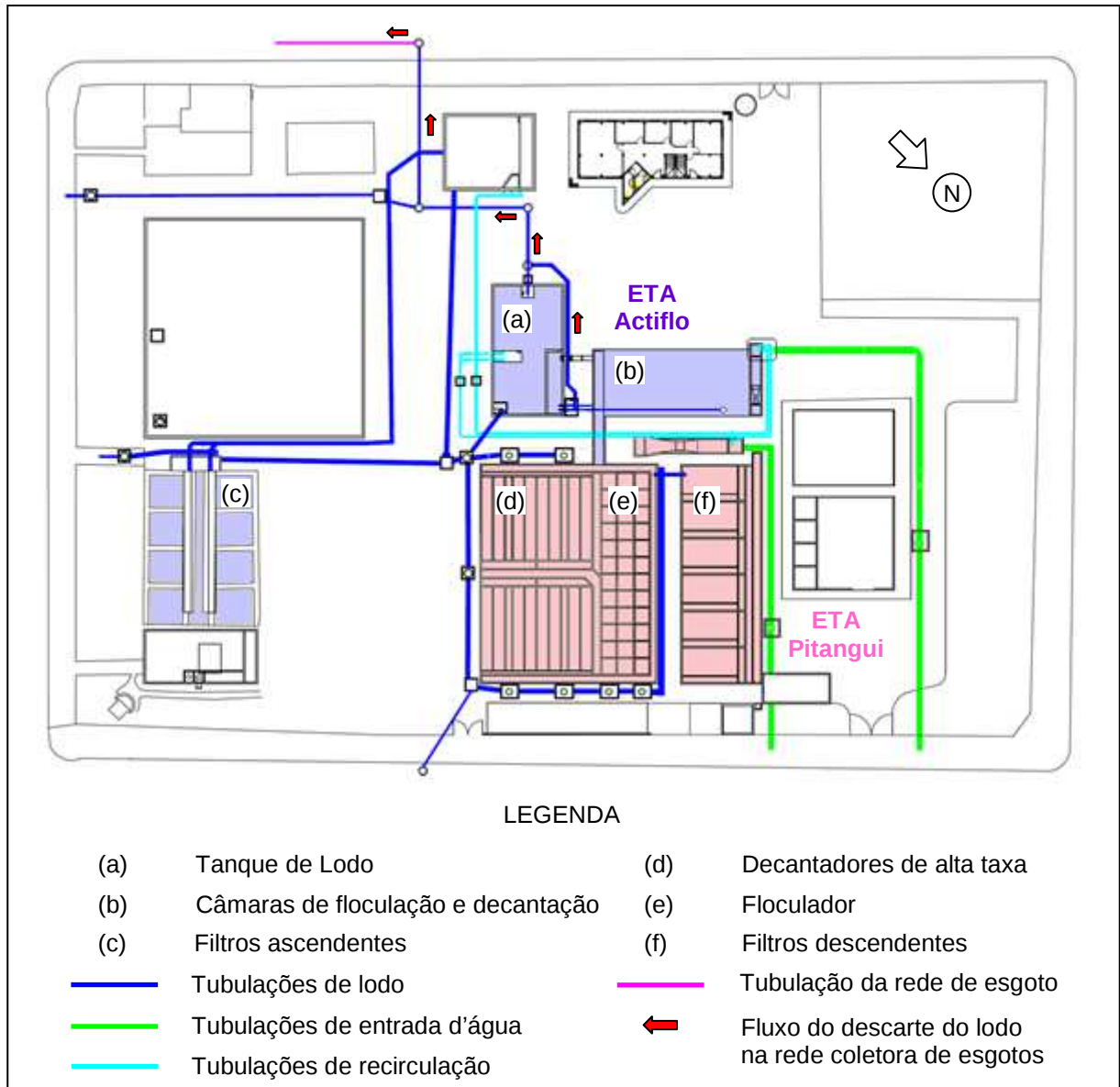


Fonte: Adaptado de IBGE (2014).

4.1.2 ETA

O abastecimento de água do município é realizado pela SANEPAR. A cidade conta com duas ETAs, localizadas em uma mesma área, no bairro Jardim Carvalho: a ETA Pitangui, e a ETA Actiflo[®], cuja planta esquemática encontra-se na Figura 10.

FIGURA 10 – Planta esquemática das ETAs em Ponta Grossa



Fonte: O autor, a partir de desenho cedido pela SANEPAR.

A ETA Pitangui está em operação desde 1976, e utiliza o sistema convencional para o tratamento de água, enquanto que a ETA Actiflo[®] é mais recente que a primeira, encontra-se operando desde o ano de 2009, utilizando o sistema convencional modificado com a sedimentação lastreada por microareia. As

duas ETAs juntas tratam atualmente cerca de 930 L/s de água, proveniente de duas captações superficiais: uma na Represa Alagados, distante aproximadamente a 11,56 km das ETAs, e a outra no Rio Pitangui, distante a 6,45 km das ETAs, aproximadamente. A cidade conta atualmente com 104.619 ligações de água, o que corresponde a um índice de atendimento de 100% (dados fornecidos pela SANEPAR, referentes ao mês de março de 2015).

Através de duas adutoras, a água bruta captada chega até as ETAs, localizadas no bairro Jardim Carvalho, tendo como coordenadas geográficas médias 25°08'27,68" latitude sul e 50°15'54,70" longitude oeste. A vazão total é dividida entre as duas ETAs, sendo que, atualmente, cerca de 450 L/s são tratados pela ETA Pitangui e cerca de 480 L/s são tratados pela ETA Actiflo®. Durante o período da pesquisa, ambas as ETAs estavam utilizando o cloreto de polialumínio (PAC) como coagulante, com dosagens variando entre 7 a 30 ppm.

No ano de 2013 o volume consumido médio mensal de água no processo de tratamento das duas ETAs foi de 137.616 m³, representando uma perda de água de 6,0%, em relação ao volume aduzido médio mensal de 2.289.535 m³, conforme apresentado na Tabela 6. Este volume consumido corresponde exclusivamente às descargas de fundo dos decantadores das duas ETAs, já que, neste período, a água resultante da lavagem dos filtros estava sendo integralmente recirculada para o início do processo de tratamento, sendo totalmente reaproveitada.

TABELA 6 – Volume de água nas ETAs de Ponta Grossa no ano de 2013

Meses	Volume aduzido (m ³)	Volume produzido (m ³)	Volume consumido (m ³)
Janeiro	2.374.450	2.244.937	129.513
Fevereiro	2.147.193	2.050.562	96.631
Março	2.369.848	2.250.334	119.514
Abril	2.276.378	2.180.874	95.504
Maio	2.279.088	2.162.169	116.919
Junho	2.099.606	2.037.476	62.130
Julho	2.287.919	2.171.134	116.785
Agosto	2.356.140	2.190.121	166.019
Setembro	2.225.092	2.073.423	151.669
Outubro	2.331.599	2.151.717	179.882
Novembro	2.267.107	2.088.017	179.090
Dezembro	2.460.003	2.222.268	237.735
Total	27.474.423	25.823.032	1.651.391
Média/mês	2.289.535	2.151.919	137.616

Fonte: O autor.

Notas: Dados fornecidos pela SANEPAR.

Na ETA Pitangui, a água chega a um vertedor Parshall, onde ocorre a coagulação, passa pelo floculador com chicanas, onde recebe a adição de polímero catiônico médio fraco (à base de poliacrilamida), segue para os decantadores de alta taxa de lâminas paralelas, de onde vai finalmente para os filtros descendentes de camada dupla de areia e antracito. A água de lavagem de filtros é encaminhada para as câmaras de recirculação, de onde volta inicialmente ao processo, a não ser quando há floração de algas em excesso na Represa Alagados, quando então esta água acaba sendo descartada junto com a água de descarga de fundo dos decantadores. Os decantadores são paralisados para a limpeza com descarga hidráulica do lodo em intervalos de dois a três dias. O lodo removido dos decantadores pode ser encaminhado às câmaras de recirculação, de onde retorna ao início do processo, ou pode ser encaminhado à rede de drenagem de águas pluviais para descarte. A Figura 11 traz uma vista parcial da ETA Pitangui, onde é possível observar os filtros em primeiro plano.

FIGURA 11 – Foto da ETA Pitangui em Ponta Grossa



Fonte: O autor.

Notas: Os filtros descendentes são vistos em primeiro plano.

Na ETA Actiflo[®], a água também chega a um vertedor Parshall, onde recebe a adição do coagulante, passa pelas câmaras de coagulação onde há adição de

microareia e polímero catiônico médio fraco, e segue para a câmara de floculação. As câmaras de coagulação e floculação utilizam agitadores mecânicos para produzir a velocidade necessária para a mistura. Da câmara de floculação, a água é encaminhada ao decantador de alta taxa tipo colméia, onde um raspador de fundo mecanizado faz a remoção contínua do lodo misturado à microareia que sedimenta no fundo. Finalmente, a água é encaminhada, através de sistema de bombeamento, até os filtros ascendentes (ou filtros Russos), que faziam parte da primeira ETA instalada no município, e que funcionava no sistema de filtração direta ascendente.

A água de lavagem de filtros da ETA Actiflo® é encaminhada para as câmaras de recirculação, de onde volta inicialmente ao processo, a não ser quando há excessiva floração de algas na Represa Alagados, quando então esta água é descartada com a água proveniente dos decantadores. O material é removido do decantador de forma contínua, passa primeiramente por um hidrociclone para a separação da microareia, que será reutilizada no processo, e o lodo resultante pode ter três destinos diferentes: pode ser encaminhado às câmaras de recirculação, para posterior retorno ao início do processo; pode ser encaminhado à rede de drenagem de águas pluviais para descarte; ou ainda, pode ser encaminhado à rede coletora de esgotos. A Figura 12 traz uma vista parcial da ETA Actiflo®, onde é possível observar o hidrociclone em primeiro plano.

FIGURA 12 – Foto da ETA Actiflo® em Ponta Grossa



Fonte: O autor.

Notas: O hidrociclone é visto em primeiro plano, à direita.

Considerando que a velocidade de escoamento do lodo na rede de esgotos fica compreendida entre 0,9 m/s e 1,9 m/s (segundo projeto cedido pela SANEPAR), estima-se que o tempo necessário para o deslocamento desde a ETA até a ETE fica compreendido entre uma e duas horas.

4.1.3 ETE

O Sistema de Esgotamento Sanitário do município conta com nove estações de tratamento de efluentes: ETE Verde, ETE Ronda, ETE Olarias, ETE Cristo Rei, ETE Congonhas, ETE Tibagi, ETE Cará-Cará, ETE Gertrudes e ETE Santa Bárbara, todas funcionando com reatores de manta de lodo do tipo RALF como processo de tratamento biológico de efluentes domésticos. O município conta atualmente com 91.526 ligações de esgoto, o que corresponde a um índice de atendimento de 88,39% (dados fornecidos pela SANEPAR, relativos ao mês de março de 2015).

A ETE Verde também está localizada no bairro Jardim Carvalho, próximo a sua extremidade Norte, junto ao Rio Verde, tendo como coordenadas geográficas médias 25°05'07,73" latitude sul e 50°13'06,55" longitude oeste, encontrando-se a uma distância aproximada de 6,651 km da ETA Actiflo[®], e é, atualmente, a maior estação de tratamento de efluentes em operação no município, com uma vazão média anual em torno de 210 L/s de esgoto doméstico. O sistema de esgotamento sanitário contribuinte à ETE Verde possui as características mostradas da Tabela 8.

TABELA 8 – Sistema de esgotamento sanitário contribuinte à ETE Verde

Descrição	Valor
Economias residenciais de esgoto (ud)	36.035
Economias comerciais de esgoto (ud)	4.070
Economias industriais de esgoto (ud)	77
Economias de esgoto de utilidade pública (ud)	241
Economias de esgoto do poder público (ud)	196
Total de economias de esgoto (ud)	40.619
Total de ligações de esgoto (ud)	31.114
Contribuição per-capita (L/hab/d)	94
Índice economia/ligação (econ/lig)	1,31
Índice rede coletora/ligação (m/lig)	16

Fonte: O autor, a partir de dados fornecidos pela SANEPAR referentes a novembro de 2013.

A ETE Verde entrou em operação em 1983, possuindo apenas uma lagoa de estabilização facultativa para o tratamento dos efluentes. Mais tarde, no ano de

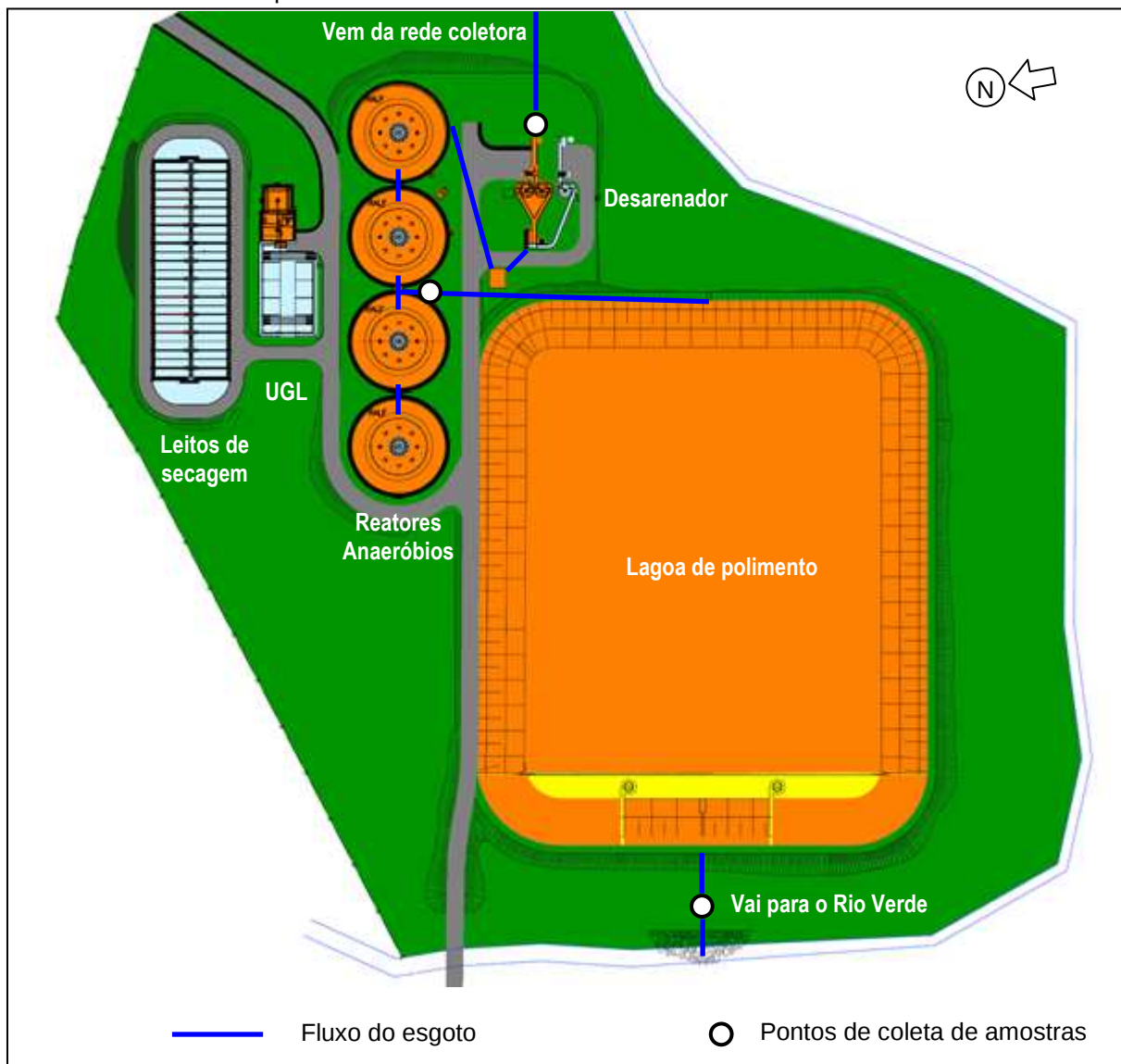
1986, entraram em operação três reatores de manta de lodo do tipo RALF, à montante da lagoa implantada anteriormente. No ano de 2011, a ETE Verde passou por nova ampliação, com a construção do quarto RALF. A partir desta data a ETE passou a contar com quatro RALFs, seguidos da lagoa de estabilização facultativa, funcionando como uma lagoa de polimento.

A Figura 14 traz uma representação esquemática da ETE Verde com as suas unidades principais:

- a) sistema de gradeamento: possui um gradeamento com limpeza manual e um gradeamento mecanizado, com grades metálicas com espaçamento de 25 mm e 10 mm, respectivamente, onde o material sólido inerte, suspenso no efluente (geralmente lixo), acaba ficando retido e é retirado do esgoto, adequando-o ao tratamento biológico;
- b) dois desarenadores ciclônicos com diâmetro de 4 m: são tanques em forma cônica, com fluxo em espiral onde a velocidade média é mantida próxima a 0,3 m/s, de modo a encaminhar a areia e materiais similares (pedriscos, pedregulhos, cascalhos, etc.) presentes no esgoto para a região central, favorecendo a sua sedimentação, indo parar no fundo do cone, sendo então removidos periodicamente através de um sistema ejetor a ar comprimido;
- c) vertedor Parshall com largura de garganta $w = 1'$: possui medidor de nível ultrassônico acoplado, o que possibilita o registro contínuo da vazão de esgotos afluente à ETE;
- d) quatro reatores anaeróbios do tipo RALF módulo XVI, padrão SANEPAR: projetados para vazão média de 70 L/s e vazão máxima de 140 L/s, cada um deles possui volume útil de 1.900 m^3 e estão operando com TDH de 10,1 horas, carga hidráulica volumétrica (CHV) de $2,4 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$ e carga orgânica volumétrica (COV) aplicada de $0,76 \text{ kgDQO}/\text{m}^3/\text{d}$, em média; são interligados entre si, permitindo que a vazão total afluente à ETE seja uniformemente distribuída entre eles;
- e) lagoa de polimento: com 160 m de comprimento, 130 m de largura e 4,0 m de profundidade e volume total de 83.200 m^3 , opera com TDH de 5 dias, taxa de aplicação superficial (TAS) de $424 \text{ kgDBO}/\text{ha}/\text{d}$ e COV aplicada de $11 \text{ gDBO}/\text{m}^3/\text{d}$, em média; e é de onde o efluente final tratado é encaminhado ao corpo receptor, o Rio Verde;

- f) leitos de secagem: juntamente com a Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL), onde há uma centrífuga do tipo “decanter”, fazem o desaguamento e a desinfecção do lodo da ETE, preparando-o para o descarte final em aterro sanitário ou para o uso na agricultura.

FIGURA 14 – Planta esquemática da ETE Verde em Ponta Grossa



Fonte: O autor, a partir de desenho cedido pela SANEPAR.

Segundo Chernicharo (2007), recomenda-se um TDH superior a 7 horas nos projetos de reatores de manta de lodo tratando esgotos domésticos, considerando-se a vazão média de operação. Para a carga hidráulica volumétrica, o valor deve ser inferior a $3,5 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$ e para a carga orgânica volumétrica aplicada, o valor típico é inferior a $3,5 \text{ kgDQO}/\text{m}^3/\text{d}$. Para os RALFs da ETE Verde, todos estes valores estão sendo atendidos para a vazão média.

Quanto à lagoa de polimento, Jordão e Pessôa (2011) recomendam TDH entre 15 e 45 dias e taxa de aplicação superficial de 120 a 240 kgDBO/ha/d, considerando-se a vazão média de operação, para os projetos de lagoas de polimento facultativas em regiões de inverno e insolação moderados. Neste caso, a lagoa da ETE Verde está operando fora da faixa de valores recomendados. A Figura 15 traz uma vista parcial da ETE Verde, onde é possível observar os RALFs em primeiro plano e a lagoa de polimento ao fundo.

FIGURA 15 – Foto da ETE Verde em Ponta Grossa



Fonte: O autor.

Notas: Os reatores são vistos em primeiro plano, com a lagoa de polimento ao fundo.

Para o lançamento no corpo receptor, o efluente da ETE Verde deve atender aos parâmetros definidos pela Portaria de Outorga nº 1304/2007 - DRH, documento integrante do Licenciamento Ambiental emitido pelo órgão fiscalizador do Estado para as questões ambientais, o Instituto das Águas do Paraná (antiga SUDERHSA). Estes parâmetros são: DQO limite de 125 mg/L, DBO limite de 50 mg/L e SST limite de 50 mg/L. Além destes parâmetros, o efluente também deve apresentar valor de SS de até 1 mL/L e pH entre 5 e 9, segundo a Resolução nº 430/11 do CONAMA.

Para o ano de 2013, segundo dados fornecidos pela SANEPAR, os valores dos parâmetros analisados para as amostras do efluente tratado da ETE Verde, coletadas mensalmente nos dias relacionados, encontram-se apresentados na Tabela 9, com os respectivos valores limites estabelecidos pelos órgãos ambientais.

TABELA 9 – Caracterização do efluente tratado na ETE Verde em 2013

Mês	Dia	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	SS (mL/L)	pH	Vazão (L/s)
Janeiro	31	16	56	23	0,3	6,8	185
Fevereiro	14	10	110	17	0,1	6,5	232
Março	19	5	71	10	0,1	6,9	190
Abril	17	14	62	10	0,3	6,7	278
Maio	20	11	145	32	0,2	7,0	228
Junho	26	5	73	9	0,1	7,0	145
Julho	10	11	40	9	0,1	7,0	290
Agosto	13	45	113	18	0,1	6,5	185
Setembro	10	24	158	31	<0,1	6,9	204
Outubro	9	19	63	22	0,1	7,0	200
Novembro	19	10	174	28	0,2	6,9	167
Dezembro	13	13	78	18	<0,1	7,2	190
Média		15	95	19	0,1	6,9	208
Valores limites		50	125	50	1,0	5,0 a 9,0	-

Fonte: O autor, a partir de dados fornecidos pela SANEPAR.

Quando ocorre o não atendimento a qualquer dos parâmetros estabelecidos pela legislação ambiental pertinente, a SANEPAR deve apresentar sua justificativa e as ações corretivas aplicadas ao órgão fiscalizador, como ocorreu com o parâmetro DQO nos meses de maio, setembro e novembro de 2013.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO

Os resíduos gerados no decantador da ETA Actiflo® foram coletados para uma primeira caracterização. Para efeito de comparação, também foram coletados os resíduos gerados nos decantadores da ETA Pitangui. As coletas foram realizadas em poços de visita localizados junto à tubulação de saída do lodo dos decantadores, tanto para a ETA Actiflo®, como para a ETA Pitangui.

A SANEPAR já havia coletado três amostras do lodo dos decantadores das duas ETAs no ano de 2012, sendo que duas delas foram coletadas no verão (dias 13/01/12 e 04/12/12) e a outra foi coletada no inverno (dia 19/07/12). Os resultados destas análises foram aproveitados neste trabalho, para efeito comparativo.

Durante o período de pesquisa, foram coletadas outras três amostras do lodo dos decantadores das duas ETAs no ano de 2013, sendo uma coletada no verão (dia 08/01/13) e as outras duas no inverno (dias 08/07/13 e 13/08/13).

As análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram realizadas em laboratório próprio da SANEPAR, na cidade de Curitiba/PR e as análises de metais foram realizadas por um laboratório terceirizado da SANEPAR, também situado na cidade de Curitiba/PR para todas as amostras coletadas, tanto em 2012 como em 2013. Os parâmetros foram analisados de acordo com o Standard Methods for Examination of Water and Wastewater – SMEWW (APHA; AWWA; WPCF, 1998) e o Environmental Regulations and Technology (USEPA, 2003), conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Métodos e equipamentos utilizados nas análises do lodo das ETAs

Análise	Equipamento utilizado	Método utilizado
pH	Analizador de pH digital marca Digimed, modelo DM-20	SMEWW 4500B
DQO	Espectrofotômetro marca Hach, modelo DR 2800	SMEWW 5220B
DBO	Equipamento Oxitop marca WTW e incubadora marca Nova Ética	SMEWW 5210B
Sólidos Totais	Balança analítica digital marca Sartorius; estufa marca Nova Ética; forno tipo mufla marca Quimis	SMEWW 2540B
Sólidos Totais Fixos	Balança analítica digital marca Sartorius; estufa marca Nova Ética; forno tipo mufla marca Quimis	SMEWW 2540E
Sólidos Totais Voláteis	Balança analítica digital marca Sartorius; estufa marca Nova Ética; forno tipo mufla marca Quimis	SMEWW 2540E
Sólidos Sedimentáveis	Vidraria tipo Cone Imhoff para sedimentação 1000 mL marca Pirex	SMEWW 2540F
Metais	Laboratório terceirizado	SMEWW 3111, 3120 e 3500
Coliformes termotolerantes	Balança analítica digital marca Sartorius; estufa marca Nova Ética	USEPA/625/R-92/013 Appendix F
Ovos de Helmintos	Câmara de Sedgewick-Rafter marca Limnotec; estufa marca Nova Ética; microscópio óptico marca Nikon	USEPA/625/R-92/013 Appendix I

Fonte: O autor.

4.3 VAZÃO DO LODO

A vazão de descarte de lodo da ETA Actiflo® foi obtida a partir da variação de volume pelo tempo, medido em um dos poços de visita existentes no pátio da ETA, com diâmetro interno de 0,80 m (Figura 16). Utilizando um sensor de nível ultrassônico marca Nivetec, modelo SPE 390, e um registrador eletrônico de sinais

analógicos do tipo “data logger” portátil marca Novus, modelo LogBox-AA (Figura 17), foram efetuadas medições de variação de nível da lâmina líquida no poço de visita (Figura 18) em função do tempo, nos dias 11/03/14 (com tempo seco) e 25/03/14 (com tempo chuvoso).

FIGURA 16 – Foto do poço de visita na ETA utilizado para medida de vazão



Fonte: O autor.

FIGURA 17 – Foto dos equipamentos utilizado para medida de vazão



Fonte: O autor.

FIGURA 18 – Foto durante o processo de medição de vazão em PV



Fonte: O autor.

Todas as saídas do poço de visita foram fechadas e, a partir da variação de nível da lâmina líquida dentro do poço de visita, o sensor ultrassônico efetuou o registro dos valores de volume, que variavam em função do tempo. A partir destes dados, foi possível calcular a vazão de descarte do lodo, dividindo-se a variação de volume entre duas medições consecutivas pelo correspondente intervalo de tempo. Foram obtidos um total de 67 registros de vazão, a partir dos dados coletados nos dias 11/03/14 (com tempo seco) e 25/03/14 (com tempo chuvoso).

4.4 CRONOGRAMA DE DESCARTE DE LODO NA REDE DE ESGOTOS

A descarga de lodo do decantador da ETA Actiflo[®] acontece continuamente, de maneira ininterrupta, 24 horas por dia, durante sete dias da semana. Para permitir o acompanhamento, e possibilitar a análise da variação dos parâmetros de qualidade no tratamento da ETE Verde, programou-se efetuar o descarte do lodo da ETA Actiflo[®] na rede coletora de esgotos de forma escalonada no tempo, distribuída em sete fases distintas.

Desta forma, ficou estabelecido o cronograma de escalonamento para o descarte do lodo da ETA, conforme apresentado Quadro 2, variando o tempo de descarte contínuo de lodo desde zero horas até 24 horas. As mudanças de uma escala de tempo para a outra foram previstas para ocorrer de acordo com os períodos indicados. A Fase 1 foi programada para um período de 58 dias contínuos, sem lançamento de lodo da ETA na ETE Verde. As Fases 2 a 6 foram programadas para 14 dias contínuos de lançamento cada uma e a Fase 7 foi programada para um período de 28 dias contínuos de lançamento de lodo da ETA na ETE Verde.

QUADRO 2 – Cronograma de descarte do lodo da ETA Actiflo[®]

Fase	Período	Início do descarte de lodo	Término do descarte de lodo	Tempo de descarte contínuo (h)					
				4	8	12	16	20	24
1	10/03/14 a 06/05/14	sem descarte	sem descarte						
2	07/05/14 a 20/05/14	8:00 h	12:00 h						
3	21/05/14 a 03/06/14	8:00 h	16:00 h						
4	04/06/14 a 17/06/14	8:00 h	20:00 h						
5	18/06/14 a 01/07/14	8:00 h	24:00 h						
6	02/07/14 a 15/07/14	8:00 h	4:00 h						
7	16/07/14 a 12/08/14	8:00 h	8:00 h						

Fonte: O autor.

4.5 ACOMPANHAMENTO DA OPERAÇÃO DA ETE VERDE

O acompanhamento da operação da ETE Verde iniciou dois meses antes do início do lançamento do lodo da ETA na rede de esgotos e foi mantido até a conclusão do cronograma de descarte de lodo, já apresentado no Quadro 2 (p. 58).

A avaliação do processo de tratamento na ETE Verde foi feita a partir do monitoramento de dois parâmetros: a DQO e SST. A evolução destes parâmetros foi acompanhada durante a operação normal da ETE, no período compreendido entre os dias 10/03/14 e 12/08/14. Também foi efetuado, neste período, o registro da vazão média afluente à estação, obtidos através de um medidor de nível ultrassônico, marca Nivetec, modelo SPE 390, instalado em vertedor Parshall existente no canal de entrada da ETE Verde.

Semanalmente, durante o período mencionado, foram retiradas amostras do afluente da estação de tratamento, do efluente dos reatores e do efluente da lagoa de polimento, nos locais indicados na Figura 14, página 53. Ao todo, foram coletadas 51 amostras de cada um dos três pontos indicados, sempre no período da manhã, e as análises dos dois parâmetros mencionados, DQO e SST, foram efetuadas em laboratório próprio da SANEPAR, na cidade de Ponta Grossa/PR, de acordo com o SMEWW (APHA; AWWA; WPCF, 1998), conforme apresentado no Quadro 3.

Além das amostras para análise de DQO e SST, também foram coletadas outras três amostras de cada um dos seguintes locais: afluente da ETE, efluente dos reatores e lodo dos reatores. Estas amostras foram coletadas nos dias 19/05/14, 16/06/14 e 30/06/14, no período da manhã, com o objetivo de analisar a presença de macronutrientes no esgoto, através dos seguintes parâmetros: carbono orgânico total (COT), cálcio, Nitrogênio Kjeldahl total (NKT), nitrogênio total, fósforo total, enxofre, sódio, potássio, magnésio. As amostras foram acondicionadas em frascos apropriados e encaminhadas para análise no mesmo dia da coleta, tomando-se os devidos cuidados de conservação. As análises destes parâmetros foram realizadas segundo o SMEWW (APHA; AWWA; WPCF, 1998) por laboratório terceirizado da SANEPAR, na cidade de Curitiba/PR, conforme apresentado no Quadro 3.

Outras quatro amostras foram coletadas destes mesmos locais: afluente da ETE, efluente dos reatores e lodo dos reatores, com o propósito de analisar a presença de micropoluentes. A coleta foi feita nos dias 19/05/14, 05/06/14, 16/06/14 e 30/06/14, no período da manhã e foram analisados os seguintes parâmetros:

alumínio, arsênio, bário, cádmio, cromo, cobre, ferro, mercúrio, molibdênio, níquel, chumbo, selênio, estanho e zinco. Foram tomados todos os cuidados na conservação das amostras, as quais foram acondicionadas em frascos apropriados e encaminhadas para análise no mesmo dia da coleta. As análises destes parâmetros foram realizadas por outro laboratório terceirizado da SANEPAR, na cidade de Curitiba/PR, segundo o SMEWW (APHA; AWWA; WPCF, 1998) e a ISO 10566 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1994), conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Métodos e equipamentos utilizados nas análises do esgoto e do lodo da ETE Verde

Análise	Equipamento utilizado	Método utilizado
DQO	Espectrofotômetro marca Hach, modelo DR 2800	SMEWW 5220B
Sólidos Suspensos Totais	Balança digital marca Sartorius, modelo MA-35M; filtro analítico Merck AP40 com poros de 0,7 µm	SMEWW 2540D
Carbono orgânico total	Laboratório terceirizado	SMEWW 4110
Cálcio, enxofre, sódio, potássio e magnésio	Laboratório terceirizado	SMEWW 3500
Nitrogênio Kjeldahl total, nitrogênio total e fósforo total	Laboratório terceirizado	SMEWW 4500
Alumínio	Laboratório terceirizado	ISO 10566 E30
Arsênio, mercúrio e selênio	Laboratório terceirizado	SMEWW 3111
Bário	Laboratório terceirizado	SMEWW 3120
Cádmio, cromo, cobre, ferro, molibdênio, níquel, estanho e zinco	Laboratório terceirizado	SMEWW 3500

Fonte: O autor.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística dos dados obtidos em cada uma das sete fases do cronograma experimental (Quadro 2, p. 58) foi realizada a partir das análises de variância pelo teste F e a comparação das médias com o teste de Tukey e o teste T, com nível de significância de 5%, para os seguintes parâmetros de controle, relativos à operação da ETE Verde:

- vazão afluente à estação;
- DQO afluente à estação, efluente dos reatores e efluente da lagoa;
- eficiência na remoção de DQO pelos reatores e pela lagoa;
- SST afluente à estação, efluente dos reatores e efluente da lagoa;
- eficiência na remoção de SST pelos reatores e pela lagoa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO LODO

Somente o lodo da ETA Actiflo[®] foi encaminhado para a ETE Verde através da rede coletora de esgotos durante a realização desta pesquisa. Porém, para efeito de comparação, foi efetuada a caracterização do lodo descartado nos decantadores das duas ETAs, a Actiflo[®] (que utiliza sedimentação lastreada por microareia) e a Pitangui (que utiliza tratamento convencional).

Na Tabela 10 estão expressos os resultados encontrados para os parâmetros analisados para a caracterização do lodo retirado da descarga dos decantadores da ETA Actiflo[®] e da ETA Pitangui, cujas amostras foram coletadas no verão (dias 13/01/2012, 04/12/2012 e 08/01/2013).

TABELA 10 – Valores dos parâmetros analisados nas amostras de lodo da ETA Actiflo[®] e da ETA Pitangui, coletadas no verão (dias 13/01/12, 04/12/12 e 08/01/13)

Parâmetros	ETA Actiflo [®]			ETA Pitangui		
	13/01/12	04/12/12	08/01/13	13/01/12	04/12/12	08/01/13
pH	6,77	6,87	6,72	6,86	6,80	6,88
DBO (mg/L)	26	25	29	162	158	159
DQO (mg/L)	295	301	288	5950	6076	5673
ST (%)	0,08	0,07	0,08	1,06	1,00	1,16
SFT (%)	0,05	0,05	0,05	0,66	0,60	0,69
SVT (%)	0,03	0,02	0,03	0,40	0,40	0,47
SS (mL/L)	80	96	100	1000	820	900
Helminthos (ovo/g)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Ovos viáveis	Não	Não	Não	Não	Não	Não
CT (UFC/100mL)	16000	14000	13500	4100	3100	4000
Al (mg/L)	53	55	50	305	375	420
As (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Ba (mg/L)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Cd (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cr (mg/L)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Cu (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Fe (mg/L)	12,54	8	5	324,7	222	125
Hg (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Mo (mg/L)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ni (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Pb (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Se (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Zn (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

Fonte: O autor.

Notas: As análises dos dias 13/01/12 e 04/12/12 foram efetuadas pela SANEPAR antes do início da pesquisa e foram utilizadas para efeito de comparação.

Na Tabela 11 estão expressos os resultados encontrados para os parâmetros analisados para a caracterização do lodo retirado da descarga dos decantadores da ETA Actiflo® e da ETA Pitangui, cujas amostras foram coletadas no inverno (dias 19/07/2012, 08/07/2013 e 13/08/2013).

TABELA 11 – Valores dos parâmetros analisados nas amostras de lodo da ETA Actiflo® e da ETA Pitangui, coletadas no inverno (dias 19/07/12, 08/07/13 e 13/08/13)

Parâmetros	ETA Actiflo®			ETA Pitangui		
	19/07/12	08/07/13	13/08/13	19/07/12	08/07/13	13/08/13
pH	6,93	6,88	6,80	6,77	6,67	6,72
DBO (mg/L)	7	10	8	88	102	106
DQO (mg/L)	162	365	288	3141	3637	3772
ST (%)	0,78	0,65	0,78	1,04	1,04	1,04
SFT (%)	0,48	0,40	0,48	0,64	0,64	0,64
SVT (%)	0,30	0,25	0,30	0,40	0,40	0,40
SS (mL/L)	800	800	800	800	800	900
Helminthos (ovo/g)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Ovos viáveis	Não	Não	Não	Não	Não	Não
CT (UFC/100mL)	10600	10900	10500	9620	8300	9440
Al (mg/L)	4380	8649	3530	6871	6879	7243
As (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Ba (mg/L)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Cd (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cr (mg/L)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Cu (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Fe (mg/L)	46570	35454	33205	2951	3361	2898
Hg (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Mo (mg/L)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ni (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Pb (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Se (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Zn (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

Fonte: O autor.

Notas: A análise do dia 19/07/12 foi efetuada pela SANEPAR antes do início da pesquisa e foi utilizada para efeito de comparação.

Comparando os resultados encontrados com os valores típicos apresentados na Tabela 1 (p. 23), observa-se que o lodo das ETAs do município de Ponta Grossa possui características mais próximas do lodo estudado por Cordeiro (2001), obtido de três ETAs em ciclo completo situadas nas cidades de Araraquara, São Carlos e Rio Claro, no Estado de São Paulo, com exceção do ferro, cuja concentração ficou dentro do intervalo de resultados encontrados por Sena (2011) para o lodo das ETAs Guaraú e Alto da Boa Vista, localizadas na região metropolitana de São Paulo – SP, ambas operando no sistema de tratamento em ciclo completo.

A quantidade de matéria orgânica encontrada no lodo da ETA Actiflo® foi inferior à encontrada no lodo da ETA Pitangui, em termos de concentração de DBO e de DQO, tanto para o verão, quanto para o inverno. Em média, o lodo da ETA Actiflo® apresentou um resultado de DBO cerca de 5,9 vezes menor que o da ETA Pitangui, para o verão, e cerca de 12,4 vezes menor para o inverno. Para a DQO, o valor médio encontrado para o lodo da ETA Actiflo® ficou 20,0 vezes menor que o da ETA Pitangui, para o verão, e cerca de 12,9 vezes menor para o inverno.

O lodo da ETA Actiflo® também apresentou valores de concentração de sólidos totais (ST), de sólidos fixos (SF) e de sólidos voláteis (SV), inferior aos valores encontrados para o lodo da ETA Pitangui, tanto para o verão, como para o inverno. Para o verão, a diferença foi mais acentuada, chegando a um valor médio para o teor de sólidos totais encontrados para o lodo da ETA Actiflo®, cerca de 13,4 vezes menor que o valor médio encontrado para o lodo da ETA Pitangui. Para o inverno, o valor médio da concentração de sólidos totais encontrados no lodo da ETA Actiflo® ficou apenas cerca de 1,4 vezes menor que o do lodo da ETA Pitangui.

O mesmo se observa quanto à concentração de alumínio. O lodo da ETA Actiflo® também apresentou valores, em média, inferiores aos encontrados no lodo da ETA Pitangui. Para o verão, o lodo da ETA Actiflo® apresentou uma concentração média de íons de alumínio cerca de 7,0 vezes menor que o valor médio encontrado para o lodo da ETA Pitangui. Para o inverno, o valor para o lodo da ETA Actiflo® ficou, na média, cerca de 1,3 vezes menor que o do lodo da ETA Pitangui.

O fato de o lodo da ETA Actiflo® apresentar menor concentração de sólidos, matéria orgânica e alumínio é explicado principalmente pela diferença no regime de descarga do lodo entre as duas ETAs. Na ETA Actiflo® o lodo é removido continuamente, durante todo o período de operação, enquanto que na ETA Pitangui, os decantadores são paralisados para a limpeza e remoção manual do lodo, a cada dois ou três dias, acarretando o aumento na concentração dos sólidos, matéria orgânica e alumínio.

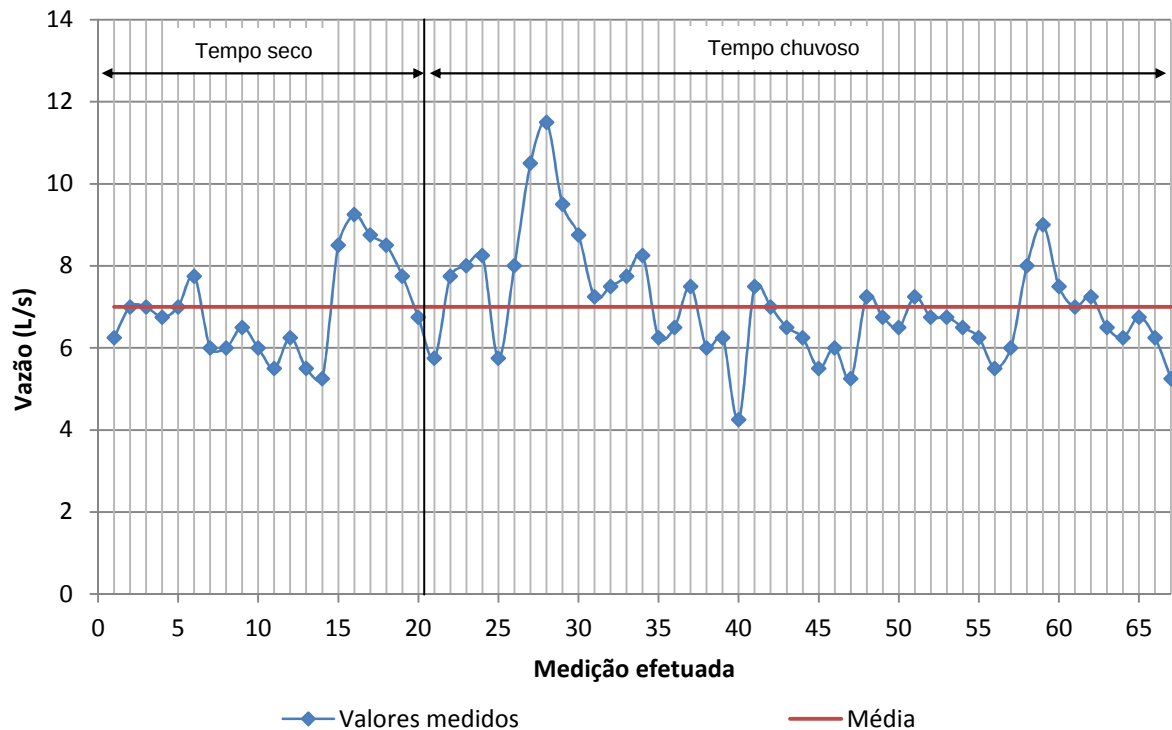
Quanto à presença de ferro, observou-se uma concentração maior no lodo da ETA Actiflo® no inverno e uma concentração menor no verão, quando comparado com o lodo da ETA Pitangui. A concentração de ferro apresentou valor médio cerca de 26,3 vezes menor para o lodo da ETA Actiflo® no verão, e cerca de 12,5 vezes maior que o da ETA Pitangui, para o inverno. A causa mais provável para as

variações ocorridas nestes resultados é a alteração na água bruta dos respectivos mananciais de abastecimento, principalmente na Represa Alagados, que já tem histórico de alteração na concentração de ferro, e cuja água pode ser encaminhada para uma ou para a outra ETA, conforme a necessidade da operação da SANEPAR.

5.2 VAZÃO DO LODO

Na Figura 19 são apresentados os valores correspondentes às 67 medições de vazão de descarte de lodo do decantador da ETA Actiflo[®], efetuadas nos dias 11/03/2014 (com tempo seco) e 25/03/2014 (com tempo chuvoso). Os valores individuais encontrados em cada uma das 67 medições efetuadas podem ser vistos no Apêndice 1 e apresentaram uma vazão média de 7,00 L/s, com desvio padrão de 1,29 L/s, resultando em um coeficiente de variação (CV) de 18%. O maior valor encontrado foi o da medição de n. 28, com 11,50 L/s e o menor valor foi o da medição n. 40, com 4,25 L/s, ambos obtidos no dia 25/03/14, com tempo chuvoso.

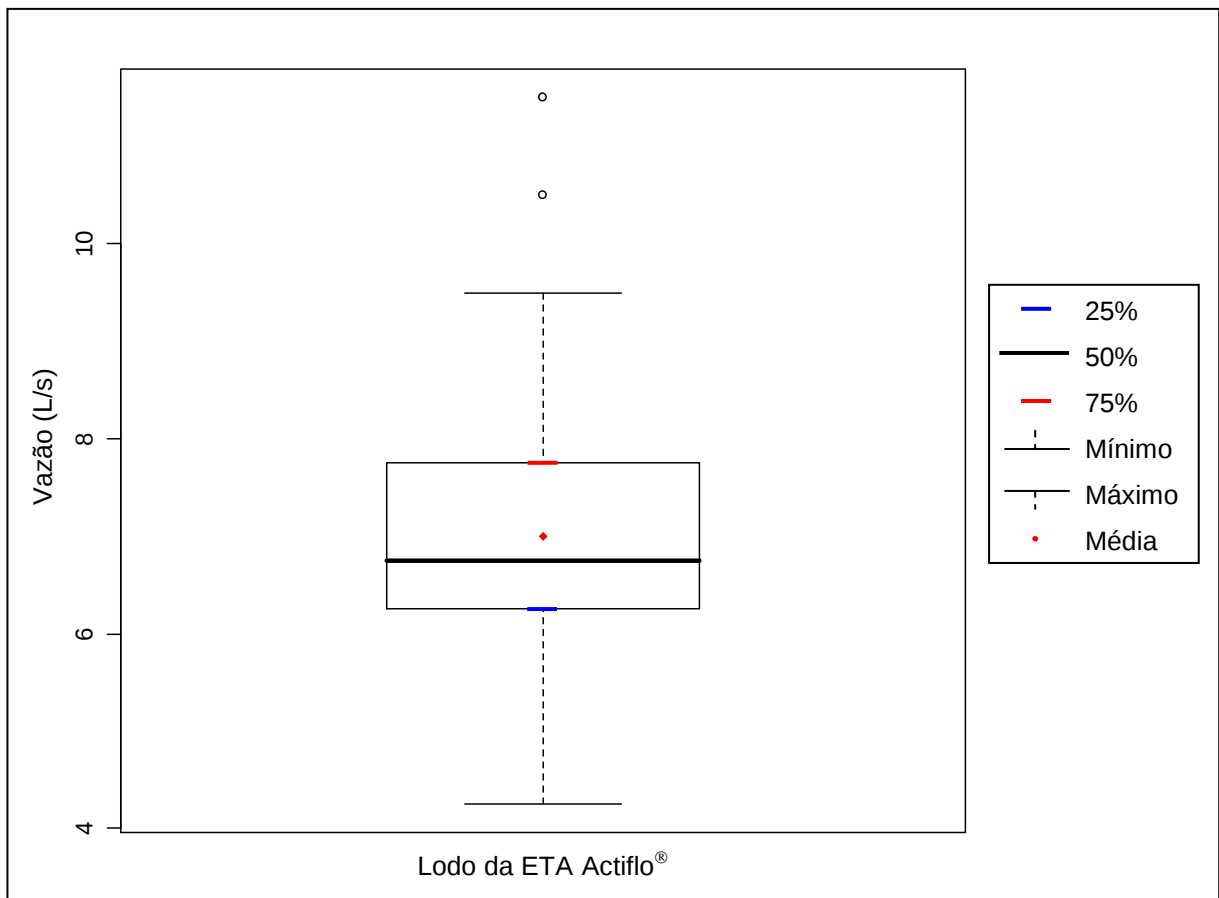
FIGURA 19 – Valores de vazão de descarte de lodo da ETA Actiflo[®]



Fonte: O autor.

Para caracterizar a variabilidade dos resultados encontrados, foi construído o diagrama *box plot* correspondente, o qual encontra-se apresentado na Figura 20.

FIGURA 20 – Vazão de descarte de lodo da ETA Actiflo®



Fonte: O autor.

Notas: *Outliers* com valores de 10,50 e 11,50, relativos às medições de número 27 e 28, realizadas no dia 25/03/14 (com tempo chuvoso).

Os dados de vazão de descarte de lodo da ETA Actiflo® apresentaram pequena variabilidade nas medições efetuadas nos dias 11/03/2014 (com tempo seco) e 25/03/2014 (com tempo chuvoso), sendo que o primeiro quartil (25% dos dados) apresentou o valor de 6,25 L/s, a mediana (50% dos dados) ficou em 6,75 L/s e o terceiro quartil (75% dos dados) ficou em 7,75 L/s.

5.3 VOLUMES DE LODO E DE ESGOTOS NA ETE VERDE

Para cada uma das sete fases definidas no cronograma de descarte do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos (Quadro 2, p. 29), foi efetuado o correspondente cálculo do volume diário total médio afluente à ETE Verde. O cálculo foi efetuado a partir dos registros de vazão média, obtidos através do medidor de nível ultrassônico instalado em vertedor Parshall existente no canal de entrada da ETE. Também foram calculados os valores correspondentes ao volume diário de lodo lançado na

ETE através da rede de esgotos, e obtida a respectiva relação percentual entre o volume de lodo de ETA e o volume total medido na estação, para cada uma das sete fases definidas no cronograma. Estes valores estão registrados na Tabela 12.

TABELA 12 – Volume médio diário de lodo descartado na rede de esgotos e volume diário total médio de esgotos afluentes à ETE Verde durante as sete fases da pesquisa

Fase	Período	Vazão média diária afluente à ETE (L/s)	Volume diário total médio afluente (m ³)	Volume médio diário de lodo descartado (m ³)	Relação entre volume de lodo e volume total (%)
1	10/03/14 a 06/05/14	196,6	16987,1	0,0	0,0%
2	07/05/14 a 20/05/14	182,9	15802,6	100,8	0,6%
3	21/05/14 a 03/06/14	233,7	20195,4	201,6	1,0%
4	04/06/14 a 17/06/14	203,6	17593,6	302,4	1,7%
5	18/06/14 a 01/07/14	241,0	20824,3	403,2	1,9%
6	02/07/14 a 15/07/14	232,8	20110,6	504,0	2,5%
7	16/07/14 a 12/08/14	219,0	18917,4	604,8	3,2%

Fonte: O autor.

Observa-se que a relação entre o volume de lodo de ETA e o volume total afluente na ETE Verde variou de 0,0% para o primeiro período de escalonamento, correspondente a zero hora diária de lançamento contínuo do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos, até o valor de 3,2% para o último período de escalonamento, correspondente ao descarte contínuo de 24 horas diárias de lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos.

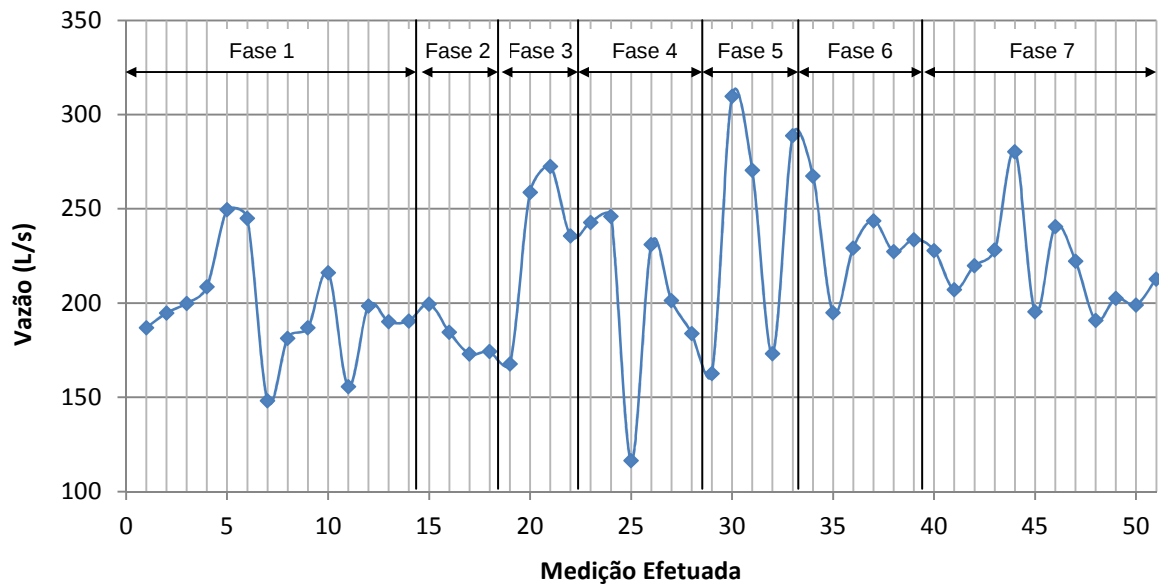
5.4 ACOMPANHAMENTO DA OPERAÇÃO DA ETE VERDE

Os resultados das análises das 51 amostras coletadas do afluente, do efluente dos reatores e do efluente da lagoa da ETE Verde entre os dias 10/03/14 e 11/08/14, para os dois atributos, DQO e SST, avaliados durante o período de acompanhamento da operação da ETE Verde, assim como os dados de vazão afluente à estação, estão apresentados no Apêndice 2.

5.4.1 VAZÃO AFLUENTE À ESTAÇÃO

Na Figura 21 são apresentados os valores correspondentes às 51 medições de vazão média diária afluente à ETE Verde, efetuadas no vertedor Parshall existente no canal de entrada da estação, entre os dias 10/03/14 e 12/08/14.

FIGURA 21 – Valores de vazão média diária afluyente à ETE Verde



Fonte: O autor.

Considerando-se a média dos valores encontrados nas respectivas medições efetuadas, o menor valor observado foi o da fase 2 (07/05/14 a 20/05/14), resultando em 182,9 L/s e o maior valor observado foi o da fase 5 (18/06/14 a 01/07/14), resultando em 241,0 L/s. Entretanto, os valores medidos nas sete fases estudadas não diferem estatisticamente entre si, quando se faz a comparação das médias com o teste de Tukey, ao nível de significância de 5% (Tabela 13).

TABELA 13 – Vazão média diária afluyente à ETE Verde durante as sete fases da pesquisa

Fase	Período	Vazão média diária afluyente à ETE (L/s)		Desvio padrão da amostra (L/s)	Coeficiente de variação (CV)	P-valor
1	10/03/14 a 06/05/14	196,6	a	28,0	14%	0,3970 a 0,9997
2	07/05/14 a 20/05/14	182,9	a	12,2	7%	0,2221 a 0,9936
3	21/05/14 a 03/06/14	233,7	a	46,6	20%	0,4332 a 1,0000
4	04/06/14 a 17/06/14	203,6	a	49,1	24%	0,6119 a 0,9997
5	18/06/14 a 01/07/14	241,0	a	68,2	28%	0,2221 a 0,9999
6	02/07/14 a 15/07/14	232,8	a	23,7	10%	0,3475 a 1,0000
7	16/07/14 a 12/08/14	219,0	a	24,5	11%	0,5996 a 0,9913

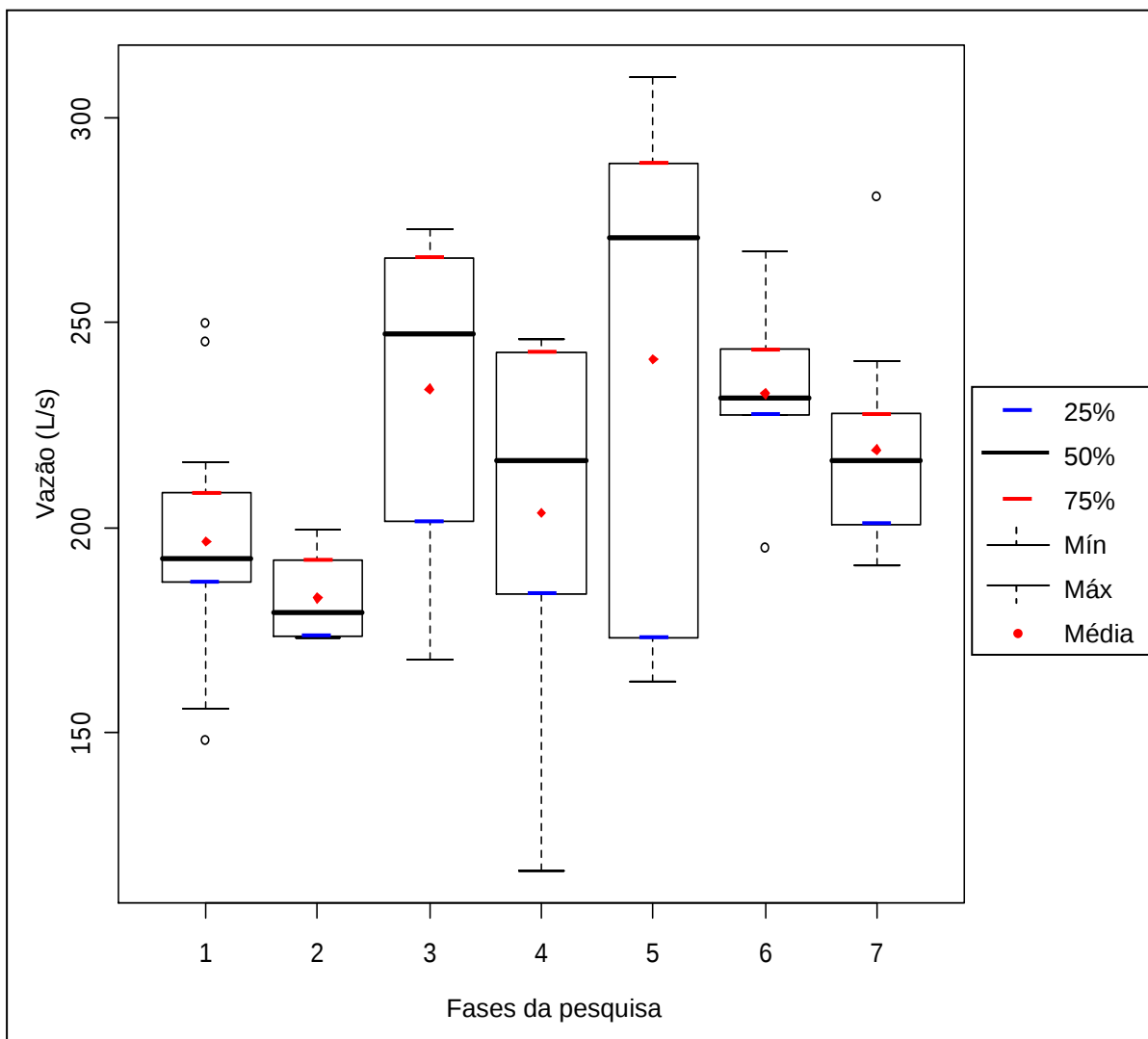
Fonte: O autor.

Notas: Letras minúsculas diferentes diferem pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. A coluna P-valor contém os intervalos de p-valor relativos à comparação com as outras fases.

Os resultados estatísticos do teste de Tukey de comparação entre as médias podem ser vistos no Apêndice 3. Os resultados dos testes F para as variâncias e dos testes T para as médias que diferem entre si podem ser vistos no Apêndice 4.

A variabilidade dos resultados de vazão média diária afluyente à ETE Verde, encontrados para cada uma das sete fases do cronograma da pesquisa, pode ser vista na Figura 22.

FIGURA 22 – Vazão média diária afluyente à ETE Verde



Fonte: O autor.

Notas: *Outliers* da fase 1: 148,24, 249,56 e 245,01; da fase 6: 194,91; da fase 7: 280,43.

Os dados de vazão média diária afluyente à ETE Verde apresentaram maior variação na fase 5, sendo o menor valor registrado no período de 162,70 L/s, ocorrido no dia 18/06/14, e o maior valor ficou em 309,70 L/s, ocorrido no dia 23/06/14. Já a menor variação nos dados de vazão média diária afluyente ocorreu na fase 2, com o menor valor registrado no período igual a 173,08 L/s, ocorrido no dia 14/05/14, e o maior valor ficou em 199,54 L/s, registrado no dia 07/05/14.

O lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos não produziu diferença significativa na vazão média diária afluyente à ETE Verde, sendo que, mesmo na fase 7, quando o descarte do lodo da ETA ocorreu durante 24 horas por dia, a vazão média diária afluyente à ETE não diferiu do valor encontrado na fase 1, quando a ETE Verde operou sem o descarte do lodo da ETA. A vazão média diária no período de estudo, compreendido pelas 7 fases, resultou no valor de 213,1 L/s, bastante próxima à vazão média anual registrada pela SANEPAR no período anterior ao da pesquisa, que era de 210 L/s.

Para as vazões médias encontradas, o TDH nos RALFs resultou em 8,8 horas para a maior vazão média diária (fase 5), correspondendo a uma CHV aplicada de 2,7 m³/m³/d, e, para a menor vazão média diária (fase 2), o TDH nos RALFs resultou em 11,5 horas, o que corresponde a uma CHV aplicada igual a 2,1 m³/m³/d. Para a lagoa de polimento, o TDH resultou em 4,0 dias para a maior vazão média diária (fase 5) e em 5,3 dias para a menor vazão média diária (fase 2). Os valores de TDH e CHV podem ser vistos na Tabela 14.

TABELA 14 – Valores de TDH nos RALFs e na lagoa e valores de CHV aplicada nos RALFs durante as sete fases da pesquisa

Fase	Período	RALFs		Lagoa
		TDH (h)	CHV (m ³ /m ³ /d)	TDH (d)
1	10/03/14 a 06/05/14	10,7	2,2	4,9
2	07/05/14 a 20/05/14	11,5	2,1	5,3
3	21/05/14 a 03/06/14	9,0	2,7	4,1
4	04/06/14 a 17/06/14	10,4	2,3	4,7
5	18/06/14 a 01/07/14	8,8	2,7	4,0
6	02/07/14 a 15/07/14	9,1	2,6	4,1
7	16/07/14 a 12/08/14	9,6	2,5	4,4

Fonte: O autor.

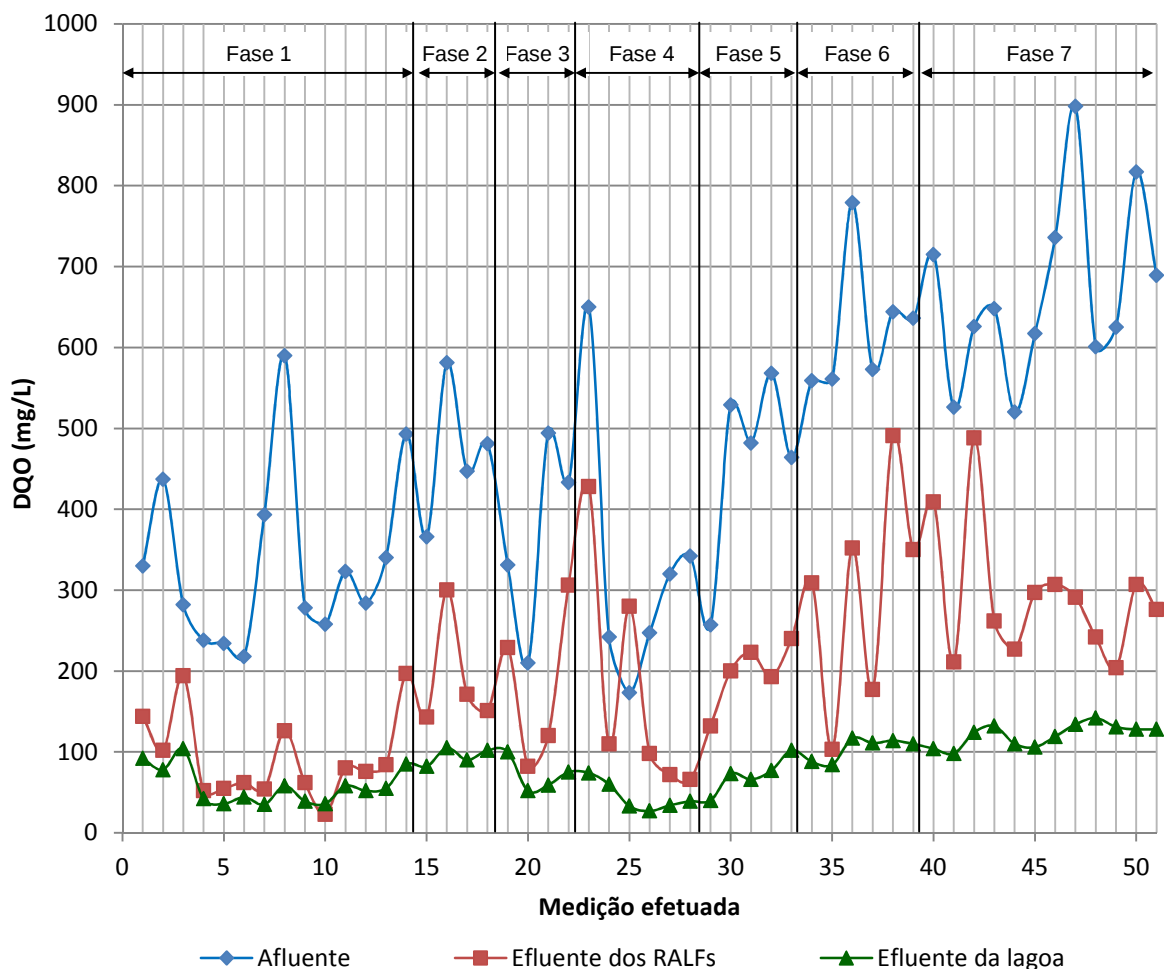
Chernicharo (2007) recomenda TDH superior a 7 horas e CHV aplicada inferior a 3,5 m³/m³/d para os reatores de manta de lodo tratando esgotos domésticos, considerando-se a vazão média de operação. Os valores obtidos para os RALFs da ETE Verde, correspondentes ao período da pesquisa, ficaram dentro dos valores recomendados, e bastante próximos aos valores registrados pela SANEPAR em período anterior ao da pesquisa, que era de 10,1 horas para o TDH e de 2,4 m³/m³/d para a CHV aplicada.

Para a lagoa de polimento, Jordão e Pessôa (2011) recomendam TDH entre 15 e 45 dias, considerando-se a vazão média de operação, para as regiões de inverno e insolação moderados. No período da pesquisa, a lagoa da ETE Verde operou fora da faixa de valores recomendados, mas com valor bem próximo ao registrado pela SANEPAR antes da pesquisa, que era de 5,0 dias.

5.4.2 ANÁLISES DE DQO

Os resultados das análises das amostras do afluente, do efluente dos reatores e do efluente da lagoa da ETE Verde, para o parâmetro DQO, relativos as 51 amostras coletadas entre os dias 10/03/14 e 12/08/14, encontram-se apresentados na Figura 23.

FIGURA 23 – Resultados das análises das amostras do afluente, do efluente dos reatores e do efluente da lagoa da ETE Verde, para o parâmetro DQO



Fonte: O autor.

Para a DQO afluente à ETE, o menor valor médio foi obtido na fase 4, com o valor de 329,0 mg/L, e o maior valor médio foi obtido na fase 7, com 668,2 mg/L. O coeficiente de variação dos dados apresentou valores entre 13% e 51% (Tabela 15).

TABELA 15 – DQO média afluente à ETE Verde durante as sete fases da pesquisa

Fase	Período	DQO média afluente à ETE (mg/L)		Desvio padrão (mg/L)	Coeficiente de variação (CV)	P-valor
1	10/03/14 a 06/05/14	335,6	c	108,1	32%	0,0000 a 1,0000
2	07/05/14 a 20/05/14	468,8	abc	89,0	19%	0,0657 a 1,0000
3	21/05/14 a 03/06/14	367,0	c	124,4	34%	0,0009 a 1,0000
4	04/06/14 a 17/06/14	329,0	c	168,5	51%	0,0000 a 1,0000
5	18/06/14 a 01/07/14	460,0	bc	120,6	26%	0,0245 a 1,0000
6	02/07/14 a 15/07/14	625,3	ab	84,1	13%	0,0001 a 0,9893
7	16/07/14 a 12/08/14	668,2	a	111,0	17%	0,0000 a 0,9893

Fonte: O autor.

Notas: Letras minúsculas diferentes diferem pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. A coluna P-valor contém os intervalos de p-valor relativos à comparação com as outras fases.

Entretanto, de acordo com a análise estatística realizada pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, a DQO média afluente à ETE não diferiu entre as fases 1 a 5. Assim sendo, foi observado que somente houve alteração significativa na DQO afluente à ETE Verde quando se teve um período de lançamento de 20 horas e de 24 horas contínuas de lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos (fases 6 e 7), porém este resultado não deve ser atribuído exclusivamente a este fato, já que é normal que ocorram variações na carga orgânica do próprio esgoto afluente à estação. Os resultados encontrados nas fases 2, 6 e 7 não diferiram entre si, quando comparados pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Para os períodos de 4 horas a 16 horas contínuas de lançamento de lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos (fases 2 a 5), a DQO afluente à ETE Verde não diferiu significativamente do valor encontrado no período em que a ETE recebeu apenas esgoto doméstico (fase 1).

A DQO média afluente à ETE Verde apresentou valores médios, no período da pesquisa, dentro da faixa de valores tidos como típicos para esgotos domésticos, compreendida entre 200 mg/L e 800 mg/L, segundo Jordão e Pessoa (2011), mesmo no período em que houve o lançamento simultâneo do lodo da ETA Actiflo®.

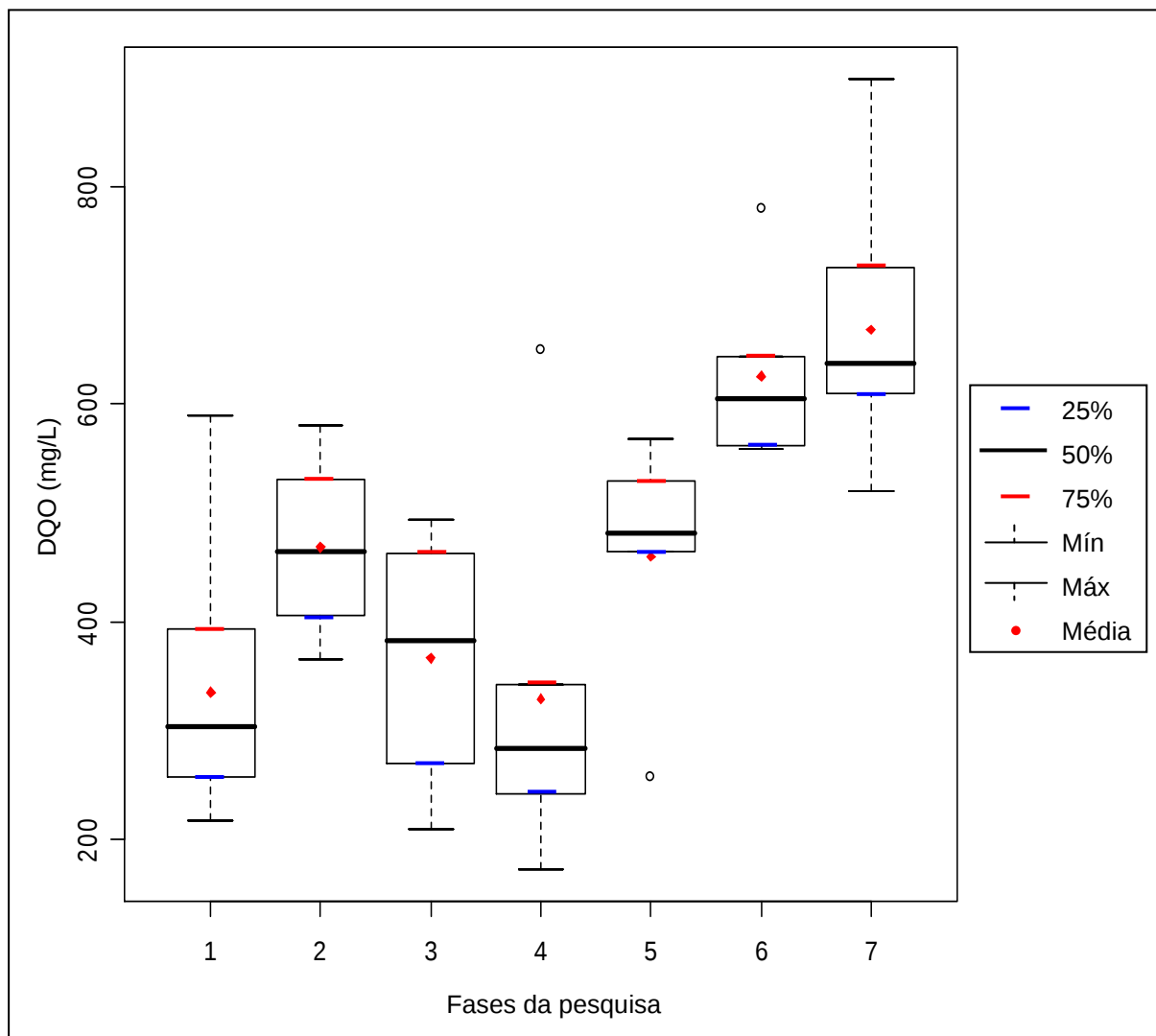
Carraro (2004) encontrou o valor de 371,6 mg/L para a DQO afluente à ETE Sul, em Londrina – PR, nos períodos em que a ETE estava recebendo o lodo da ETA Cafezal, situada no mesmo município. A ETE Sul é a maior estação de

tratamento de esgotos de Londrina e operou, na época da pesquisa, com uma vazão média de 367 L/s. A ETA Cafezal é uma ETA em ciclo completo e utilizava cloreto férrico como coagulante no período da pesquisa realizada por Carraro, operando com uma vazão média de 750 L/s.

Da Cruz (2013) pesquisou o acúmulo de lodo nas lagoas de estabilização do sistema de esgotamento sanitário do município de Ponta Grossa e, durante a sua pesquisa, também monitorou a remoção de DQO pelos RALFs da ETE Verde, tendo encontrado o valor de 529 mg/L para a DQO média afluyente à estação, valor que é superior ao valor encontrado para a fase 1 na presente pesquisa.

A variabilidade dos dados observados na DQO afluyente à ETE Verde pode ser vista na Figura 24.

FIGURA 24 – DQO afluyente à ETE Verde durante as sete fases da pesquisa



Fonte: O autor.

Notas: *Outliers* da fase 4: 650; da fase 5: 257; da fase 6: 779.

Quanto ao valor da DQO efluente dos RALFs, que também corresponde à DQO afluente à lagoa de polimento, os valores médios encontrados ficaram entre 93,6 mg/L para a fase 1 e 297,0 mg/L para a fase 6. O menor coeficiente de variação para este parâmetro foi observado na fase 5, com o valor de 21% e o maior valor observado foi o da fase 4, com um CV de 84% (Tabela 16).

A DQO média efluente dos RALFs apresentou valores mais uniformes entre as sete fases da pesquisa, quando comparados aos valores de DQO média afluente à estação (Tabela 15). Isto se deve ao fato de que os RALFs têm uma boa capacidade de absorver as pequenas variações na carga orgânica afluente durante o processo de digestão anaeróbia, quando estão operando dentro da faixa de vazão para o qual foram projetados, que é o caso dos reatores da ETE Verde.

TABELA 16 – DQO média efluente dos RALFs durante as sete fases da pesquisa

Fase	Período	DQO média efluente dos RALFs (mg/L)		Desvio padrão (mg/L)	Coeficiente de variação (CV)	P-valor
1	10/03/14 a 06/05/14	93,6	b	53,2	57%	0,0000 a 0,5909
2	07/05/14 a 20/05/14	191,3	ab	73,5	38%	0,4712 a 1,0000
3	21/05/14 a 03/06/14	184,3	ab	102,3	56%	0,3912 a 1,0000
4	04/06/14 a 17/06/14	175,7	ab	146,7	84%	0,1601 a 1,0000
5	18/06/14 a 01/07/14	197,6	ab	41,1	21%	0,3277 a 1,0000
6	02/07/14 a 15/07/14	297,0	a	138,3	47%	0,0001 a 1,0000
7	16/07/14 a 12/08/14	293,4	a	82,4	28%	0,0000 a 1,0000

Fonte: O autor.

Notas: Letras minúsculas diferentes diferem pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. A coluna P-valor contém os intervalos de p-valor relativos à comparação com as outras fases.

De acordo com os dados apresentados, observa-se que, estatisticamente, o valor da DQO média efluente dos RALFs não diferiu entre as fases 1 a 5, ou seja, foi observado que o lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos produziu alterações significativas na DQO média efluente dos reatores somente para os períodos de lançamento de 20 horas e de 24 horas contínuas (fases 6 e 7).

Para os períodos de 4 horas a 16 horas contínuas de lançamento de lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos (fases 2 a 5), a DQO efluente dos RALFs não diferiu significativamente do valor encontrado no período em que a ETE recebeu apenas esgoto doméstico (fase 1), semelhantemente ao que já havia ocorrido com a DQO média afluente à ETE.

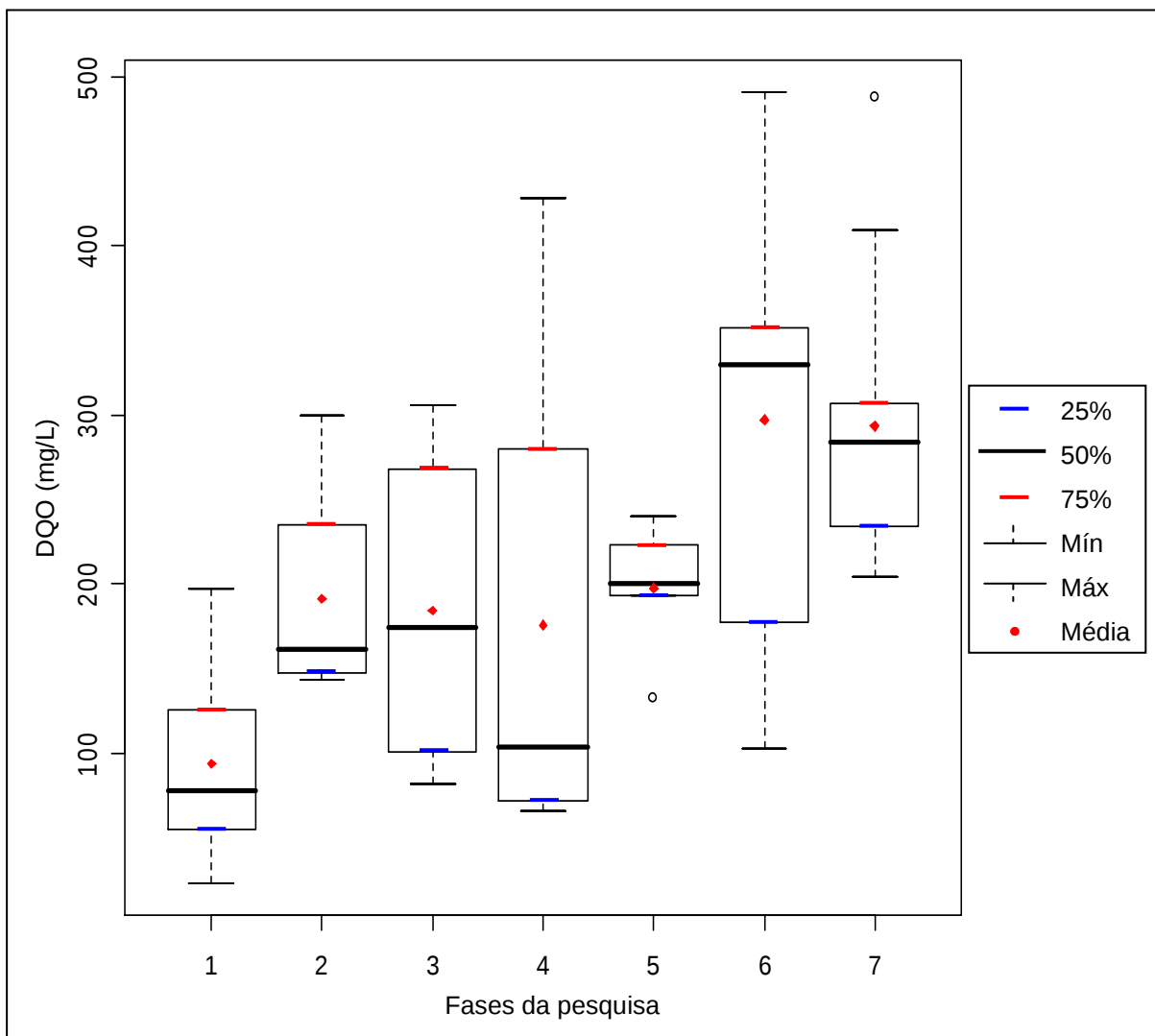
Já quanto as fases 6 e 7, os resultados encontrados para a DQO média efluente dos RALFs, nestas duas fases, foram superiores ao resultado encontrado

para a DQO média efluente dos reatores na fases 1, quando comparados pelo teste T, ao nível de significância de 5%.

Foi possível observar ainda que o valor da DQO média efluente dos RALFs não diferiu, do ponto de vista estatístico, entre as fases 2 a 7, ou seja, o resultado médio encontrado para este parâmetro não apresentou diferenças significativas entre si, quando o lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos foi mantido durante 4, 8, 12, 16, 20 ou 24 horas contínuas.

A variabilidade dos dados observados nas 51 amostras coletadas para a DQO efluente dos RALFs está apresentada na Figura 25.

FIGURA 25 – DQO efluente dos RALFs durante as sete fases da pesquisa



Fonte: O autor.

Notas: *Outliers* da fase 5: 132; da fase 7: 488.

Da Cruz (2013) havia encontrado o resultado de 115 mg/L para a DQO média efluente dos RALFs, valor que é ligeiramente superior ao encontrado na presente pesquisa para a fase 1. Salienta-se, porém, que na época da sua pesquisa, a ETE Verde possuía apenas três RALFs em operação, sendo que a quarta unidade ainda não estava concluída.

Considerando-se os dados obtidos para a vazão média (Tabela 13, p. 67) e os dados de DQO média afluente aos RALFs (Tabela 15, p. 71) e afluente à lagoa (Tabela 16), foram calculados os valores de COV média aplicada nos RALFs e os valores de TAS e COV média aplicada na lagoa de polimento.

A COV média aplicada nos RALFs resultou entre 0,75 kgDQO/m³/d para a fase 1, e 1,66 kgDQO/m³/d para a fase 7. Quanto a lagoa de polimento, a TAS resultou entre 765 kgDQO/ha/d para a fase 1 e 2872 kgDQO/ha/d para a fase 6, enquanto que a COV aplicada ficou entre os valores de 19 gDQO/m³/d para a fase 1 e 72 gDQO/m³/d para a fase 6 (Tabela 17).

TABELA 17 – Valores de COV aplicada nos RALFs e valores de TAS e COV aplicadas na lagoa durante as sete fases da pesquisa

Fase	Período	RALFs	Lagoa de polimento	
		COV (kgDQO/m ³ /d)	TAS (kgDQO/ha/d)	COV (gDQO/m ³ /d)
1	10/03/14 a 06/05/14	0,75	765	19
2	07/05/14 a 20/05/14	0,97	1453	36
3	21/05/14 a 03/06/14	0,98	1789	45
4	04/06/14 a 17/06/14	0,76	1486	37
5	18/06/14 a 01/07/14	1,26	1978	49
6	02/07/14 a 15/07/14	1,65	2872	72
7	16/07/14 a 12/08/14	1,66	2669	67

Fonte: O autor.

Segundo Chernicharo (2007), o valor típico de COV aplicada encontrado em reatores de manta de lodo tratando esgotos domésticos é inferior a 3,5 kgDQO/m³/d. Para os RALFs da ETE Verde, os valores apresentados ficaram dentro da faixa de valores típicos, para todas as sete fases da pesquisa. Em período anterior ao da pesquisa, a SANEPAR já havia registrado o valor de 0,76 kgDQO/m³/d para a COV aplicada nos reatores da ETE Verde, coincidente com o valor encontrado durante a pesquisa para a fase 4.

Na pesquisa realizada por Carraro (2004), foi encontrado para a COV aplicada no RALF monitorado da ETE Sul, o valor médio de 0,60 kgDQO/m³/d, nos

períodos em que a ETE recebeu o lodo da ETA Cafezal, em Londrina – PR. É importante salientar que na ETE Sul, o esgoto passa primeiro por um decantador primário, o qual remove parte da carga orgânica aplicada, antes de o efluente ser encaminhado ao RALF. Para os períodos em que houve lançamento do lodo de ETA, a DQO média afluente e efluente do decantador primário apresentaram valores respectivamente iguais a 371,6 mg/L e 232,9 mg/L.

Quanto a lagoa de polimento, a faixa de valores recomendados para a TAS é de 120 a 240 kgDBO/ha/d para regiões de inverno e insolação moderados, o que corresponde ao valor de 240 a 480 kgDQO/ha/d, quando considerada uma relação DQO/DBO de 2:1 (Jordão e Pessôa, 2011). Mesmo antes do período da pesquisa, a lagoa da ETE Verde já vinha operando com valor de TAS acima da faixa recomendada, situação que foi mantida durante as sete fases pesquisadas.

Da Cruz (2013) pesquisou o acúmulo de lodo nas lagoas de estabilização do sistema de esgotamento sanitário do município de Ponta Grossa, e havia encontrado os valores de 884 kgDQO/ha/d para a TAS e de 14 gDQO/m³/d para a COV aplicada na lagoa de polimento da ETE Verde, segundo dados levantados à época em que a pesquisa foi efetuada. Estes valores são bastante próximos dos valores encontrados nesta pesquisa para a fase 1 (sem lançamento do lodo da ETA), com os valores de 765 kgDQO/ha/d para a TAS e de 19 gDQO/m³/d para a COV aplicada.

Para a DQO média efluente da lagoa, os valores encontrados nas sete fases da pesquisa podem ser visualizados na Tabela 18. Os valores médios ficaram entre 44,5 mg/L, resultado encontrado na fase 4, e 121,3 mg/L, resultado apresentado na fase 7. Os coeficientes de variação apresentaram resultados entre 11% (fase 2 e 7) e 41% (fase 4).

TABELA 18 – DQO média efluente da lagoa durante as sete fases da pesquisa

Fase	Período	DQO média efluente da lagoa (mg/L)		Desvio padrão (mg/L)	Coeficiente de variação (CV)	P-valor
1	10/03/14 a 06/05/14	58,1	c	22,8	39%	0,0000 a 0,8636
2	07/05/14 a 20/05/14	94,8	ab	10,7	11%	0,0024 a 0,9867
3	21/05/14 a 03/06/14	71,5	bc	21,3	30%	0,0006 a 1,0000
4	04/06/14 a 17/06/14	44,5	c	18,4	41%	0,0000 a 0,7423
5	18/06/14 a 01/07/14	71,6	bc	22,3	31%	0,0002 a 1,0000
6	02/07/14 a 15/07/14	104,0	ab	14,2	14%	0,0000 a 0,9867
7	16/07/14 a 12/08/14	121,3	a	13,8	11%	0,0000 a 0,5152

Fonte: O autor.

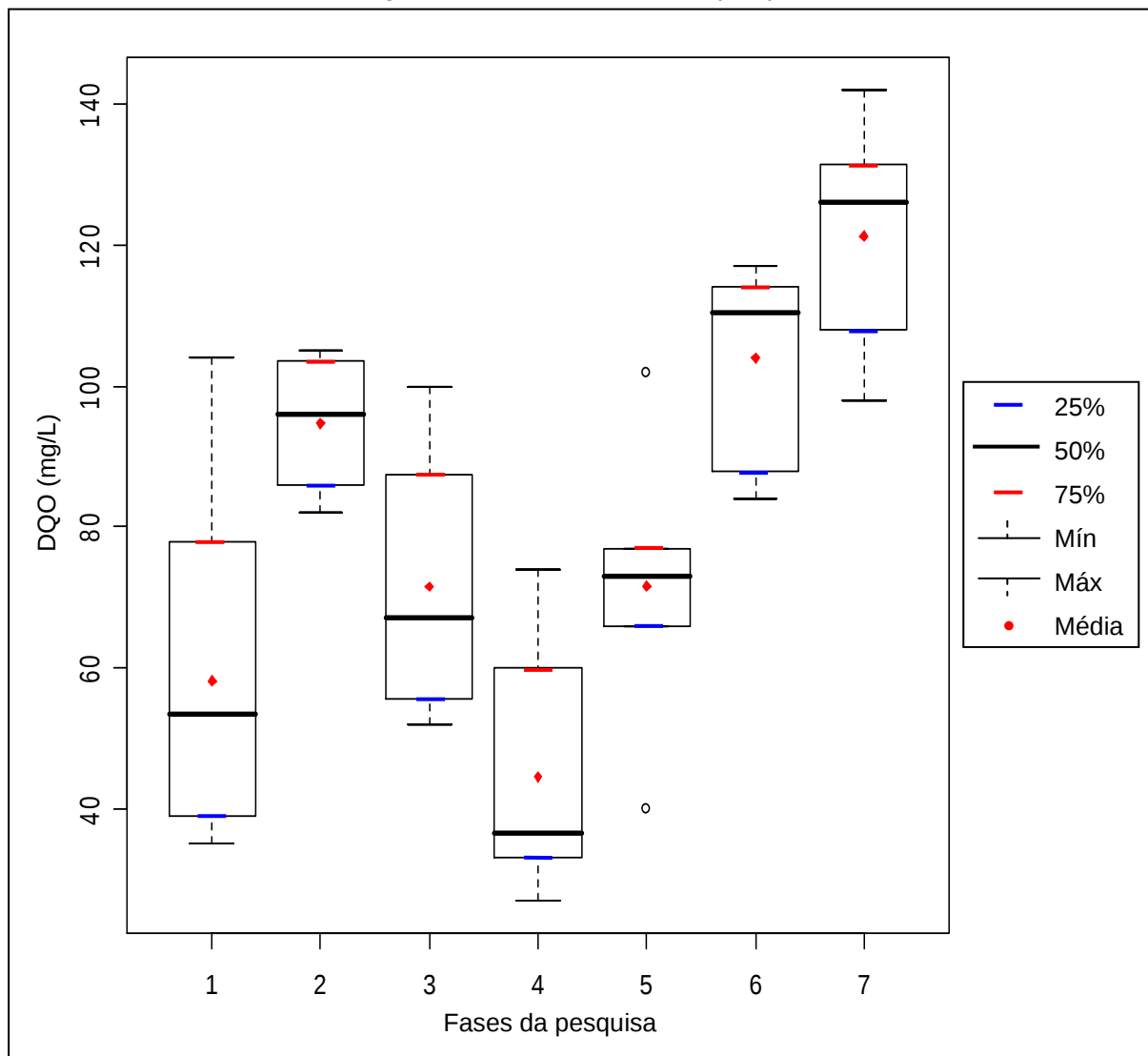
Notas: Letras minúsculas diferentes diferem pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. A coluna P-valor contém os intervalos de p-valor relativos à comparação com as outras fases.

As fases 3, 4 e 5 apresentaram resultados para a DQO média efluente da lagoa que não diferem estatisticamente do resultado encontrado na fase 1. Já as fases 2, 6 e 7 apresentaram resultados superiores ao da fase 1 para a DQO efluente da lagoa, quando comparados pelo teste T, ao nível de significância de 5%.

Da Cruz (2013) encontrou o valor de 94 mg/L para a DQO média efluente da lagoa de polimento da ETE Verde durante o seu período de estudo, valor que mais se aproxima do resultado encontrado para a fase 2, na presente pesquisa.

A variabilidade dos dados observados nas 51 amostras coletadas para a DQO efluente da lagoa está apresentada na Figura 26.

FIGURA 26 – DQO efluente da lagoa durante as sete fases da pesquisa



Fonte: O autor.

Notas: *Outliers* da fase 5: 40 e 102.

Em todas as sete fases da pesquisa, o efluente final da ETE Verde apresentou valores médios de DQO abaixo do limite de 125 mg/L, estabelecido pelo órgão ambiental regulador do estado do Paraná na portaria de outorga de lançamento de efluentes. Porém, foram observados valores individuais acima deste limite em 6 das 12 amostras da fase 7 (dias 23/07/14, 01/08/14, 04/08/14, 06/08/14, 08/08/14 e 11/08/14), com um pico de 142 mg/L, registrado no dia 04/08/14.

5.4.3 EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE DQO

Com os dados da DQO afluente da estação e da DQO efluente dos RALFs calculou-se a eficiência na remoção da DQO pelos reatores da ETE Verde para cada uma das 51 amostras coletadas, cujos valores médios para cada uma das sete fases da pesquisa estão apresentados na Tabela 19.

TABELA 19 – Eficiência média na remoção de DQO pelos RALFs durante as sete fases da pesquisa

Fase	Período	Eficiência média na remoção de DQO (%)		Desvio padrão (%)	Coeficiente de variação (CV)	P-valor
1	10/03/14 a 06/05/14	72	a	15	20%	0,0972 a 0,9641
2	07/05/14 a 20/05/14	60	a	8	14%	0,8498 a 1,0000
3	21/05/14 a 03/06/14	49	a	23	47%	0,5749 a 1,0000
4	04/06/14 a 17/06/14	41	a	53	130%	0,0972 a 0,9974
5	18/06/14 a 01/07/14	56	a	8	14%	0,8142 a 1,0000
6	02/07/14 a 15/07/14	53	a	20	38%	0,6209 a 1,0000
7	16/07/14 a 12/08/14	56	a	12	22%	0,5370 a 1,0000

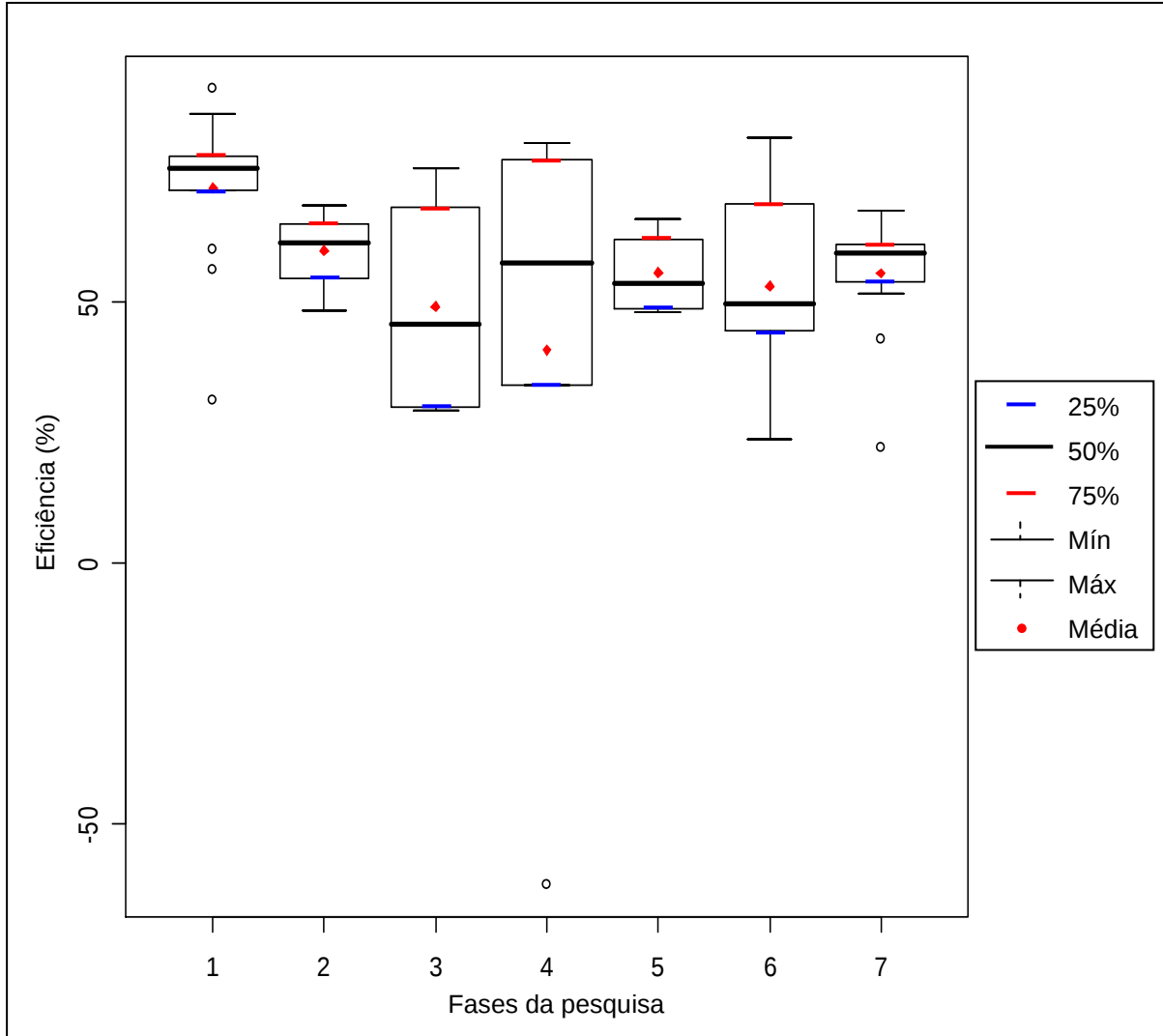
Fonte: O autor.

Notas: Letras minúsculas diferentes diferem pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. A coluna P-valor contém os intervalos de p-valor relativos à comparação com as outras fases.

A eficiência média na remoção de DQO pelos RALFs apresentou valores entre 41%, resultado encontrado na fase 4, e 72%, correspondente à fase 1. Porém, ao se realizar a análise estatística pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, observou-se que os resultados das sete fases da pesquisa não diferem estatisticamente entre si. Isto significa que, mesmo com o lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos, em períodos crescentes, não houve diferença significativa entre os resultados encontrados para a eficiência média na remoção de DQO pelos RALFs, mesmo quando se compara o período em que houve lançamento contínuo do lodo da ETA durante 24 horas por dia (fase 7), com o período em que não houve lançamento (fase 1).

A variabilidade dos resultados obtidos para as 51 amostras coletadas, relativos à eficiência na remoção de DQO pelos RALFs, pode ser vista na Figura 27.

FIGURA 27 – Eficiência na remoção de DQO pelos RALFs durante as sete fases da pesquisa



Fonte: O autor.

Notas: *Outliers* da fase 1: 31%, 56%, 60% e 92%; da fase 4: -62%; da fase 7: 22% e 43%.

Os resultados encontrados nas sete fases da pesquisa para a eficiência na remoção de DQO pelos RALFs ficaram dentro da faixa de valores reportada na literatura como característicos para reatores de manta de lodo tratando esgotos domésticos. Jordão e Pessoa (2011) reportam remoções de DQO para estes tipos de reatores na faixa de 40% a 75% e Chernicharo (2007) relata a faixa de 40% a 80%, tidos como valores típicos para a eficiência na remoção de DQO.

Na pesquisa realizada por Carraro (2004) na ETE Sul, em Londrina – PR, observou-se o valor médio de 63% para a eficiência de remoção de DQO pelo RALF

monitorado, durante os períodos de recebimento do lodo da ETA Cafezal. Observa-se, porém, que nesta ETE, o esgoto passa primeiro por um decantador primário antes de o efluente ser encaminhado ao RALF. Este valor é bastante próximo ao resultado encontrado na fase 2, nesta pesquisa, para a eficiência na remoção de DQO pelos RALFs da ETE Verde. Assim como nesta pesquisa, Carraro também concluiu que o lançamento do lodo da ETA Cafezal na ETE Sul não interferiu na capacidade de remoção de DQO pelo RALF, quando comparado ao resultado observado no período em que a ETE recebeu apenas esgoto doméstico, tendo encontrado o valor de 67% de remoção de DQO neste período.

Da Cruz (2013) chegou a um resultado médio de 78% para a eficiência na remoção de DQO pelos RALFs da ETE Verde durante o seu período de estudo, valor que se aproxima mais do resultado encontrado para a fase 1, em que não houve lançamento de lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos contribuinte à ETE Verde, na presente pesquisa.

Com os dados da DQO média efluente dos RALFs (afluente da lagoa) e a DQO efluente da lagoa, calculou-se a eficiência na remoção da DQO pela lagoa da ETE Verde para cada uma das 51 amostras coletadas, cujos valores médios para cada uma das sete fases da pesquisa estão apresentados na Tabela 20.

TABELA 20 – Eficiência média na remoção de DQO pela lagoa durante as sete fases da pesquisa

Fase	Período	Eficiência média na remoção de DQO (%)		Desvio padrão (%)	Coeficiente de variação (CV)	P-valor
1	10/03/14 a 06/05/14	29	b	27	92%	0,0132 a 0,6939
2	07/05/14 a 20/05/14	47	ab	14	29%	0,6939 a 0,9973
3	21/05/14 a 03/06/14	55	ab	16	29%	0,2697 a 1,0000
4	04/06/14 a 17/06/14	64	a	20	31%	0,0132 a 1,0000
5	18/06/14 a 01/07/14	64	a	6	9%	0,0216 a 1,0000
6	02/07/14 a 15/07/14	57	ab	23	41%	0,0882 a 1,0000
7	16/07/14 a 12/08/14	56	a	12	21%	0,0190 a 1,0000

Fonte: O autor.

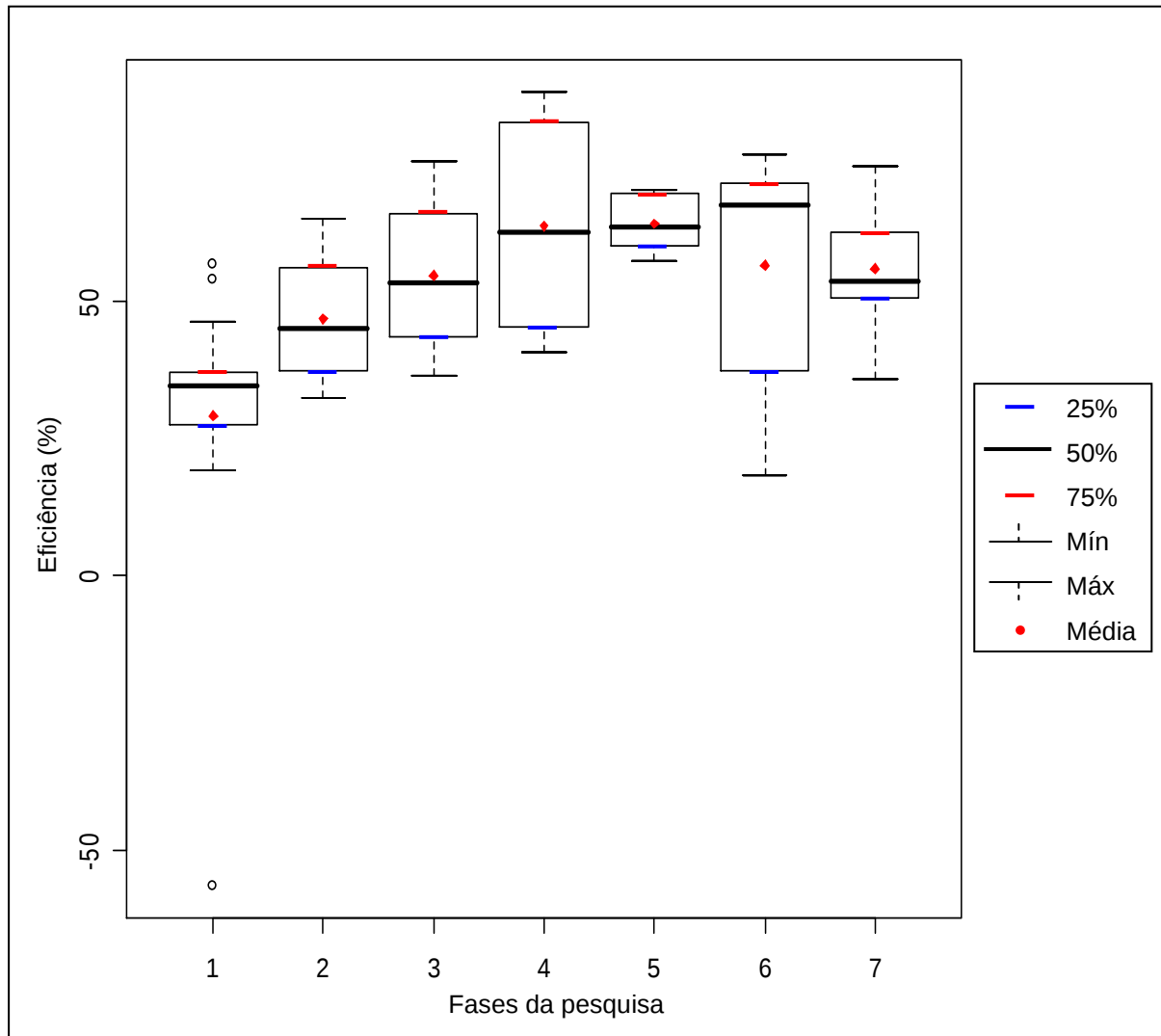
Notas: Letras minúsculas diferentes diferem pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. A coluna P-valor contém os intervalos de p-valor relativos à comparação com as outras fases.

A eficiência média na remoção de DQO pela lagoa apresentou resultados entre 29%, relativo à fase 1, e 64%, correspondente às fases 4 e 5. Estatisticamente, os resultados apresentados nas fases 2 a 7 não diferiram entre si quando comparados pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. O mesmo ocorre

com os resultados das fases 1, 2, 3 e 6. A eficiência na remoção de DQO pela lagoa foi maior nas fases 4, 5 e 7, quando comparadas com a fase 1, pelo teste T ao nível de significância de 5%. Assim sendo, observou-se que o lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos não diminuiu a eficiência na remoção de DQO pela lagoa da ETE Verde durante o período da pesquisa.

A variabilidade dos resultados obtidos para as 51 amostras coletadas, relativos à eficiência na remoção de DQO pela lagoa, pode ser vista na Figura 28.

FIGURA 28 – Eficiência na remoção de DQO pela lagoa durante as sete fases da pesquisa



Fonte: O autor.

Notas: *Outliers* da fase 1: -57%, 54% e 57%.

Jordão e Pessoa (2011) reportam uma faixa entre 65% a 80% para a eficiência típica na remoção de DQO em sistemas de tratamento providos exclusivamente por lagoas facultativas. Para lagoas de polimento que seguem o

tratamento efetuado por reatores anaeróbios, a eficiência na remoção de DQO pela lagoa cai um pouco, já que a maior parte da carga orgânica é removida nos reatores.

Da Cruz (2013) havia encontrado o resultado médio de 18% para a eficiência na remoção de DQO pela lagoa da ETE Verde durante o seu período de estudo, valor inferior aos resultados encontrados em todas as fases da presente pesquisa.

Com os valores de DQO média afluyente e efluente à estação, calculou-se a eficiência global na remoção de DQO pela ETE Verde, a qual apresentou valores entre 80% (fase 2) e 86% (fase 4), conforme apresentado na Tabela 21.

TABELA 21 – Remoção média de DQO na ETE Verde para as sete fases da pesquisa

Fase	Período	DQO média afluente à ETE (mg/L)	DQO média efluente dos RALFs (mg/L)	DQO média efluente da ETE (mg/L)	Remoção de DQO global da ETE (%)
1	10/03/14 a 06/05/14	335,6	93,6	58,1	83%
2	07/05/14 a 20/05/14	468,8	191,3	94,8	80%
3	21/05/14 a 03/06/14	367,0	184,3	71,5	81%
4	04/06/14 a 17/06/14	329,0	175,7	44,5	86%
5	18/06/14 a 01/07/14	460,0	197,6	71,6	84%
6	02/07/14 a 15/07/14	625,3	297,0	104,0	83%
7	16/07/14 a 12/08/14	668,2	293,4	121,3	82%

Fonte: O autor.

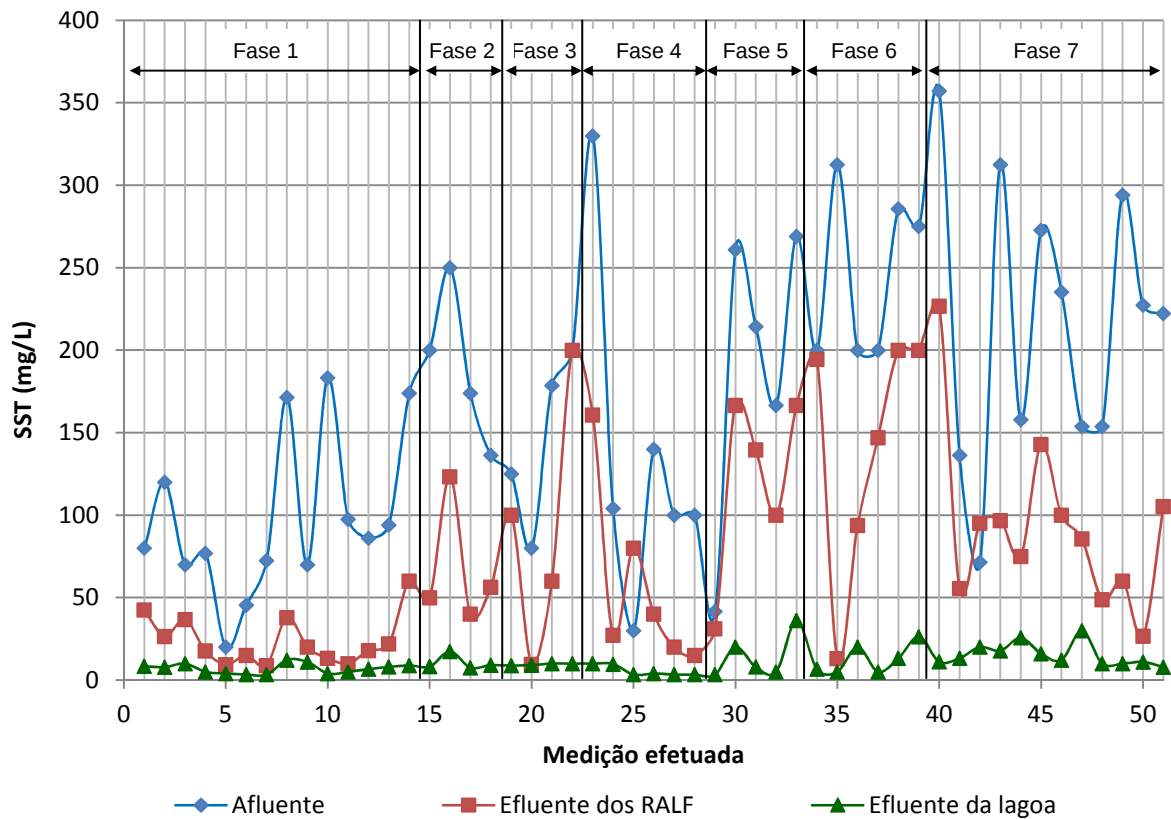
Para a eficiência global na remoção de DQO pela ETE Verde, Da Cruz (2013) encontrou o valor médio de 83% durante o seu estudo, valor que coincide com o resultado encontrado para as fases 1 e 6 na presente pesquisa.

5.4.4 ANÁLISES DE SST

Os resultados das análises das amostras do afluyente, do efluente dos reatores e do efluente da lagoa da ETE Verde, para o parâmetro SST, relativos as 51 amostras coletadas entre os dias 10/03/14 e 12/08/14, encontram-se apresentados na Figura 29.

Os valores de SST medidos nas amostras do afluyente à ETE Verde apresentaram resultados médios entre 97,2 mg/L, obtido na fase 1, e 245,5 mg/L, verificado na fase 7. O menor CV obtido para este parâmetro foi observado na fase 6, com o valor de 21%, e o maior valor observado foi o da fase 4, com o valor de 76% (Tabela 22).

FIGURA 29 – Resultados das análises das amostras do afluente, do efluente dos reatores e do efluente da lagoa da ETE Verde, para o parâmetro SST



Fonte: O autor.

De acordo com Jordão e Pessoa (2011), o esgoto pode ser classificado como fraco, médio ou forte, em função das suas características. Os resultados encontrados para o valor de SST para as fases 1, 3 e 4 caracterizam o afluente da ETE Verde como um “esgoto fraco”. Já para as fases 2, 5, 6 e 7, os resultados encontrados para SST enquadram o afluente como um “esgoto médio”.

TABELA 22 – SST médio afluente à ETE Verde durante as sete fases da pesquisa

Fase	Período	SST médio afluente à ETE (mg/L)		Desvio padrão (mg/L)	Coefficiente de variação (CV)	P-valor
1	10/03/14 a 06/05/14	97,2	b	48,8	50%	0,0020 a 0,9370
2	07/05/14 a 20/05/14	190,1	ab	47,7	25%	0,2692 a 1,0000
3	21/05/14 a 03/06/14	145,9	ab	54,1	37%	0,3356 a 1,0000
4	04/06/14 a 17/06/14	134,0	ab	102,4	76%	0,1205 a 1,0000
5	18/06/14 a 01/07/14	190,5	ab	92,7	49%	0,1809 a 1,0000
6	02/07/14 a 15/07/14	245,5	a	51,4	21%	0,0019 a 0,9932
7	16/07/14 a 12/08/14	216,2	a	83,9	39%	0,0020 a 0,9952

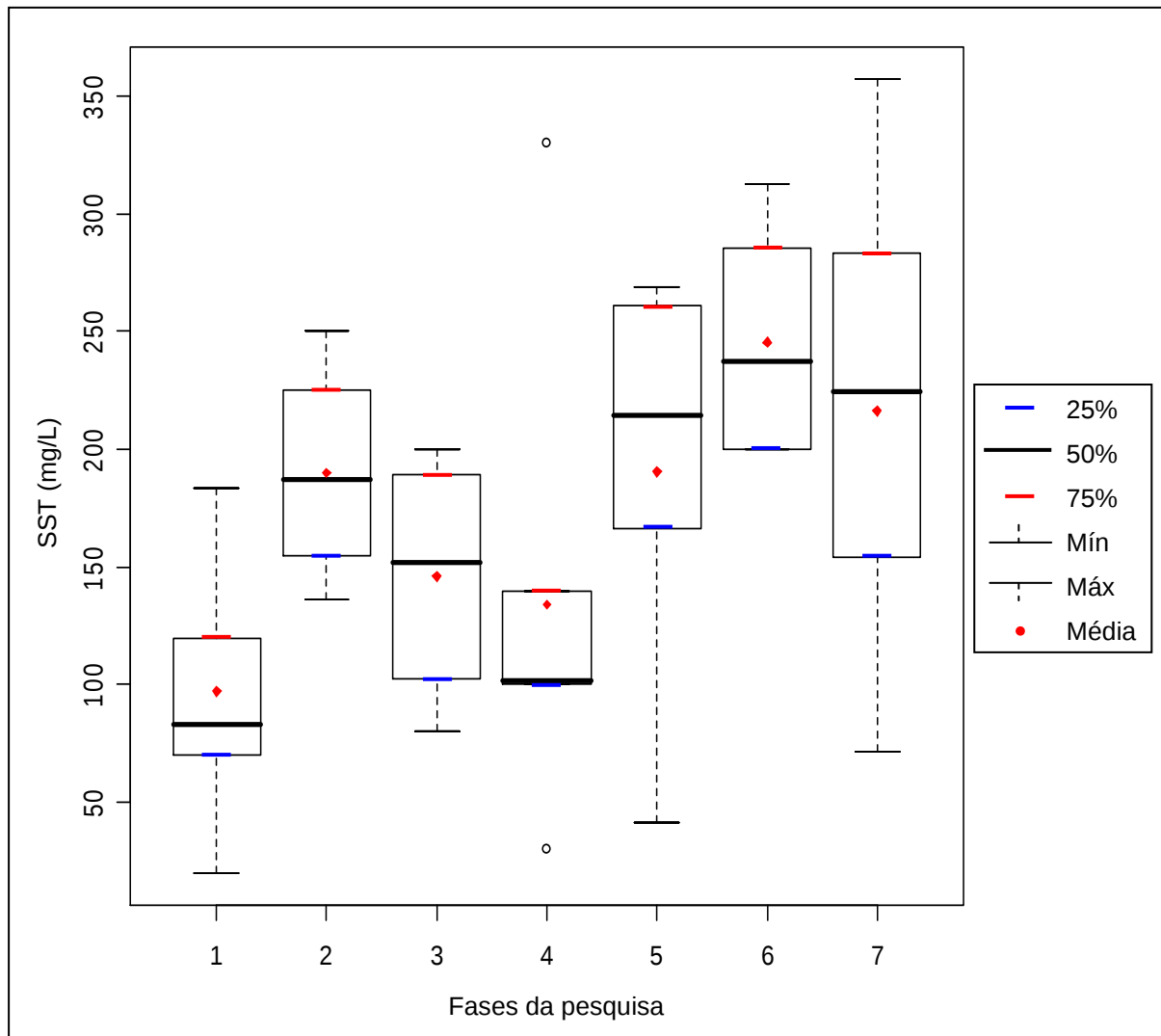
Fonte: O autor.

Notas: Letras minúsculas diferentes diferem pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. A coluna P-valor contém os intervalos de p-valor relativos à comparação com as outras fases.

As fases 1 a 5 apresentaram resultados médios de SST afluente à ETE Verde que não diferiram estatisticamente entre si, quando comparados pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. O mesmo ocorre com os resultados obtidos nas fases 2 a 7. Assim sendo, foi observado que o lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos não produziu alterações significativas no valor de SST afluente à estação para os períodos de 4 a 16 horas contínuas de lançamento (fases 2 a 5), quando comparados com o período em que a ETE Verde operou apenas com esgoto doméstico (fase 1).

A variabilidade dos resultados obtidos para as 51 amostras coletadas no afluente da ETE Verde, relativos aos valores de SST, pode ser vista na Figura 30.

FIGURA 30 – SST afluente à ETE Verde durante as sete fases da pesquisa



Fonte: O autor.

Notas: *Outliers* da fase 4: 30 e 330.

Embora os resultados médios de SST afluyente à ETE Verde não tenham diferido estatisticamente entre si para as fases 2 a 7, observou-se que as fases 6 e 7 apresentaram valores de SST afluyente superiores à fase 1, quando comparados pelo teste T, ao nível de significância de 5%. Portanto, para lançamentos de lodo de ETA com períodos de 20 e 24 horas (fases 6 e 7), os valores médios de SST afluyente à ETE Verde foram maiores que o resultado encontrado para o período em que a ETE operou recebendo apenas esgoto doméstico (fase 1).

Rosario (2007) caracterizou o esgoto proveniente do Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo (CRUSP) através de sete coletas simples realizadas entre maio e junho de 2005. Este esgoto foi utilizado como afluyente aos dois reatores UASB, operando em escala piloto, utilizados em sua pesquisa. Os valores encontrados para o parâmetro SST ficaram entre 189 mg/L e 415 mg/L. O primeiro valor é bastante próximo do encontrado nesta pesquisa para as fases 2 e 5. De acordo com Jordão e Pessôa (2011), o esgoto utilizado na pesquisa de Rosario seria classificado como um esgoto médio a forte.

Quanto ao valor de SST encontrado no efluente dos RALFs da ETE Verde, os resultados obtidos em cada uma das sete fases da pesquisa, para o valor médio das amostras analisadas, encontram-se apresentados na Tabela 23. O menor valor foi encontrado na fase 1, cujo resultado médio foi de 24,2 mg/L, e o maior resultado médio foi o da fase 6, com 141,4 mg/L. O coeficiente de variação apresentou resultados entre 47% (fase 5) e 98% (fase 4).

TABELA 23 – SST médio efluente dos RALFs durante as sete fases da pesquisa

Fase	Período	SST médio efluente dos RALFs (mg/L)		Desvio padrão (mg/L)	Coeficiente de variação (CV)	P-valor
1	10/03/14 a 06/05/14	24,2	b	15,0	62%	0,0004 a 0,8337
2	07/05/14 a 20/05/14	67,4	ab	37,9	56%	0,2883 a 0,9999
3	21/05/14 a 03/06/14	92,4	ab	80,7	87%	0,2368 a 1,0000
4	04/06/14 a 17/06/14	57,2	ab	55,9	98%	0,0839 a 0,9999
5	18/06/14 a 01/07/14	120,8	a	57,1	47%	0,0114 a 0,9936
6	02/07/14 a 15/07/14	141,4	a	75,4	53%	0,0004 a 0,9936
7	16/07/14 a 12/08/14	93,2	a	52,0	56%	0,0196 a 1,0000

Fonte: O autor.

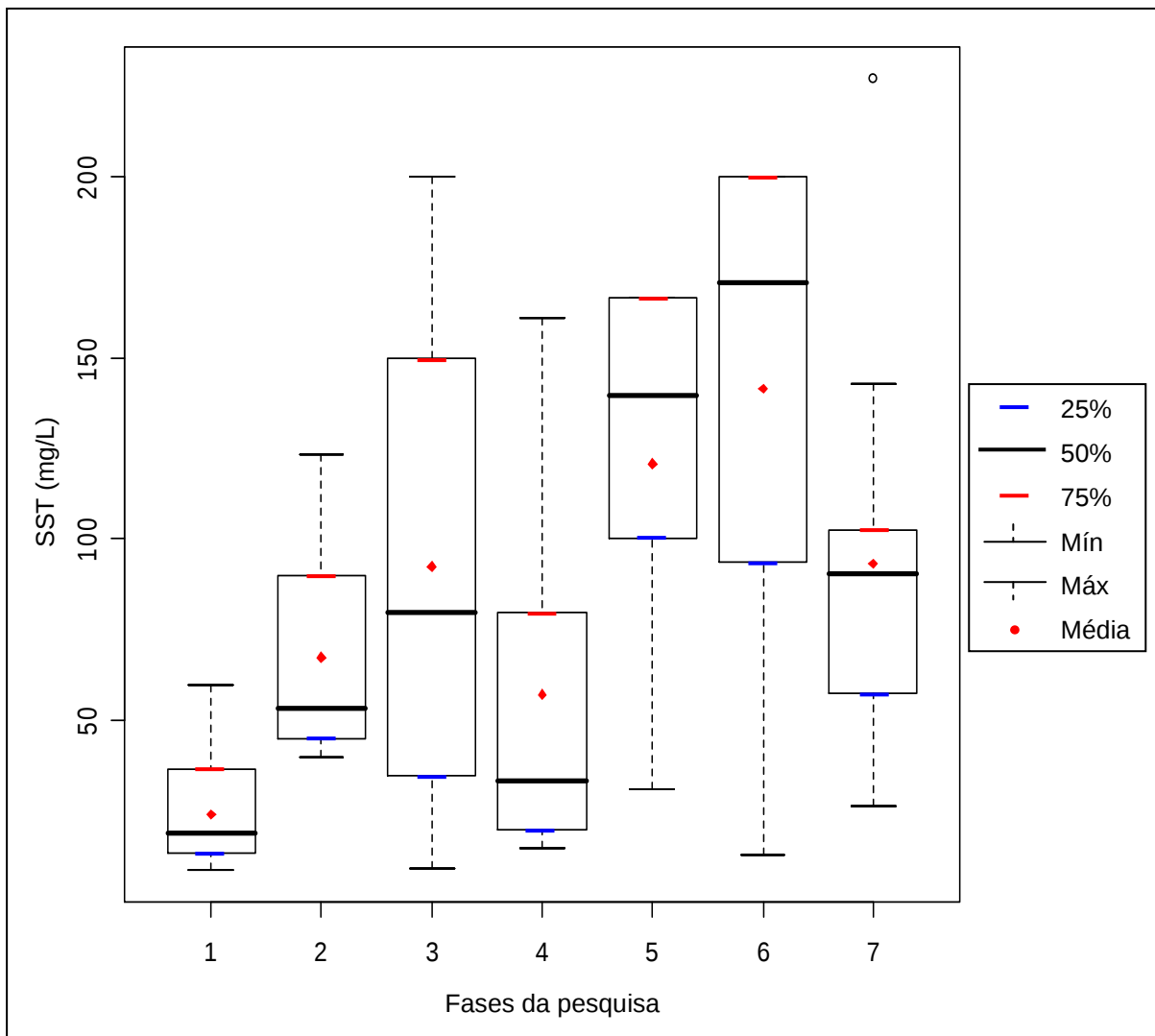
Notas: Letras minúsculas diferentes diferem pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. A coluna P-valor contém os intervalos de p-valor relativos à comparação com as outras fases.

Ao se comparar os resultados encontrados pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%, observou-se que as fases 1 a 4 apresentaram valores médios

que não diferem entre si. Da mesma forma, os resultados médios encontrados para o valor de SST no efluente dos RALFs não diferiram entre si nas fases 2 a 7. Já as fases 5 a 7, apresentaram valores superiores ao valor encontrado na fase 1, quando comparados pelo teste T ao nível de significância de 5%, para o parâmetro SST medido no efluente dos RALFs da ETE Verde.

Desta forma, observou-se que o lançamento o lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos não produziu alterações significativas no valor de SST medido no efluente dos RALFs da ETE Verde para os períodos de 4 a 12 horas contínuas de lançamento (fases 2 a 4), quando comparados com o período em que a ETE Verde operou apenas com esgoto doméstico (fase 1). A Figura 31 mostra a variabilidade dos resultados obtidos para as 51 amostras quanto ao parâmetro SST.

FIGURA 31 – SST efluente dos RALFs durante as sete fases da pesquisa



Fonte: O autor.

Notas: Outliers da fase 7: 226,67.

De acordo com Chernicharo (2007), o tempo de detenção hidráulica e a frequência de descarte do lodo são alguns dos fatores que interferem na concentração de sólidos suspensos no efluente dos reatores de manta de lodo, sendo que o valor típico para a valor de SST varia na faixa de 40 a 140 mg/L. Para o efluente dos RALFs da ETE Verde, observou-se que os valores médios encontrados para o parâmetro SST ficaram dentro da faixa de valores típicos em todas as sete fases da pesquisa, com exceção da fase 1 cujo valor ficou abaixo da faixa típica.

Para os valores de SST medidos nas amostras do efluente da lagoa da ETE Verde, os resultados médios encontrados ficaram entre 5,7 mg/L, obtido na fase 4, e 15,4 mg/L, verificado na fase 7. O menor CV obtido para este parâmetro foi observado na fase 3, com o valor de 7%, e o maior valor observado foi o da fase 5, com o valor de 95% (Tabela 24).

TABELA 24 – SST médio efluente da lagoa durante as sete fases da pesquisa

Fase	Período	SST médio efluente da lagoa (mg/L)		Desvio padrão (mg/L)	Coeficiente de variação (CV)	P-valor
1	10/03/14 a 06/05/14	7,0	b	2,9	42%	0,0302 a 0,9997
2	07/05/14 a 20/05/14	10,3	ab	4,1	40%	0,8189 a 1,0000
3	21/05/14 a 03/06/14	9,5	ab	0,6	7%	0,6943 a 1,0000
4	04/06/14 a 17/06/14	5,7	ab	2,9	51%	0,0661a 0,9997
5	18/06/14 a 01/07/14	14,5	ab	13,7	95%	0,3057 a 1,0000
6	02/07/14 a 15/07/14	12,7	ab	8,9	70%	0,5188 a 0,9993
7	16/07/14 a 12/08/14	15,4	a	6,8	44%	0,0302 a 1,0000

Fonte: O autor.

Notas: Letras minúsculas diferentes diferem pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. A coluna P-valor contém os intervalos de p-valor relativos à comparação com as outras fases.

Os dados apresentados mostram que, estatisticamente, o valor de SST médio encontrado no efluente da lagoa da ETE Verde não diferiu entre as fases 1 a 6, quando comparados entre si pelo Teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Ou seja, para os períodos de 4 horas a 20 horas contínuas de lançamento de lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos (fases 2 a 6), o valor de SST encontrado no efluente da lagoa não diferiu significativamente do valor encontrado no período em que a ETE recebeu apenas esgoto doméstico (fase 1).

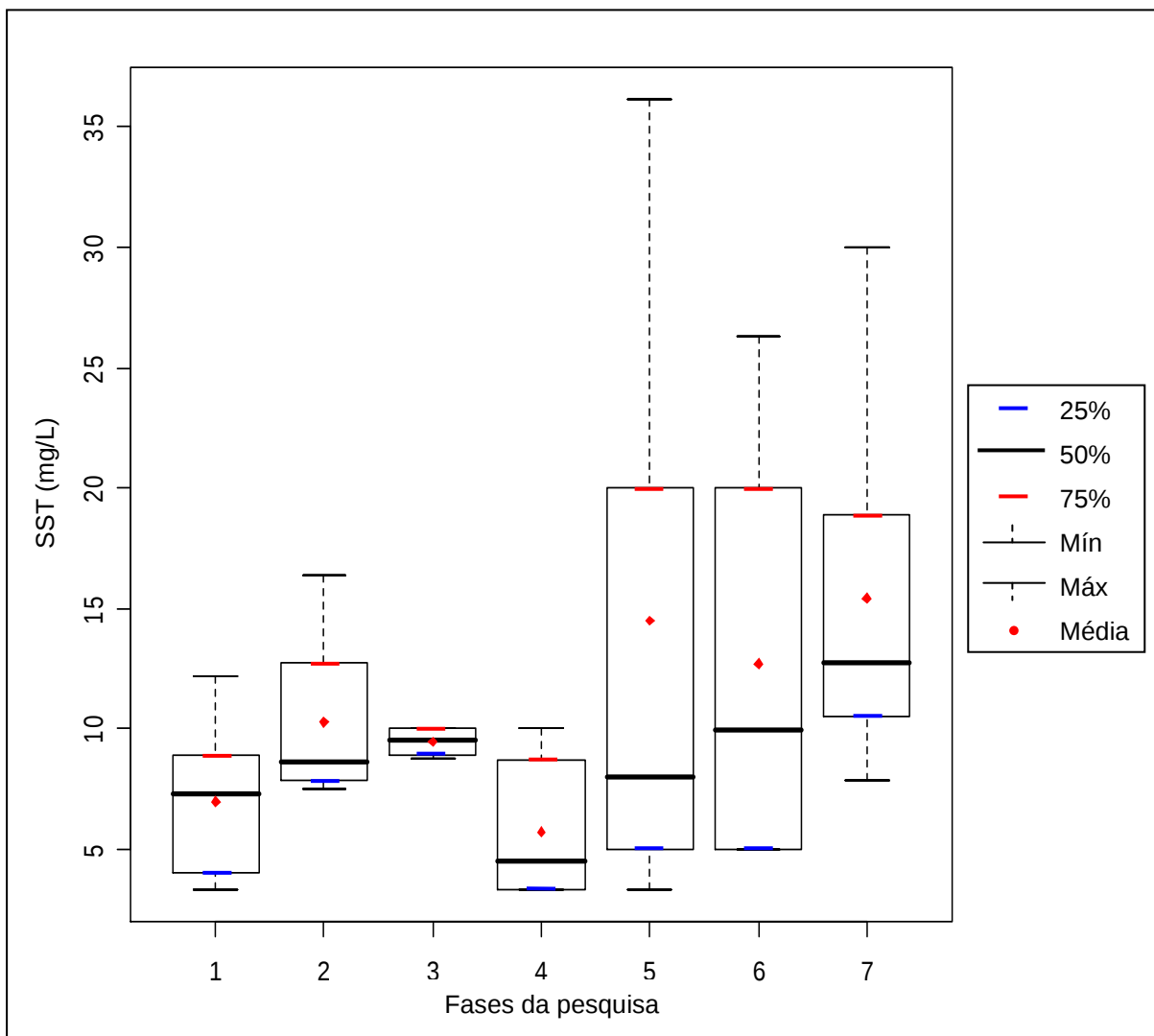
Desta forma, foi observado que o lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos somente produziu alterações significativas no valor de SST médio efluente da lagoa de polimento quando ocorreu o período de lançamento de 24 horas contínuas (fase 7). O valor encontrado para a fase 7 foi superior ao resultado

encontrado na fase 1, para este parâmetro, quando comparados entre si pelo teste T ao nível de significância de 5%.

Da Cruz (2013) encontrou o valor de 22 mg/L para a concentração média de SST no efluente da lagoa de polimento da ETE Verde durante o seu período de estudo, com resultados que variaram entre 5 mg/L e 55 mg/L. O valor de SST médio encontrado por Da Cruz no efluente da lagoa é superior ao resultado encontrado em todas as sete fases da presente pesquisa, aproximando-se mais do valor encontrado para a fase 7.

A Figura 32 mostra a variabilidade dos resultados obtidos para as 51 amostras coletadas no efluente da lagoa da ETE Verde, relativos aos valores do parâmetro SST.

FIGURA 32 – SST efluente da lagoa durante as sete fases da pesquisa



Fonte: O autor.

Durante todas as sete fases da pesquisa, o efluente final da ETE Verde apresentou valores médios de SST abaixo do limite de 50 mg/L, estabelecido pelo órgão ambiental regulador do estado do Paraná na portaria de outorga de lançamento de efluentes. Diferentemente do que ocorreu com o parâmetro DQO, nenhum valor pontual encontrado nas 51 amostras coletadas ultrapassou o limite estabelecido pela portaria de outorga de lançamento de efluentes para o parâmetro SST, sendo que o pico ocorreu no dia 30/06/14, com o valor de 36,1 mg/L.

5.4.5 EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE SST

A partir dos dados de SST medidos no afluente da estação e dos dados de SST medidos no efluente dos RALFs, calculou-se a eficiência na remoção de SST pelos reatores da ETE Verde para as 51 amostras coletadas, cujos valores médios para cada uma das sete fases da pesquisa estão apresentados na Tabela 25. A maior eficiência média na remoção de SST pelos RALFs foi encontrada na fase 1, com o valor de 72%. O menor valor ocorreu na fase 4, que apresentou uma eficiência na remoção de SST pelos RALFs igual a 32%. O coeficiente de variação para este parâmetro variou entre 16%, obtido na fase 5 e 302%, resultado apresentado na fase 4.

TABELA 25 – Eficiência média na remoção de SST pelos RALFs durante as sete fases da pesquisa

Fase	Período	Eficiência média na remoção de SST (%)		Desvio padrão (%)	Coeficiente de variação (CV)	P-valor
1	10/03/14 a 06/05/14	72	a	15	20%	0,4245 a 0,9999
2	07/05/14 a 20/05/14	65	a	13	20%	0,8669 a 0,9999
3	21/05/14 a 03/06/14	44	a	41	93%	0,8736 a 1,0000
4	04/06/14 a 17/06/14	32	a	98	302%	0,4245 a 1,0000
5	18/06/14 a 01/07/14	35	a	6	16%	0,5774 a 1,0000
6	02/07/14 a 15/07/14	39	a	32	81%	0,6418 a 1,0000
7	16/07/14 a 12/08/14	52	a	31	59%	0,8601 a 0,9998

Fonte: O autor.

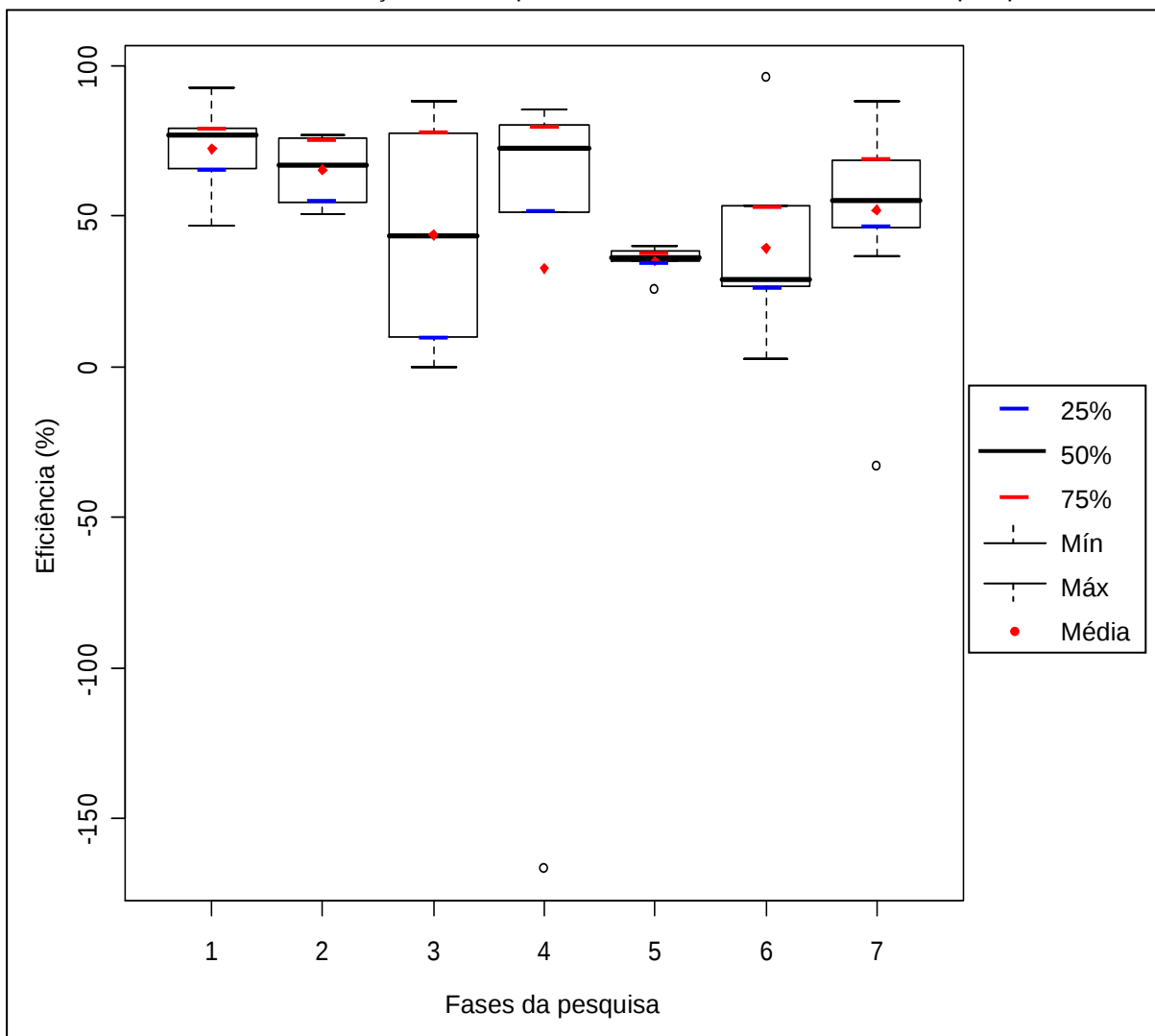
Notas: Letras minúsculas diferentes diferem pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. A coluna P-valor contém os intervalos de p-valor relativos à comparação com as outras fases.

Observou-se que os resultados das sete fases da pesquisa não diferem estatisticamente entre si, quando comparados pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Isto é, mesmo com o lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos, em períodos crescentes, não houve diferença significativa entre os

resultados encontrados para a eficiência média na remoção de SST pelos RALFs. Isto se verifica inclusive quando se compara o período em que houve lançamento contínuo do lodo da ETA durante 24 horas por dia (fase 7), com o período em que não houve lançamento do lodo (fase 1).

A Figura 31 mostra a variabilidade dos valores encontrados no cálculo efetuado para as 51 amostras coletadas, quanto à eficiência de remoção de SST pelos reatores da ETE Verde.

FIGURA 33 – Eficiência na remoção de SST pelos RALFs durante as sete fases da pesquisa



Fonte: O autor.

Notas: *Outliers* da fase 4: -167%; da fase 5: 25%; da fase 6: 96%; da fase 7: -33%.

Na pesquisa realizada na ETE Sul, em Londrina – PR, Carraro (2004) analisou a capacidade de remoção dos sólidos totais (ST) pelo RALF monitorado, e encontrou o valor de 503 mg/L para o afluente e 392 mg/L para o efluente do RALF,

durante os períodos de recebimento do lodo da ETA Cafezal, o que corresponde a uma eficiência de 22,1% para a remoção de ST (Carraro não fez a análise do parâmetro SST em sua pesquisa). Carraro concluiu que o lançamento do lodo da ETA Cafezal na ETE Sul também não interferiu na eficiência de remoção de ST pelo RALF, quando comparado ao resultado observado no período em que a ETE recebeu apenas esgoto doméstico, em que a eficiência na remoção de ST pelo RALF apresentou o valor de 15,2%.

Com os dados de SST medidos no efluente dos RALFs e os dados de SST medidos no efluente da lagoa, calculou-se a eficiência na remoção de SST pela lagoa de polimento da ETE Verde para cada uma das 51 amostras coletadas, cujos valores médios ficaram entre 67% para a fase 1 e 89% para a fase 5. O coeficiente de variação para a eficiência média de remoção de SST pela lagoa variou entre 2%, obtido na fase 2, e 43%, resultado encontrado na fase 3 (Tabela 26).

TABELA 26 – Eficiência média na remoção de SST pela lagoa durante as sete fases da pesquisa

Fase	Período	Eficiência média na remoção de SST (%)		Desvio padrão (%)	Coeficiente de variação (CV)	P-valor
1	10/03/14 a 06/05/14	67	a	11	17%	0,1135 a 1,0000
2	07/05/14 a 20/05/14	84	a	2	3%	0,4731 a 1,0000
3	21/05/14 a 03/06/14	69	a	43	63%	0,4449 a 1,0000
4	04/06/14 a 17/06/14	83	a	13	15%	0,3590 a 1,0000
5	18/06/14 a 01/07/14	89	a	7	8%	0,1135 a 0,9998
6	02/07/14 a 15/07/14	86	a	13	16%	0,1909 a 1,0000
7	16/07/14 a 12/08/14	79	a	11	14%	0,3987 a 0,9993

Fonte: O autor.

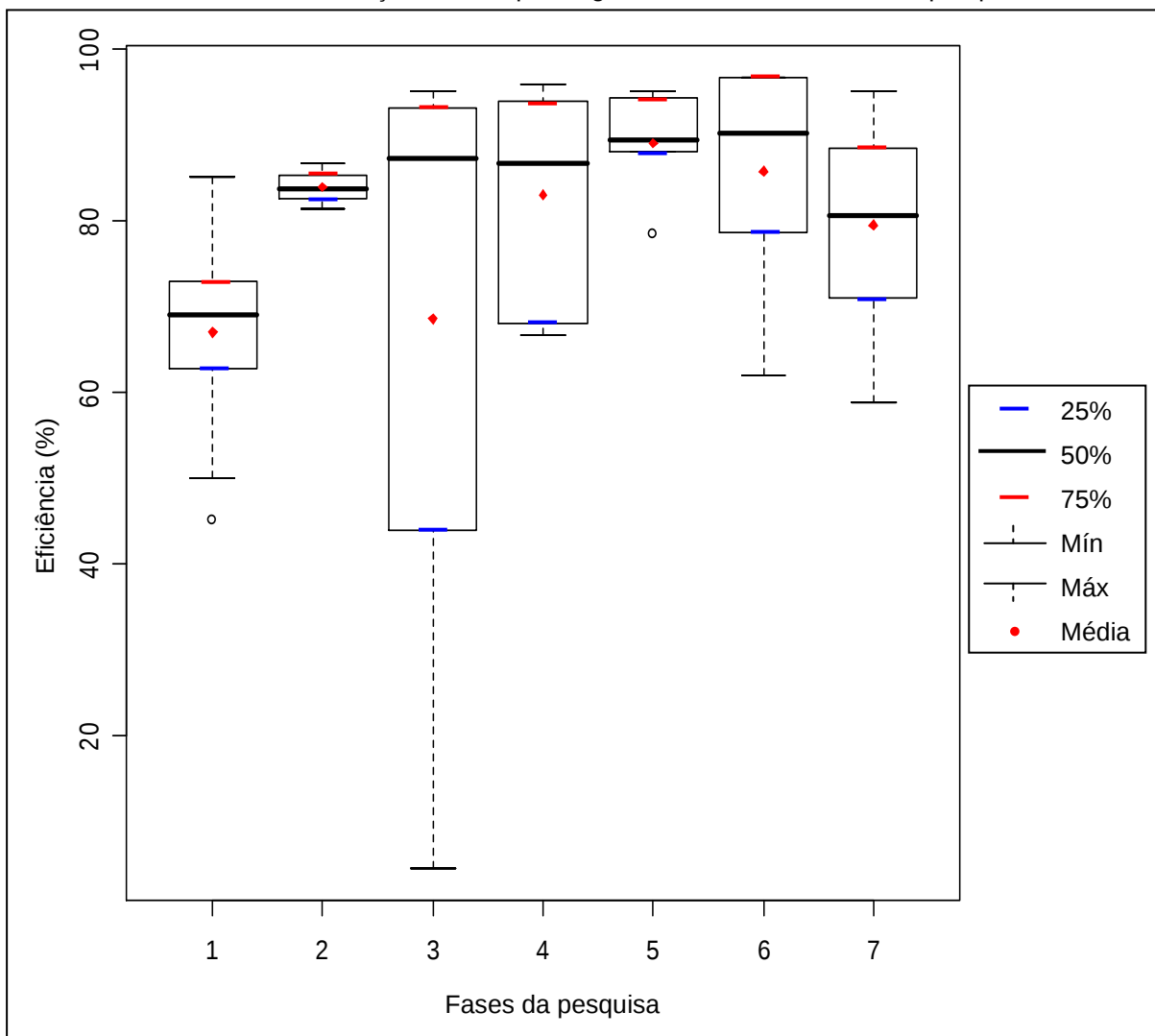
Notas: Letras minúsculas diferentes diferem pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%. A coluna P-valor contém os intervalos de p-valor relativos à comparação com as outras fases.

Assim como ocorreu para os RALFs, a lagoa de polimento da ETE Verde apresentou resultados médios para a eficiência na remoção de SST que não diferiram estatisticamente entre si entre as sete fases da pesquisa. O lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos não produziu impactos significativos nos resultados encontrados para a eficiência média na remoção de SST pela lagoa da ETE Verde. Mesmo quando se compara o período em que houve lançamento contínuo do lodo da ETA durante 24 horas por dia (fase 7), com o período em que não houve lançamento (fase 1), os valores não diferiram entre si, quando comparados pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

Jordão e Pessôa (2011) indicam o intervalo de 70 a 80% como sendo a faixa de valores típicos de eficiência na remoção de SST por uma lagoa facultativa, tal qual a lagoa de polimento da ETE Verde. Os valores encontrados em todas as fases desta pesquisa ficaram bastante próximos a esta faixa de valores típicos.

A variabilidade dos valores encontrados no cálculo efetuado para as 51 amostras coletadas, quanto à eficiência de remoção de SST pela lagoa de polimento da ETE Verde pode ser vista na Figura 34.

FIGURA 34 – Eficiência na remoção de SST pela lagoa durante as sete fases da pesquisa



Fonte: O autor.

Notas: *Outliers* da fase 1: 45%; da fase 5: 78%.

Com os valores de SST médio afluente e efluente à estação, calculou-se a eficiência global na remoção de SST pela ETE Verde, a qual apresentou valores entre 92% (fase 5) e 96% (fase 4), conforme apresentado na Tabela 27.

TABELA 27 – Remoção média de SST na ETE Verde para as sete fases da pesquisa

Fase	Período	SST médio afluente à ETE (mg/L)	SST médio efluente dos RALFs (mg/L)	SST médio efluente da ETE (mg/L)	Remoção de SST global da ETE (%)
1	10/03/14 a 06/05/14	97,2	24,2	7,0	93%
2	07/05/14 a 20/05/14	190,1	67,4	10,3	95%
3	21/05/14 a 03/06/14	145,9	92,4	9,5	93%
4	04/06/14 a 17/06/14	134,0	57,2	5,7	96%
5	18/06/14 a 01/07/14	190,5	120,8	14,5	92%
6	02/07/14 a 15/07/14	245,5	141,4	12,7	95%
7	16/07/14 a 12/08/14	216,2	93,2	15,4	93%

Fonte: O autor.

5.4.6 ANÁLISES DE MACRONUTRIENTES

Adicionalmente à análise de DQO e SST, com o objetivo de analisar a concentração de macronutrientes presentes no esgoto da ETE Verde durante o lançamento do lodo da ETA Actiflo®, foram verificados os seguintes parâmetros: carbono orgânico total (COT), cálcio, Nitrogênio Kjeldahl total (NKT), nitrogênio total, fósforo total, enxofre, sódio, potássio e magnésio. Os valores correspondentes às análises das três amostras coletadas do afluente e do efluente dos reatores da ETE Verde, nos dias 19/05/14 (fase 2), 16/06/14 (fase 4) e 30/06/14 (fase 5), estão apresentados na Tabela 28.

TABELA 28 – Valores de concentração de macronutrientes para as amostras do afluente e do efluente dos reatores da ETE Verde, coletadas nas datas indicadas

Macronutriente	Afluente da estação			Efluente dos reatores		
	19/05/14	16/06/14	30/06/14	19/05/14	16/06/14	30/06/14
Carbono orgânico total (mg/L)	12,8	17,1	18,8	7,53	11,2	19,3
Cálcio (mg/L CaCO ₃)	19,2	136,3	8,0	19,2	304	16,0
Nitrogênio Kjeldahl total (mg/L)	32,48	40,0	16,8	22,96	28,0	25,2
Nitrogênio total (mg/L)	44,24	47,0	22,4	26,04	30,0	39,2
Fósforo total (mg/L)	0,56	1,45	4,62	0,25	1,44	8,85
Enxofre (mg/L)	< 0,01	122	118,0	< 0,01	11,5	82,0
Sódio (mg/L)	38,2	40,7	54,5	42,5	32,8	43,2
Potássio (mg/L)	14,5	9,53	11,2	12,7	8,5	10,3
Magnésio (mg/L CaCO ₃)	12,8	13,0	41,8	12,8	25,0	30,1

Fonte: O autor.

O nitrogênio, o fósforo e o enxofre são elementos essenciais no processo de digestão anaeróbia, em especial para a metanogênese (CAMPOS, 1999). Os valores obtidos para estes parâmetros mostram como a presença destes nutrientes variaram ao longo das fases 2, 4 e 5 desta pesquisa para o afluente e efluente dos reatores.

Quanto ao nitrogênio, fósforo e enxofre presentes no esgoto bruto, observou-se uma variação da sua concentração ao longo das fases 2, 4 e 5. Esta variação está muito mais associada às características peculiares do próprio esgoto e a sua variabilidade natural que ocorre em função das características da sua carga orgânica do que ao lançamento simultâneo do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos. Carraro (2004) havia encontrado o valor médio de 28 mg/L para a concentração de nitrogênio total e 4,6 mg/L para a concentração média de fósforo no esgoto bruto da ETE Sul, em Londrina – PR, durante os períodos de recebimento do lodo da ETA Cafezal, valores bastante semelhante aos valores encontrados nas três amostras desta pesquisa.

Já com relação ao nitrogênio e fósforo presentes no efluente dos RALFs, observou-se um aumento gradual da sua concentração ao longo das fases 2, 4 e 5, para ambos os parâmetros, indicando uma melhora na absorção do nitrogênio e fósforo pelos reatores com o lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos. Carraro (2004) encontrou o valor de 31,8 mg/L para a concentração média de nitrogênio total e 4,3 mg/L para o fósforo presentes no efluente do RALF da ETE Sul durante os períodos de recebimento do lodo da ETA Cafezal, valor que também se assemelha aos valores encontrados nas três amostras desta pesquisa para ambos os parâmetros.

Considerando-se a média dos valores encontrados, o esgoto bruto afluente à ETE Verde apresentou uma relação DQO:N:P de 190:45:1, o que indica uma boa presença de nutrientes, superior a mínima de 500:5:1, tida como suficiente para atender à necessidade de macronutrientes dos microrganismos durante a digestão anaeróbia (CHERNICHARO, 2007).

A presença de alcalinidade de bicarbonato é importante para garantir o efeito tampão necessário na digestão anaeróbia (ROSARIO, 2007). Esta característica está relacionada aos parâmetros: cálcio, sódio, potássio e magnésio. Observou-se que os teores destes nutrientes tiveram pequenas variações ao longo das fases 2, 4 e 5, muito embora tenha ocorrido um acréscimo significativo na concentração de cálcio na fase 4, mas cuja ocorrência que deve ser analisada como pontual e que não pode ser associada ao lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos.

O carbono orgânico total (COT) é uma medida da matéria orgânica carbonácea, medida através da conversão do carbono orgânico a gás carbônico. Para as amostras coletadas, não foram observadas variações acentuadas neste

parâmetro, tanto para o esgoto bruto, quanto para o efluente dos reatores, quando do lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos nas fases 2, 4 e 5.

Além do afluente e efluente dos reatores, também foi feita análise dos macronutrientes presentes no lodo extraído dos RALFs da ETE Verde. A Tabela 29 traz os valores de concentração dos macronutrientes pesquisados, relativos às análises das três amostras do lodo dos reatores da ETE Verde, coletadas nos dias 19/05/14 (fase 2), 16/06/14 (fase 4) e 30/06/14 (fase 5).

TABELA 29 – Valores de concentração de macronutrientes para as amostras do lodo dos reatores da ETE Verde, coletadas nas datas indicadas

Macronutriente	Lodo dos reatores		
	19/05/14	16/06/14	30/06/14
Carbono orgânico total (mg/L)	11,0	18,2	10,4
Cálcio (mg/L CaCO ₃)	19,2	404,8	300,64
Nitrogênio Kjeldahl total (mg/L)	30,23	100,0	308
Nitrogênio total (mg/L)	43,20	100,0	6720
Fósforo total (mg/L)	0,56	1440	1880
Enxofre (mg/L)	< 0,01	290	64,2
Sódio (mg/L)	32,5	252	35,9
Potássio (mg/L)	12,5	27,0	27,7
Magnésio (mg/L CaCO ₃)	11,0	22,0	116,5

Fonte: O autor.

A análise destes macronutrientes no lodo de esgoto é importante para a caracterização do seu potencial agrônômico, conforme exigido na Resolução do CONAMA nº 375/06, principalmente quanto à concentração de nitrogênio, fósforo e potássio, essenciais para o solo.

Observou-se que houve uma melhora crescente na concentração dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio no lodo dos RALFs da ETE Verde ao longo das fases 2, 4 e 5 da pesquisa, o que indica que o lançamento do lodo da ETA Actiflo® pode ter contribuído para este resultado.

Quanto aos nutrientes cálcio, enxofre e sódio, e para a concentração de COT, observou-se o melhor resultado durante a fase 4, porém, ambas as fases 4 e 5 apresentaram melhores resultados para estes parâmetros do que a fase 2, indicando também que o lançamento do lodo da ETA Actiflo® não produziu qualquer efeito deletério na concentração destes nutrientes no lodo dos RALFs durante as fases pesquisadas.

5.4.7 ANÁLISES DE MICROPOLUENTES

Os valores de concentração de micropoluentes no esgoto, relativos às análises das quatro amostras coletadas do afluente da estação e do efluente dos reatores da ETE Verde, nos dias 19/05/14 (fase 2), 05/06/14 e 16/06/14 (fase 4) e dia 30/06/14 (fase 5), estão indicados na Tabela 30.

TABELA 30 – Valores de concentração de micropoluentes para as amostras do afluente e do efluente dos reatores da ETE Verde, coletadas nas datas indicadas

Componente	Afluente da estação				Efluente dos reatores			
	19/05/14	05/06/14	16/06/14	30/06/14	19/05/14	05/06/14	16/06/14	30/06/14
Al (mg/L)	3,8	1,31	2,9	3,4	1,53	0,15	0,20	5,9
As (mg/L)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ba (mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 0,5	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 0,5
Cd (mg/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,06
Cr (mg/L)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cu (mg/L)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fe (mg/L)	1,10	0,62	1,2	1,84	0,93	< 0,5	0,68	11,25
Hg (mg/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Mo (mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Ni (mg/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	0,014	0,02
Pb (mg/L)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Se (mg/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Sn (mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Zn (mg/L)	0,12	0,02	0,1	0,2	0,02	< 0,01	0,03	0,38

Fonte: O autor.

Foram observadas pequenas flutuações nos valores de concentração de alumínio, ferro e zinco, tanto no afluente como no efluente dos reatores da ETE Verde durante as fases 2, 4 e 5 da pesquisa, porém verificou-se que as concentrações dos micropoluentes investigados mantiveram-se a níveis aceitáveis durante o período pesquisado, não sendo possível afirmar que as variações ocorreram como resultado único e exclusivo do lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos.

A Resolução nº 375/06 do CONAMA exige que os lotes de lodo de esgoto para uso agrícola não ultrapassem os limites máximos de concentração por ela estabelecidos (indicados em mg/kg considerando-se o lodo em base seca) para as seguintes substâncias inorgânicas: arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), mercúrio (Hg), molibdênio (Mo), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn).

Na Tabela 31 constam os valores de concentração de micropoluentes verificados nas análises das quatro amostras do lodo dos reatores da ETE Verde, coletadas em 19/05/14 (fase 2), 05/06/14 e 16/06/14 (fase 4) e 30/06/14 (fase 5).

TABELA 31 – Valores de concentração de micropoluentes para as amostras do lodo dos reatores da ETE Verde, coletadas nas datas indicadas

Componente	Lodo dos reatores			
	19/05/14	05/06/14	16/06/14	30/06/14
Al (mg/L)	585,0	10,0	90,0	40,0
As (mg/L)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ba (mg/L)	12,69	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Cd (mg/L)	< 0,01	< 0,01	< 1,0	< 1,0
Cr (mg/L)	0,4	< 0,1	< 1,0	2,0
Cu (mg/L)	2,16	0,34	5,0	5,5
Fe (mg/L)	11,78	33,94	1600,0	1140,0
Hg (mg/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Mo (mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Ni (mg/L)	0,24	< 0,01	3,0	3,0
Pb (mg/L)	1,11	< 0,1	18,0	4,0
Se (mg/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Sn (mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Zn (mg/L)	9,62	4,47	40,0	56,0

Fonte: O autor.

Foram observadas pequenas variações nos valores de concentração de alguns destes micropoluentes no lodo dos RALFs durante as fases 2, 4 e 5, porém, estes valores mantiveram-se a níveis aceitáveis durante o período pesquisado e apontam para o atendimento aos limites máximos estabelecidos na referida resolução, não inviabilizando, deste modo, o seu uso na agricultura, caso haja interesse pela SANEPAR. Entretanto, não foi possível afirmar que estas variações tenham ligação direta com o lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos.

Os maiores valores de concentração de micropoluentes inorgânicos no lodo dos RALFs da ETE Verde foram observados para o ferro e para o alumínio, assim como também foi observada uma maior variação de valores entre os resultados encontrados nas amostras para estas duas substâncias, em relação às demais.

Foi verificado um sensível aumento na concentração de ferro no lodo dos reatores nas duas últimas amostras pesquisadas, o que indica a possibilidade desta ocorrência estar relacionada com o lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos, necessitando, desta forma, de uma investigação mais profunda para a confirmação ou não desta hipótese.

O mesmo também pode ser afirmado quanto à concentração de alumínio no lodo dos RALFs. Embora tenha sido verificada uma redução nos valores de concentração de alumínio nas amostras seguintes, em relação ao resultado encontrado na primeira amostra coletada, é necessário aprofundar a investigação no sentido de se identificar se o ocorrido tem ligação direta com o lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos.

Salienta-se, porém, que mesmo com a presença de ferro e de alumínio no lodo dos RALFs nas concentrações observadas, isto não inviabiliza o seu uso na agricultura, nem tampouco significa que o lançamento do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos tenha produzido qualquer efeito negativo no tratamento do esgoto realizado pelos reatores da ETE Verde.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O processo de tratamento de esgotos na ETE Verde manteve-se estável durante todo o período da pesquisa, operando com uma vazão média afluyente de 213,14 L/s, mesmo durante os períodos em que recebeu o lançamento simultâneo do lodo da ETA Actiflo® na rede de esgotos, com uma vazão média de 7,00 L/s, que chegou a ocorrer durante 24 horas por dia, correspondendo a um percentual de 3,2% do total afluyente, em volume.

Os RALFs operaram com um TDH médio de 9,9 horas, correspondendo a uma CHV média de 2,4 m³/m³/d, durante o período avaliado. A DQO média afluyente aos RALFs variou entre 329,0 mg/L (fase 4) e 668,2 mg/L (fase 7), correspondendo a uma COV aplicada entre 0,75 kgDQO/m³/d e 1,66 kgDQO/m³/d. Os RALFs tiveram DQO média efluente variando entre 93,6 mg/L (fase 1) e 297,0 mg/L (fase 6), e sua eficiência média na remoção de DQO variou entre 41% (fase 4) e 72% (fase 1).

A lagoa de polimento da ETE Verde operou com vazão média de 213,14 L/s e com um TDH médio de 4,5 dias. A DQO média afluyente à lagoa variou entre os valores de 93,6 mg/L (fase 1) e 297,0 mg/L (fase 6), correspondendo a uma TAS variando entre 765 kgDQO/ha/d (fase 1) e 2872 kgDQO/ha/d (fase 6) e a uma COV aplicada variando entre 19 gDQO/m³/d (fase 1) e 72 gDQO/m³/d (fase 6). A lagoa apresentou uma DQO média efluente variando entre 44,5 mg/L (fase 4) e 121,3 mg/L (fase 7) e a sua eficiência na remoção de DQO variou entre 29% (fase 1) e 64% (fases 4 e 5). A eficiência global na remoção de DQO pela ETE Verde ficou entre 80% (fase 2) e 86% (fase 4).

Com relação aos SST, os RALFs operaram com o valor médio afluyente variando entre 97,2 mg/L (fase 1) e 245,5 mg/L (fase 6) e com o valor médio efluente variando entre 24,2 mg/L (fase 1) e 141,4 mg/L (fase 6). A eficiência média na remoção de SST pelos RALFs variou entre 32% (fase 4) e 72% (fase 1). A lagoa de polimento operou com o valor médio de SST afluyente variando entre 24,2 mg/L (para a fase 1) e 141,4 mg/L (fase 6) e com valor médio de SST efluente variando entre 5,7 mg/L (fase 4) e 15,4 mg/L (fase 7). A eficiência média na remoção de SST pela lagoa variou entre 67% (fase 1) e 89% (fase 5) e o resultado global da ETE Verde para este parâmetro variou entre 92% (fase 5) e 96% (fase 4).

Tanto para os RALFs quanto para a lagoa de polimento, um aumento significativo na DQO afluyente e na DQO efluente foi percebido somente quando a

ETE operou com o lançamento simultâneo do lodo da ETA Actiflo[®] durante 20 e 24 horas por dia (fases 6 e 7), com o percentual de 2,5% e 3,2% em volume, respectivamente. Porém, para os RALFs, a eficiência média na remoção de DQO apresentou valores médios que não diferiram entre si para todas as fases, isto é, mesmo com o lançamento simultâneo do lodo da ETA Actiflo[®], pode-se considerar que a eficiência na remoção de DQO pelos reatores foi mantida. Já para a lagoa de polimento, a eficiência média na remoção de DQO com lançamento de lodo de ETA durante 24 horas por dia (fase 7) foi superior ao resultado médio apresentado quando a ETE operou recebendo apenas esgoto doméstico (fase 1).

Quanto à carga de SST, o valor médio apresentou aumento significativo para lançamentos de lodo de ETA a partir de 20 horas por dia, para o afluente aos reatores; a partir de 16 horas por dia, para o efluente dos reatores; e somente com 24 horas por dia de lançamento de lodo de ETA, para o efluente da lagoa. Porém, a eficiência na remoção de SST foi mantida, tanto para os RALFs quanto para a lagoa de polimento da ETE Verde, mesmo com o lançamento simultâneo do lodo da ETA Actiflo[®], com valores médios que não diferiram entre si em todas as fases.

Foi percebida uma maior remoção de nitrogênio e fósforo pelos reatores no período em que a ETE estava operando com o lançamento simultâneo do lodo da ETA Actiflo[®]. Também foi percebida uma maior concentração de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio no lodo dos RALFs no período em que ocorreu o lançamento do lodo da ETA. A concentração dos micropoluentes pesquisados, em especial, metais, manteve-se a níveis aceitáveis, tanto no efluente, quanto no lodo dos reatores. O lançamento do lodo da ETA Actiflo[®] também não inviabilizou o aproveitamento do lodo dos reatores na agricultura.

Finalmente, pôde-se concluir que o lançamento do lodo na rede de esgotos é uma alternativa viável de disposição para os rejeitos do decantador da ETA Actiflo[®], mesmo com duração de 24 horas por dia, não inviabilizando o tratamento de esgotos na ETE Verde, nem o aproveitamento do lodo do esgoto na agricultura.

Recomenda-se, porém, que, principalmente para lançamentos de lodo de ETA a partir de 16 horas por dia de duração contínua, faça-se o acompanhamento diário da manta de lodo dos reatores, pois com o aumento da carga de SST no esgoto, devido ao lançamento do lodo da ETA, haverá maior produção de lodo nos reatores, sendo necessária a sua extração com intervalos de tempos menores do que ocorria com a ETE Verde operando apenas recebendo esgoto doméstico.

7 REFERÊNCIAS

APHA; AWWA; WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20. ed. New York DC, 1998. 1569 p.

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 115-122, abr./jun. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v18n2/a03v18n2>>. Acesso em: 11 out. 2013.

ASADA, L. N. **Avaliação dos efeitos do recebimento do lodo de estação de tratamento de água em sistema de tratamento de esgoto pelo processo de lodo ativado com aeração prolongada**. 2007, 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209**: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

BITTENCOURT, S. et al. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 315-324, jul./set. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v17n3/v17n3a08>>. Acesso em: 11 out. 2013.

BOTERO, W. G. et al. Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 32, n. 8, p. 2018-2022, 2009. Disponível em: <<http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2009/vol32n8/06-AR08376.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2013.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 de agosto de 2006.

_____. Conselho Nacional 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 n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 de maio de 2011.

_____. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos

Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 9 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 28 jun. 2014.

_____. Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 13 fev. 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm>. Acesso em: 28 jun. 2014.

_____. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, 13 dez. 2011. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 21 mar. 2014.

CAMPOS, J. R. (Coord.) **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 436 p.

CARNEIRO, C. (Edit.); ANDREOLI, C. V. (Edit.) **Lodo de estações de tratamento de água - Gestão e perspectivas tecnológicas**. Curitiba: SANEPAR, THINKS CREATIVE, 2013. 654 p.

CARRARO, A. **Tecnologia ambiental apropriada a regiões de clima subtropical: avaliação do pós-tratamento de efluente RALF, através de filtro biológico aeróbio convencional, com recebimento intermitente de lodo de ETA**. 2004, 262 f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2004.

CAVALCANTI, P. F. F. et al. Pós-tratamento de efluentes anaeróbios por lagoas de polimento. In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.) **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Projeto PROSAB2. Rio de Janeiro: ABES, 2001. 51 p.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2007. 379 p.

CORDEIRO, J. S. Processamento de lodos de estações de tratamento de água (ETAs). In: ANDREOLI, C. V. (Coord.) **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2001. p. 121-142.

COSTA, A. J. C. **Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA coagulado com cloreto de polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas – Estudo de caso na ETA do município de Mirassol – SP**. 2011, 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

DA CRUZ, G. J. G. **O acúmulo de lodo em lagoas de estabilização no tratamento de esgoto sanitário doméstico: estudo de caso das lagoas do município de Ponta Grossa, Paraná.** 2013, 86 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

DI BERNARDO, L.; DANTAS; A. B.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** 1. ed. São Paulo: LDiBe, 2012. 540 p.

FERREIRA FILHO, S. S.; WAELKENS, B. E. Minimização da produção de lodo no tratamento de águas de abastecimento mediante uso do cloreto de polialumínio e sua disposição em estações de tratamento de esgotos. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 317-326, jul./set. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v14n3/v14n3a05.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2013.

FORESTI, E. et al. Fundamentos do Tratamento Anaeróbio. In: CAMPOS, J. R. (Coord.) **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 29-52.

GUAN, X. H.; CHEN; G. H.; SHANG, C. Re-use of water treatment works sludge to enhance particulate pollutant removal from sewage. **Water Research**, v. 39, p. 3433-3440, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135405003519>>. Acesso em: 11 nov. 2014.

HOPPEN, C. et al. Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 79-84, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v29n1/27861.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 02 set. 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10566:** Water quality -Determination of aluminium: spectrometric method using pyrocatechol violet. Geneva: ISO, 1994.

JANUÁRIO, G. F.; FERREIRA FILHO S. S. Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 117-126, abr./jun. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v12n2/a02v12n2.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2013.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 969 p.

KIZINIEVIC, O. et al. Utilization of sludge waste from water treatment for ceramic products. **Construction and Building Materials**, v. 41, p. 464-473, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061812009981>>. Acesso em: 11 nov. 2014.

KYNCL, M. Opportunities for water treatment sludge re-use. **Geoscience Engineering**, v. 54, n. 1, p. 11-22, 2008. Disponível em: <<http://gse.vsb.cz/2008/LIV-2008-1-11-22.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2014.

LOMBARDI, R. **Desempenho de reator anaeróbio de fluxo ascendente alimentado com lodo de estação de tratamento de água e esgoto sanitário**. 2009, 174 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed. London: McGraw-Hill, 2003. 1819 p.

OLIVEIRA, E. M. S.; HOLANDA, J. N. F. Influência da adição de resíduo (lodo) de estação de tratamento de águas nas propriedades e microestrutura de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v. 54, n. 330, p. 167-173, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v54n330/a0654330.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2013.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Resolução nº 021/09 – SEMA**. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO_SEMA_21_2009_LI_CENCIAMENTO_PADROES_AMBIENTAIS_SANEAMENTO.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2014.

REALI, M. A. P. (Coord.) **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 240 p.

RIBEIRO, F. L. M. **Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito – MG**. 2007, 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2001. 102 p.

ROSARIO, C. G. A. **Avaliação da disposição de lodo gerado numa estação de tratamento de água em reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo**. 2007, 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SANEPAR. **Tratando o esgoto – ambiente legal:** tratamento biológico anaeróbio. Apostila do Programa de Educação e Qualificação. Curitiba: SANEPAR, 2005. 80 p.

SCALIZE, P. S. **Disposição de resíduos gerados em estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto.** 2003, 146 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SENA, H. C. **Recebimento de lodo de ETA em ETE por lodo ativado operando com mídia plástica no tanque de aeração (MBBR).** 2011, 373 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SHARMA, A. K.; THORNBERG, D; ANDERSEN, H. R. Application of waterworks sludge in wastewater treatment plants. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 10, p. 1157-1166, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13762-013-0191-6#>>. Acesso em: 11 nov. 2014.

SILVEIRA, C. **Desaguamento de lodo de estações de tratamento de águas por leite de drenagem / secagem com manta geotêxtil.** 2012, 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

TEIXEIRA, S. R. et al. Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural. **Cerâmica**, São Paulo, v. 52, n. 323, p. 215-220, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v52n323/32092.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2013.

TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais eletrônicos...** João Pessoa: ABES, 2001. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=uevZabbEFc>>. Acesso em: 15 fev. 2014.

USEPA. **Environmental regulations and technology:** control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. EPA/625/R-92/013. Washington DC, 2003. 177 p. Disponível em: <http://water.epa.gov/scitech/wastetech/biosolids/upload/2007_05_31_625r92013_625R92013.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2014.

USEPA. **Wastewater technology fact sheet:** ballasted flocculation. Washington DC, 2003. 8 p. Disponível em: <http://water.epa.gov/mscitech/wastetech/upload/2005_07_28_mtb_ballasted_flocculation.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2014.

APÊNDICE 1 – VAZÃO DE DESCARTE DE LODO DA ETA ACTIFLO®

Valores de vazão de descarte de lodo da ETA Actiflo® encontrados para as 67 medições efetuadas conforme dias e horários indicados

(continua)

Nº de ordem	Dia	Horário	Volume (m ³)	Vazão (L/s)
-	11/03/2014	15:20:57	0,012	-
1	11/03/2014	15:21:01	0,037	6,25
2	11/03/2014	15:21:05	0,065	7,00
3	11/03/2014	15:21:09	0,093	7,00
4	11/03/2014	15:21:13	0,120	6,75
5	11/03/2014	15:21:17	0,148	7,00
6	11/03/2014	15:21:21	0,179	7,75
7	11/03/2014	15:21:25	0,203	6,00
-	11/03/2014	15:25:42	0,002	-
8	11/03/2014	15:25:46	0,026	6,00
9	11/03/2014	15:25:50	0,052	6,50
10	11/03/2014	15:25:54	0,076	6,00
11	11/03/2014	15:25:58	0,098	5,50
12	11/03/2014	15:26:02	0,123	6,25
13	11/03/2014	15:26:06	0,145	5,50
14	11/03/2014	15:26:10	0,166	5,25
-	11/03/2014	15:29:12	0,002	-
15	11/03/2014	15:29:16	0,036	8,50
16	11/03/2014	15:29:20	0,073	9,25
17	11/03/2014	15:29:24	0,108	8,75
18	11/03/2014	15:29:28	0,142	8,50
19	11/03/2014	15:29:32	0,173	7,75
20	11/03/2014	15:29:36	0,200	6,75
-	25/03/2014	11:03:39	0,010	-
21	25/03/2014	11:03:43	0,033	5,75
22	25/03/2014	11:03:47	0,064	7,75
23	25/03/2014	11:03:51	0,096	8,00
24	25/03/2014	11:03:55	0,129	8,25
25	25/03/2014	11:03:59	0,152	5,75
26	25/03/2014	11:04:03	0,184	8,00
-	25/03/2014	11:28:05	0,002	-
27	25/03/2014	11:28:09	0,044	10,50
28	25/03/2014	11:28:13	0,090	11,50
29	25/03/2014	11:28:17	0,128	9,50
30	25/03/2014	11:28:21	0,163	8,75
31	25/03/2014	11:28:25	0,192	7,25
-	25/03/2014	11:30:52	0,009	-
32	25/03/2014	11:30:56	0,039	7,50
33	25/03/2014	11:31:00	0,070	7,75
34	25/03/2014	11:31:04	0,103	8,25
35	25/03/2014	11:31:08	0,128	6,25
36	25/03/2014	11:31:12	0,154	6,50
37	25/03/2014	11:31:16	0,184	7,50
38	25/03/2014	11:31:20	0,208	6,00
39	25/03/2014	11:31:24	0,233	6,25

Valores de vazão de descarte de lodo da ETA Actiflo® encontrados para as 67 medições efetuadas conforme dias e horários indicados

(conclusão)

Nº de ordem	Dia	Horário	Volume (m ³)	Vazão (L/s)
-	25/03/2014	11:33:43	0,007	-
40	25/03/2014	11:33:47	0,024	4,25
41	25/03/2014	11:33:51	0,054	7,50
42	25/03/2014	11:33:55	0,082	7,00
43	25/03/2014	11:33:59	0,108	6,50
44	25/03/2014	11:34:03	0,133	6,25
45	25/03/2014	11:34:07	0,155	5,50
46	25/03/2014	11:34:11	0,179	6,00
-	25/03/2014	11:36:37	0,039	-
47	25/03/2014	11:36:41	0,060	5,25
48	25/03/2014	11:36:45	0,089	7,25
49	25/03/2014	11:36:49	0,116	6,75
50	25/03/2014	11:36:53	0,142	6,50
51	25/03/2014	11:36:57	0,171	7,25
52	25/03/2014	11:37:01	0,198	6,75
53	25/03/2014	11:37:05	0,225	6,75
54	25/03/2014	11:37:09	0,251	6,50
55	25/03/2014	11:37:13	0,276	6,25
56	25/03/2014	11:37:17	0,298	5,50
-	25/03/2014	11:39:53	0,007	-
57	25/03/2014	11:39:57	0,031	6,00
58	25/03/2014	11:40:01	0,063	8,00
59	25/03/2014	11:40:05	0,099	9,00
60	25/03/2014	11:40:09	0,129	7,50
61	25/03/2014	11:40:13	0,157	7,00
62	25/03/2014	11:40:17	0,186	7,25
63	25/03/2014	11:40:21	0,212	6,50
64	25/03/2014	11:40:25	0,237	6,25
65	25/03/2014	11:40:29	0,264	6,75
66	25/03/2014	11:40:33	0,289	6,25
67	25/03/2014	11:40:37	0,310	5,25

Fonte: O autor.

APÊNDICE 2 – ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE ESGOTO E VAZÃO MÉDIA DIÁRIA DA ETE VERDE

Resultados das análises das amostras do afluente, do efluente dos reatores e do efluente da lagoa da ETE Verde, para os atributos DQO e SST, coletadas nas datas indicadas, com os respectivos valores de vazão média diária afluente à estação

(continua)

Nº de ordem	Data	Fase	Vazão afluente (L/s)	Afluente à ETE		Efluente dos reatores		Efluente da lagoa	
				DQO (mg/L)	SST (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)
1	10/03/14	1	186,91	330	80,0	144	42,6	92	8,5
2	12/03/14	1	194,69	437	120,0	102	26,6	78	7,9
3	17/03/14	1	199,91	282	70,0	194	36,8	104	10,0
4	19/03/14	1	208,62	238	76,9	52	17,9	42	5,0
5	24/03/14	1	249,56	234	20,0	55	9,4	36	4,0
6	26/03/14	1	245,01	218	45,5	62	15,0	44	3,3
7	31/03/14	1	148,24	393	72,5	54	8,9	35	3,3
8	03/04/14	1	181,43	590	171,4	126	38,0	58	12,2
9	07/04/14	1	186,98	278	70,0	62	20,0	39	11,0
10	09/04/14	1	216,17	258	183,3	23	13,3	36	4,0
11	10/04/14	1	155,78	323	97,6	80	10,0	58	5,0
12	23/04/14	1	198,53	284	86,0	76	18,0	52	6,7
13	28/04/14	1	190,13	340	94,0	84	22,0	55	8,0
14	05/05/14	1	190,58	493	173,9	197	60,0	85	8,9
15	07/05/14	2	199,54	366	200,0	143	50,0	82	8,2
16	12/05/14	2	184,58	581	250,0	300	123,3	105	16,4
17	14/05/14	2	173,08	447	173,9	171	40,0	90	7,5
18	19/05/14	2	174,40	481	136,4	151	56,3	102	9,1
19	21/05/14	3	167,74	331	125,0	229	100,0	100	8,8
20	28/05/14	3	258,85	210	80,0	82	9,5	52	9,1
21	30/05/14	3	272,64	494	178,6	120	60,0	59	10,0
22	02/06/14	3	235,74	433	200,0	306	200,0	75	10,0
23	04/06/14	4	242,80	650	330,0	428	160,8	74	10,0
24	06/06/14	4	246,11	242	104,2	110	27,3	60	8,7
25	09/06/14	4	116,49	173	30,0	280	80,0	33	3,3
26	11/06/14	4	231,05	247	140,0	98	40,0	27	4,0
27	13/06/14	4	201,37	320	100,0	72	20,0	34	3,3
28	16/06/14	4	183,96	342	100,0	66	15,0	39	5,0
29	18/06/14	5	162,70	257	41,7	132	31,1	40	3,3
30	23/06/14	5	309,70	529	260,9	200	166,7	73	20,0
31	25/06/14	5	270,56	482	214,3	223	139,5	66	8,0
32	27/06/14	5	173,24	568	166,7	193	100,0	77	5,0
33	30/06/14	5	288,91	464	269,0	240	166,7	102	36,1
34	02/07/14	6	267,52	559	200,0	309	194,4	88	6,7
35	04/07/14	6	194,91	561	312,5	103	13,2	84	5,0
36	07/07/14	6	229,33	779	200,0	352	93,8	117	20,0
37	09/07/14	6	243,68	573	200,0	177	147,1	111	5,0
38	11/07/14	6	227,38	644	285,7	491	200,0	114	13,3
39	14/07/14	6	233,75	636	275,0	350	200,0	110	26,3
40	16/07/14	7	227,94	715	357,1	409	226,7	104	11,1
41	18/07/14	7	207,15	526	136,4	211	55,6	98	13,3

Resultados das análises das amostras do afluente, do efluente dos reatores e do efluente da lagoa da ETE Verde, para os atributos DQO e SST, coletadas nas datas indicadas, com os respectivos valores de vazão média diária afluente à estação

(conclusão)

Nº de ordem	Data	Fase	Vazão afluente (L/s)	Afluente à ETE		Efluente dos reatores		Efluente da lagoa	
				DQO (mg/L)	SST (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)
42	21/07/14	7	219,95	626	71,4	488	95,2	124	20,0
43	23/07/14	7	228,19	648	312,5	262	96,8	132	17,9
44	25/07/14	7	280,43	520	157,9	227	75,0	110	25,6
45	28/07/14	7	195,43	617	272,7	297	142,9	106	16,0
46	30/07/14	7	240,71	736	235,3	307	100,0	119	12,2
47	01/08/14	7	222,24	898	153,9	291	85,7	134	30,0
48	04/08/14	7	190,92	601	153,9	242	48,8	142	10,0
49	06/08/14	7	202,55	625	294,1	204	60,0	131	10,0
50	08/08/14	7	199,07	817	227,3	307	26,7	128	11,0
51	11/08/14	7	212,83	689	222,2	276	105,3	128	7,9

Fonte: O autor.

APÊNDICE 3 – RESULTADOS DO TESTE DE TUKEY DE COMPARAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DE 5%

a) Vazão afluyente à ETE Verde

DADOS DO PROCESSO

Anova					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat F	P-valor
Fator	6	16325,973	2720,99549	2,09139353	0,07347164
Resíduos	44	57245,9463	1301,04423		

Níveis	Centro	Limite.Inferior	Limite.Superior	P-valor
2-1	-13,71	-76,872845	49,4528447	0,99358651
3-1	37,1325	-26,030345	100,295345	0,54493653
4-1	7,02	-47,341921	61,3819213	0,99965082
5-1	44,412	-13,630649	102,454649	0,23847773
6-1	36,1516667	-18,210255	90,5135879	0,39704414
7-1	22,3408333	-21,487149	66,1688154	0,69874337
3-2	50,8425	-27,935408	129,620408	0,43317664
4-2	20,73	-51,184062	92,6440622	0,97217311
5-2	58,122	-16,613286	132,857286	0,22209819
6-2	49,8616667	-22,052396	121,775729	0,34748248
7-2	36,0508333	-28,271059	100,372726	0,59960482
4-3	-30,1125	-102,02656	41,8015622	0,85130638
5-3	7,2795	-67,455786	82,0147857	0,99993244
6-3	-0,9808333	-72,894896	70,9332289	1
7-3	-14,791667	-79,113559	49,530226	0,99127024
5-4	37,392	-30,06937	104,85337	0,61194899
6-4	29,1316667	-35,190226	93,4535593	0,79944531
7-4	15,3208333	-40,38356	71,0252264	0,97797589
6-5	-8,2603333	-75,721703	59,2010368	0,99974328
7-5	-22,071167	-81,373022	37,2306882	0,90872257
7-6	-13,810833	-69,515226	41,8935597	0,98704238

b) DQO afluyente à ETE Verde

DADOS DO PROCESSO

Anova					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Fator	6	1030974,51	171829,085	12,7496049	2,7693E-08
Resíduos	44	592997,179	13477,2086		

Níveis	Centro	Limite.Inferior	Limite.Superior	P-valor
2-1	133,178571	-70,111246	336,468389	0,41510476
3-1	31,4285714	-171,86125	234,718389	0,99902134
4-1	-6,5714286	-181,53545	168,392588	0,99999977
5-1	124,428571	-62,381879	311,239022	0,39514929
6-1	289,761905	114,797888	464,725922	0,00012702
7-1	332,595238	191,534738	473,655738	9,0317E-08
3-2	-101,75	-355,29695	151,796949	0,87466845
4-2	-139,75	-371,20564	91,7056387	0,51341589
5-2	-8,75	-249,28576	231,785756	0,99999981
6-2	156,583333	-74,872305	388,038972	0,37653575
7-2	199,416667	-7,6035501	406,436883	0,06572016
4-3	-38	-269,45564	193,455639	0,9986251
5-3	93	-147,53576	333,535756	0,89261614
6-3	258,333333	26,8776946	489,788972	0,01988123
7-3	301,166667	94,1464499	508,186883	0,00092898
5-4	131	-86,124635	348,124635	0,51429819
6-4	296,333333	89,3131166	503,35355	0,00116279
7-4	339,166667	159,8819	518,451433	1,141E-05
6-5	165,333333	-51,791302	382,457968	0,24345563
7-5	208,166667	17,3034575	399,029876	0,02450781
7-6	42,8333333	-136,45143	222,1181	0,98932226

c) DQO efluente dos RALFs

Anova					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Fator	6	324385,247	54064,2079	6,442767	6,3E-05
Resíduos	44	369224,164	8391,45828		

Níveis	Centro	Limite.Inferior	Limite.Superior	P-valor
2-1	97,6071429	-62,80394	258,018226	0,504176
3-1	90,6071429	-69,80394	251,018226	0,590897
4-1	82,0238095	-56,036069	220,083688	0,532549
5-1	103,957143	-43,450469	251,364755	0,327721
6-1	203,357143	65,2972647	341,417021	0,000779
7-1	199,77381	88,4663773	311,081242	3,1E-05
3-2	-7	-207,06777	193,067771	1
4-2	-15,583333	-198,21939	167,052718	0,999969
5-2	6,35	-183,45095	196,150953	1
6-2	105,75	-76,886052	288,386052	0,562604
7-2	102,166667	-61,187984	265,521317	0,471162

<i>Níveis</i>	<i>Centro</i>	<i>Limite.Inferior</i>	<i>Limite.Superior</i>	<i>P-valor</i>
4-3	-8,5833333	-191,21939	174,052718	0,999999
5-3	13,35	-176,45095	203,150953	0,99999
6-3	112,75	-69,886052	295,386052	0,486829
7-3	109,166667	-54,187984	272,521317	0,391173
5-4	21,9333333	-149,39447	193,261136	0,999668
6-4	121,333333	-42,021317	284,687984	0,269736
7-4	117,75	-23,719277	259,219277	0,160074
6-5	99,4	-71,927803	270,727803	0,560302
7-5	95,8166667	-54,78888	246,422213	0,450508
7-6	-3,5833333	-145,05261	137,885944	1

d) DQO efluente da lagoa

<i>Anova</i>					
	<i>G.L.</i>	<i>Soma de Quadrados</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>Estat. F</i>	<i>P-valor</i>
Fator	6	39507,0906	6584,5151	18,9994017	9,0715E-11
Resíduos	44	15248,831	346,56434		

<i>Níveis</i>	<i>Centro</i>	<i>Limite.Inferior</i>	<i>Limite.Superior</i>	<i>P-valor</i>
2-1	36,6071429	4,00789449	69,2063912	0,01878637
3-1	13,3571429	-19,242106	45,9563912	0,86363541
4-1	-13,642857	-41,699823	14,4141086	0,742167
5-1	13,4571429	-16,499499	43,4137848	0,80539388
6-1	45,8571429	17,8001771	73,9141086	0,000158
7-1	63,1904762	40,5702272	85,8107252	1,0651E-09
3-2	-23,25	-63,908406	17,4084062	0,57693929
4-2	-50,25	-87,365877	-13,134123	0,00242242
5-2	-23,15	-61,721951	15,4219508	0,52054542
6-2	9,25	-27,865877	46,365877	0,98668888
7-2	26,5833333	-6,6141163	59,7807829	0,19408903
4-3	-27	-64,115877	10,115877	0,29255888
5-3	0,1	-38,471951	38,6719508	1
6-3	32,5	-4,615877	69,615877	0,12112804
7-3	49,8333333	16,6358837	83,0307829	0,00059235
5-4	27,1	-7,7177789	61,9177789	0,22129295
6-4	59,5	26,3025504	92,6974496	3,1781E-05
7-4	76,8333333	48,0834986	105,583168	3,5999E-09
6-5	32,4	-2,4177789	67,2177789	0,08314989
7-5	49,7333333	19,1267971	80,3398696	0,00017381
7-6	17,3333333	-11,416501	46,083168	0,51516259

e) Eficiência na remoção de DQO pelos RALFs

Anova					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Fator	6	5052,320213	842,0533688	1,631114551	0,161264941
Resíduos	44	22714,74325	516,2441647		

Níveis	Centro	Limite.Inferior	Limite.Superior	P-valor
2-1	-12,08338679	-51,87057313	27,70379956	0,964097377
3-1	-22,79314627	-62,58033262	16,99404008	0,574865143
4-1	-31,09898623	-65,34234403	3,144371576	0,097211433
5-1	-16,2223825	-52,78428359	20,33951859	0,814159436
6-1	-18,82606188	-53,06941968	15,41729593	0,62088295
7-1	-16,34088335	-43,94876103	11,26699433	0,536968647
3-2	-10,70975948	-60,33309938	38,91358041	0,993780629
4-2	-19,01559944	-64,31530384	26,28410496	0,849837509
5-2	-4,138995712	-51,21582947	42,93783804	0,999963012
6-2	-6,74267509	-52,04237949	38,55702931	0,999211211
7-2	-4,257496563	-44,77478392	36,2597908	0,999894637
4-3	-8,305839957	-53,60554436	36,99386444	0,997449908
5-3	6,570763772	-40,50606998	53,64759753	0,99945385
6-3	3,967084394	-41,33262001	49,2667888	0,999963862
7-3	6,452262921	-34,06502444	46,96955028	0,998842542
5-4	14,87660373	-27,61828576	57,37149322	0,930311075
6-4	12,27292435	-28,24436301	52,79021171	0,964549038
7-4	14,75810288	-20,33089727	49,84710302	0,848682307
6-5	-2,603679378	-45,09856887	39,89121011	0,999995645
7-5	-0,118500851	-37,47359406	37,23659236	1
7-6	2,485178526	-32,60382162	37,57417867	0,999989701

f) Eficiência na remoção de DQO pela lagoa

Anova					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Fator	6	9016,576654	1502,762776	3,881107981	0,003401365
Resíduos	44	17036,77467	387,1994242		

Níveis	Centro	Limite.Inferior	Limite.Superior	P-valor
2-1	17,65296797	-16,80447147	52,11040741	0,693862204
3-1	25,59413751	-8,863301926	60,05157695	0,269714051
4-1	34,53643757	4,880195546	64,19267959	0,013224933

Níveis	Centro	Limite.Inferior	Limite.Superior	P-valor
5-1	35,02478108	3,360579408	66,68898276	0,021591721
6-1	27,34571805	-2,310523969	57,00196008	0,088254494
7-1	26,81831166	2,908684957	50,72793836	0,018989288
3-2	7,94116954	-35,03480806	50,91714714	0,997337793
4-2	16,88346959	-22,34805101	56,1149902	0,834527667
5-2	17,37181311	-23,39877906	58,14240528	0,840794761
6-2	9,69275008	-29,53877053	48,92427069	0,987275767
7-2	9,165343686	-25,92439509	44,25508246	0,983047883
4-3	8,942300055	-30,28922055	48,17382066	0,991670891
5-3	9,430643568	-31,3399486	50,20123574	0,990995951
6-3	1,75158054	-37,47994007	40,98310115	0,99999934
7-3	1,224174146	-33,86556463	36,31391292	0,999999849
5-4	0,488343513	-36,31408499	37,29077202	1
6-4	-7,190719514	-42,28045829	27,89901926	0,995301087
7-4	-7,718125908	-38,1067311	22,67047928	0,985319788
6-5	-7,679063028	-44,48149154	29,12336548	0,994817217
7-5	-8,206469422	-40,55761009	24,14467124	0,985412679
7-6	-0,527406394	-30,91601159	29,8611988	0,999999998

g) SST afluyente à ETE Verde

Anova					
	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Fator	6	147442,581	24573,7635	4,82685429	0,00073011
Resíduos	44	224006,264	5091,05145		

Níveis	Centro	Limite.Inferior	Limite.Superior	P-valor
2-1	92,84893	-32,096219	217,794076	0,26921743
3-1	48,67393	-76,271219	173,619076	0,88916488
4-1	36,80976	-70,725899	144,345423	0,93704114
5-1	93,28143	-21,535238	208,098095	0,18093661
6-1	148,3164	40,7807676	255,85209	0,00190952
7-1	119,0023	32,3042403	205,700283	0,00203235
3-2	-44,175	-200,00898	111,658978	0,97438718
4-2	-56,0392	-198,29547	86,2171413	0,88389201
5-2	0,4325	-147,40459	148,269592	1
6-2	55,4675	-86,788808	197,723808	0,88874764
7-2	26,15333	-101,08458	153,391243	0,99522288
4-3	-11,8642	-154,12047	130,392141	0,99997291
5-3	44,6075	-103,22959	192,444592	0,96520776
6-3	99,6425	-42,613808	241,898808	0,33561214

<i>Níveis</i>	<i>Centro</i>	<i>Limite.Inferior</i>	<i>Limite.Superior</i>	<i>P-valor</i>
7-3	70,32833	-56,909577	197,566243	0,61501227
5-4	56,47167	-76,976579	189,919912	0,8450026
6-4	111,5067	-15,731243	238,744577	0,12054537
7-4	82,1925	-27,998762	192,383762	0,26518983
6-5	55,035	-78,413246	188,483246	0,86003525
7-5	25,72083	-91,586723	143,02839	0,99322944
7-6	-29,3142	-139,50543	80,8770957	0,98138719

h) SST efluente dos RALFs

<i>Anova</i>					
	<i>G.L.</i>	<i>Soma de Quadrados</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>Estat. F</i>	<i>P-valor</i>
Fator	6	80352,0379	13392,0063	5,1843861	0,00041639
Resíduos	44	113658,255	2583,14216		

<i>Níveis</i>	<i>Centro</i>	<i>Limite.Inferior</i>	<i>Limite.Superior</i>	<i>P-valor</i>
2-1	43,24107	-45,758887	132,24103	0,74288817
3-1	68,21357	-20,786387	157,21353	0,2367646
4-1	33,0069	-43,592063	109,605873	0,83371015
5-1	96,61957	14,8342536	178,404889	0,01144658
6-1	117,2352	40,6362699	193,834206	0,00044409
7-1	69,04357	7,28750891	130,799634	0,01957367
3-2	24,9725	-86,029951	135,974951	0,99223135
4-2	-10,2342	-111,56508	91,0967437	0,99991644
5-2	53,3785	-51,927671	158,684671	0,70412474
6-2	73,99417	-27,336744	175,325077	0,2883403
7-2	25,8025	-64,830621	116,435621	0,97383668
4-3	-35,2067	-136,53758	66,1242437	0,93264327
5-3	28,406	-76,900171	133,712171	0,98003055
6-3	49,02167	-52,309244	150,352577	0,74661497
7-3	0,83	-89,803121	91,4631215	1
5-4	63,61267	-31,444153	158,669486	0,38951315
6-4	84,22833	-6,4047882	174,861455	0,08387317
7-4	36,03667	-42,453919	114,527252	0,78922471
6-5	20,61567	-74,441153	115,672486	0,99361516
7-5	-27,576	-111,13561	55,9836093	0,94677747
7-6	-48,1917	-126,68225	30,298919	0,49340016

i) SST efluente da lagoa

<i>Anova</i>					
	<i>G.L.</i>	<i>Soma de Quadrados</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>Estat. F</i>	<i>P-valor</i>
Fator	6	711,733742	118,62229	2,79167624	0,02177097
Resíduos	44	1869,62252	42,4914209		

<i>Níveis</i>	<i>Centro</i>	<i>Limite.Inferior</i>	<i>Limite.Superior</i>	<i>P-valor</i>
2-1	3,31071429	-8,1040324	14,7254609	0,97131682
3-1	2,48071429	-8,9340324	13,8954609	0,99354394
4-1	-1,2559524	-11,080202	8,56829734	0,99967052
5-1	7,50971429	-2,979714	17,9991426	0,31049641
6-1	5,73071429	-4,0935354	15,554964	0,55402268
7-1	8,43321429	0,51265094	16,3537776	0,03021071
3-2	-0,83	-15,06669	13,4066904	0,99999676
4-2	-4,5666667	-17,562927	8,42959412	0,92913956
5-2	4,199	-9,3071104	17,7051104	0,95982198
6-2	2,42	-10,576261	15,4162608	0,99722204
7-2	5,1225	-6,501709	16,746709	0,81887257
4-3	-3,7366667	-16,732927	9,25959412	0,97252511
5-3	5,029	-8,4771104	18,5351104	0,90854592
6-3	3,25	-9,7462608	16,2462608	0,98645112
7-3	5,9525	-5,671709	17,576709	0,6943077
5-4	8,76566667	-3,4259066	20,9572399	0,30566536
6-4	6,98666667	-4,6375424	18,6108757	0,51883081
7-4	9,68916667	-0,3776937	19,756027	0,06610075
6-5	-1,779	-13,970573	10,4125733	0,99929565
7-5	0,9235	-9,7934912	11,6404912	0,99996714
7-6	2,7025	-7,3643603	12,7693603	0,98050997

j) Eficiência na remoção de SST pelos RALFs

<i>Anova</i>					
	<i>G.L.</i>	<i>Soma de Quadrados</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>Estat. F</i>	<i>P-valor</i>
Fator	6	11380,76194	1896,793657	1,158098387	0,345852746
Resíduos	44	72065,48411	1637,851912		

<i>Níveis</i>	<i>Centro</i>	<i>Limite.Inferior</i>	<i>Limite.Superior</i>	<i>P-valor</i>
2-1	-6,783826445	-77,65228165	64,08462876	0,999938996
3-1	-28,50051757	-99,36897278	42,36793764	0,8735739
4-1	-39,64789026	-100,6417451	21,34596458	0,424515404

<i>Níveis</i>	<i>Centro</i>	<i>Limite.Inferior</i>	<i>Limite.Superior</i>	<i>P-valor</i>
5-1	-37,22519091	-102,348807	27,89842519	0,577396999
6-1	-32,88620416	-93,880059	28,10765068	0,641824089
7-1	-20,27671191	-69,45152979	28,89810597	0,860127235
3-2	-21,71669113	-110,1051841	66,67180184	0,987638611
4-2	-32,86406382	-113,5513495	47,82322189	0,866876283
5-2	-30,44136447	-114,2940515	53,41132255	0,918103943
6-2	-26,10237772	-106,7896634	54,58490799	0,951504845
7-2	-13,49288547	-85,66178777	58,67601684	0,99715914
4-3	-11,14737269	-91,8346584	69,53991302	0,999484967
5-3	-8,724673343	-92,57736036	75,12801368	0,999900541
6-3	-4,38568659	-85,0729723	76,30159912	0,999997865
7-3	8,22380566	-63,94509664	80,39270796	0,999830905
5-4	2,422699348	-73,26868395	78,11408265	0,99999991
6-4	6,761686101	-65,4072162	78,93058841	0,999946221
7-4	19,37117835	-43,12892441	81,87128111	0,960410606
6-5	4,338986753	-71,35239655	80,03037005	0,999997069
7-5	16,948479	-49,58796132	83,48491933	0,985096754
7-6	12,60949225	-49,89061051	75,10959501	0,995683941

I) Eficiência na remoção de SST pela lagoa

<i>Anova</i>					
	<i>G.L.</i>	<i>Soma de Quadrados</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>Estat. F</i>	<i>P-valor</i>
Fator	6	3318,020705	553,0034508	2,318700959	0,049529678
Resíduos	44	10493,87233	238,4970984		

<i>Níveis</i>	<i>Centro</i>	<i>Limite.Inferior</i>	<i>Limite.Superior</i>	<i>P-valor</i>
2-1	16,88632814	-10,15681706	43,92947335	0,473105846
3-1	1,550874486	-25,49227072	28,59401969	0,999997062
4-1	15,97987949	-7,295154068	39,25491304	0,359043412
5-1	22,00323044	-2,847705014	46,8541659	0,113488843
6-1	18,7029076	-4,572125954	41,97794115	0,190875848
7-1	12,46202069	-6,30291127	31,22695265	0,398681799
3-2	-15,33545366	-49,06418166	18,39327434	0,796564766
4-2	-0,906448659	-31,69642393	29,88352661	0,999999945
5-2	5,116902298	-26,88097862	37,11478322	0,998814877
6-2	1,816579456	-28,97339581	32,60655473	0,999996522
7-2	-4,424307454	-31,96369855	23,11508364	0,99878355
4-3	14,429005	-16,36097027	45,21898027	0,773173467
5-3	20,45235596	-11,54552496	52,45023688	0,444876036
6-3	17,15203311	-13,63794216	47,94200838	0,606394687

<i>Níveis</i>	<i>Centro</i>	<i>Limite.Inferior</i>	<i>Limite.Superior</i>	<i>P-valor</i>
7-3	10,9111462	-16,62824489	38,4505373	0,881095485
5-4	6,023350958	-22,86020609	34,90690801	0,994832992
6-4	2,723028115	-24,81636298	30,26241921	0,999926213
7-4	-3,517858795	-27,36767108	20,3319535	0,999251004
6-5	-3,300322843	-32,18387989	25,58323421	0,999828202
7-5	-9,541209752	-34,9312738	15,8488543	0,904856269
7-6	-6,24088691	-30,0906992	17,60892538	0,982888972

APÊNDICE 4 – RESULTADOS DO TESTE F E DO TESTE T NA COMPARAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DE 5%

Resultados do teste F e do teste T na comparação entre as médias das fases do projeto para o parâmetro DQO afluente à ETE Verde

Comparação entre as fases	Teste F			Teste T		
	Variâncias iguais	Estatística F	P-valor	Hipótese alternativa	Estatística T	P-valor
6 e 1	sim	0,6054	0,6053	Maior que	5,8232	$8,11 \cdot 10^{-6}$
7 e 1	sim	1,0550	0,9149	Maior que	7,7261	$2,91 \cdot 10^{-8}$
6 e 3	sim	0,4569	0,4153	Maior que	3,9582	0,0021
7 e 3	sim	0,7962	0,6737	Maior que	4,5754	0,0002
6 e 4	sim	0,2491	0,1534	Maior que	3,8550	0,0016
7 e 4	sim	0,4341	0,2312	Maior que	5,1511	$4,83 \cdot 10^{-5}$
7 e 5	sim	0,8479	0,7446	Maior que	3,4416	0,0018

Resultados do teste F e do teste T na comparação entre as médias das fases do projeto para o parâmetro DQO efluente dos RALFs

Comparação entre as fases	Teste F			Teste T		
	Variâncias iguais	Estatística F	P-valor	Hipótese alternativa	Estatística T	P-valor
6 e 1	não	6,7599	0,0052	Maior que	3,4924	0,0071
7 e 1	sim	2,4010	0,1357	Maior que	7,4492	$5,45 \cdot 10^{-8}$

Resultados do teste F e do teste T na comparação entre as médias das fases do projeto para o parâmetro DQO efluente da lagoa

Comparação entre as fases	Teste F			Teste T		
	Variâncias iguais	Estatística F	P-valor	Hipótese alternativa	Estatística T	P-valor
2 e 1	sim	0,2198	0,2382	Maior que	3,0655	0,0037
6 e 1	sim	0,3887	0,3043	Maior que	4,5246	0,0001
7 e 1	sim	0,3682	0,1054	Maior que	8,3599	$7,18 \cdot 10^{-9}$
4 e 2	sim	2,9575	0,4011	Maior que	-4,8843	0,0006
7 e 3	sim	0,4217	0,2525	Maior que	5,4859	$4,01 \cdot 10^{-5}$
6 e 4	sim	0,5978	0,5861	Maior que	6,2724	$4,61 \cdot 10^{-5}$
7 e 4	sim	0,5662	0,4010	Maior que	9,9789	$1,41 \cdot 10^{-8}$
7 e 5	sim	0,3855	0,1900	Maior que	5,6583	$2,27 \cdot 10^{-5}$

Resultados do teste F e do teste T na comparação entre as médias das fases do projeto para a eficiência na remoção de DQO pela lagoa

Comparação entre as fases	Teste F			Teste T		
	Variâncias iguais	Estatística F	P-valor	Hipótese alternativa	Estatística T	P-valor
4 e 1	sim	0,5582	0,5395	Maior que	2,8155	0,0057
5 e 1	não	0,0454	0,0088	Maior que	4,5991	0,0002
7 e 1	não	0,1884	0,0089	Maior que	3,3851	0,0016

Resultados do teste F e do teste T na comparação entre as médias das fases do projeto para o parâmetro SST afluente à ETE Verde

Comparação entre as fases	Teste F			Teste T		
	Variâncias iguais	Estatística F	P-valor	Hipótese alternativa	Estatística T	P-valor
6 e 1	sim	1,1094	0,8039	Maior que	6,1414	$4,22 \cdot 10^{-6}$
7 e 1	sim	2,9612	0,0664	Maior que	4,5023	$7,36 \cdot 10^{-5}$

Resultados do teste F e do teste T na comparação entre as médias das fases do projeto para o parâmetro SST efluente dos RALFs

Comparação entre as fases	Teste F			Teste T		
	Variâncias iguais	Estatística F	P-valor	Hipótese alternativa	Estatística T	P-valor
5 e 1	não	14,4561	0,0002	Maior que	3,7373	0,0092
6 e 1	não	25,2039	$5,83 \cdot 10^{-6}$	Maior que	3,7764	0,0061
7 e 1	não	12,0066	$8,79 \cdot 10^{-5}$	Maior que	4,4398	0,0004

Resultados do teste F e do teste T na comparação entre as médias das fases do projeto para o parâmetro SST efluente da lagoa

Comparação entre as fases	Teste F			Teste T		
	Variâncias iguais	Estatística F	P-valor	Hipótese alternativa	Estatística T	P-valor
7 e 1	não	5,3800	0,0055	Maior que	3,9734	0,0007