

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
ENGENHARIA AMBIENTAL

ALESSANDRA FREDDO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE LODO PROVENIENTE DE
DUAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DA REGIÃO
OESTE DO PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2014

ALESSANDRA FREDDO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE LODO PROVENIENTE DE
DUAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DA REGIÃO
OESTE DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental, da Coordenação de Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Periotto.

Co-orientador: Prof. Dr. Adelmo Lowe Pletsch.

MEDIANEIRA

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Medianeira
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE LODO PROVENIENTE DE DUAS
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DA REGIÃO OESTE DO PARANÁ**

por

ALESSANDRA FREDDO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 16:30h do dia 11 de dezembro de 2014, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Fernando Periotto
Orientador

Profa. Dra. Carla Daniela Câmara
Membro titular

Profa. Me. Marcia Antonia Bartolomeu Agustini
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho à Deus, minha
família e amigos, pelos momentos de
ausência.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo cuidado e carinho com que me guiou até aqui.

Ao Prof. Dr. Fernando Periotto pela orientação, incentivo, apoio, ensinamentos e amizade.

Ao Prof. Dr. Adelmo Lowe Pletsch, pela amizade, ensinamentos concedidos e pela oportunidade de realização deste trabalho.

À Thiara Reis Lopes, aluna de Mestrado do curso de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais da UTFPR - Câmpus Medianeira, pelo auxílio na realização das análises físico-químicas e pela amizade.

Aos colegas de graduação, pelo apoio, amizade e conhecimento compartilhado e pelos excelentes momentos de descontração.

Aos professores do curso de graduação em Engenharia Ambiental pelo conhecimento transmitido e apoio ao longo do curso.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pelo incentivo, carinho e compreensão.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Precisamos dar um sentido humano às
nossas construções. E, quando o amor ao
dinheiro, ao sucesso nos tiver deixando
cegos, saibamos fazer pausas para olhar
os lírios do campo e as aves do céu.
(VERÍSSIMO, Érico, 1996)

RESUMO

FREDDO, Alessandra. **Caracterização físico-química de lodo proveniente de duas estações de tratamento de esgoto da região oeste do Paraná**. 2014. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2014.

O aumento progressivo na urbanização vem implicando na geração de grande volume de águas residuais que não podem ser reaproveitadas e que quando dispostas de forma inadequada, acabam por poluir o meio ambiente gerando desequilíbrios ecológicos como o aceleração de processos de eutrofização e inviabilizando o uso de recursos naturais. Estes efluentes chamados de esgoto, devem receber tratamento para adequar-se ao poder de diluição específico de cada corpo hídrico. Os tratamentos empregados concentram e removem a matéria orgânica e outros poluentes, constituindo assim o lodo de esgoto. Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de caracterizar os parâmetros físico-químicos do lodo gerado nas ETE's dos municípios de Santa Helena e Medianeira, sendo que uma opera com lagoas de estabilização e a outra com Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF) respectivamente. As amostras de lodo foram coletadas nos meses de fevereiro e março, sendo avaliados os parâmetros pH, umidade, matéria orgânica, carbono total, fósforo total, potássio total, sólidos totais, sólidos fixos e voláteis. Os resultados mostraram que as amostras referentes as lagoas da ETE de Santa Helena e do ponto 1 da ETE de Medianeira possuem pH neutro sendo que apenas o ponto 2 apresentou pH relativamente ácido (pH=4,49). Foi verificado também alta umidade no ponto 1 com valores superiores a 90%. Este mesmo ponto apresentou baixa concentração de Sólidos Totais (valor médio de 6,53%) com 51,43%ST de Sólidos Voláteis e 47,76%ST de Sólidos Fixos. As amostras de lodo proveniente das lagoas da ETE de Santa Helena possuem valores baixos para nutrientes (3,12 g.kg⁻¹ para Fósforo Total e 0,423 g.kg⁻¹ para Potássio Total) sendo que se fossem destinados ao uso agrícola seria necessária uma suplementação mineral dos mesmos. Enquanto que os demais parâmetros demonstraram valores satisfatórios para uso agrícola. O ponto 2 referente ao leito de secagem da ETE de Medianeira também apresentou valores satisfatórios para os parâmetros analisados com vistas ao uso agrícola, sendo que apenas seria necessária a suplementação de nutrientes e a correção do pH. Já o lodo proveniente do reator demonstrou ser um lodo com características mais brutas onde o tempo de retenção é baixo. Para sua destinação final seria necessário passar por um processo de estabilização. Destaca-se também neste ponto o valor de fósforo presente no lodo que pode indicar alta concentração deste elemento no efluente devido a característica deste tipo de sistema que possui baixa eficiência na remoção deste composto, sendo que se destinado ao corpo receptor sem tratamento pós reator pode acarretar a eutrofização. A realização desta caracterização deve servir como base para comparação de estudos e contribuir em pesquisas voltadas ao tratamento e reuso agrícola de lodo de esgoto produzido por esses tipos de sistema.

Palavras-chave: Parâmetros. Reator Anaeróbio. Lagoas de Estabilização. Uso Agrícola. ETE.

ABSTRACT

FREDDO, Alessandra. **Physico-chemical characterization of sludge from two sewage treatment plants in the west of Paraná**. 2014. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2014.

The progressive increase in urbanization is resulting the generation of large volumes of wastewater that can't be reused and when disposed of improperly, pollute the environment generating ecological imbalances as the acceleration of eutrophication processes and render the use of natural resources. These effluents called sewage, should receive treatment to fit the specific power of dilution of each water body. The treatments concentrate and remove organic matter and other pollutants and so is the sewage sludge. This research was conducted in order to characterize the physical and chemical parameters of the sludge generated in in sewage treatment plants from the municipalities of Santa Helena and Medianeira, that one operates stabilization ponds and the other with Reactor Anaerobic Fluidized Bed (RALF) respectively. The sludge samples were collected in February and March, and evaluated the parameters pH, moisture, organic matter, total carbon, total phosphorus, total potassium, total, fixed and volatile solids. The results showed that the sludge samples from the stabilizations ponds of Santa Helena and the point 1 (ETE Medianeira) have neutral pH and only the point 2 showed relatively acidic pH (pH = 4,49). It was also seen high humidity in point 1 with values greater than 90%. This same point was low concentration of Total Solids (average 6,53%) with 51.43% ST Volatile solids and 47.76% ST Fixed Solid. The sludge samples from the ponds of Santa Helena ETE have low values for nutrients (3.12 g.kg^{-1} for Total Phosphorus and 0.423 g.kg^{-1} for Total Potassium) and that if they were intended for agricultural use would be necessary one mineral supplementation thereof. While the other parameters showed satisfactory values for agricultural use. Point 2 concerning the ETE of Medianeira drying bed also showed satisfactory values for the parameters analyzed with a view to agriculture, and only the supplementation of nutrients and pH correction would be necessary. Since the sludge from the reactor proved to be a more crude sludge characteristics where the retention time is low. For your final destination would be necessary to go through a process of stabilization. Also worth mentioning at this point, the Phosphorus values present in the sludge that may indicate high concentration of this element in the effluent due to characteristic of this type of system has low efficiency in the removal of this compound, and is intended for receiving body without post reactor treatment can cause eutrophication. The realization of this characterization should serve as a basis for comparison studies and contribute in research aimed at the treatment and agricultural reuse of sewage sludge produced by these types of system.

Keywords: Parameters. Anaerobic Reactor. Stabilization ponds. Agricultural use. ETE.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ETE DE SANTA HELENA, PR.....	33
FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO E OS PONTOS ONDE FORAM REALIZADAS AS COLETAS NA ETE DE SANTA HELENA - PR.....	34
FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DA ETE DE MEDIANEIRA, PR.....	35
FIGURA 4 - ESQUEMA REPRESENTANDO O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE MEDIANEIRA E OS PONTOS ONDE FORAM COLETADAS AS AMOSTRAS.....	35
QUADRO 1 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DO RALF	20
QUADRO 2 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SISTEMA AUSTRALIANO. ...	22

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - pH DAS AMOSTRAS DE LODO DA ETE DE SANTA HELENA E MEDIANEIRA REFERENTE AOS MESES DE FEVEREIRO E MARÇO. LAGOAS 1 A 4: ETE SANTA HELENA. PONTOS 1 E 2: ETE MEDIANEIRA	42
GRÁFICO 2 - UMIDADE DAS AMOSTRAS DE LODO DA ETE DE SANTA HELENA E MEDIANEIRA REFERENTE AOS MESES DE FEVEREIRO E MARÇO. LAGOAS 1 A 4: ETE SANTA HELENA. PONTOS 1 E 2: ETE MEDIANEIRA	43
GRÁFICO 3 - MATÉRIA ORGÂNICA PRESENTE NAS AMOSTRAS DE LODO DA ETE DE SANTA HELENA E MEDIANEIRA REFERENTE AOS MESES DE FEVEREIRO E MARÇO. LAGOAS 1 A 4: ETE SANTA HELENA. PONTOS 1 E 2: ETE MEDIANEIRA.	45
GRÁFICO 4 - CARBONO TOTAL PRESENTE NAS AMOSTRAS DE LODO DA ETE DE SANTA HELENA E MEDIANEIRA REFERENTE AOS MESES DE FEVEREIRO E MARÇO. LAGOAS 1 A 4: ETE SANTA HELENA. PONTOS 1 E 2: ETE MEDIANEIRA.	46
GRÁFICO 5 - SÓLIDOS TOTAIS PRESENTE NAS AMOSTRAS DE LODO DA ETE DE SANTA HELENA E MEDIANEIRA REFERENTE AOS MESES DE FEVEREIRO E MARÇO. LAGOAS 1 A 4: ETE SANTA HELENA. PONTOS 1 E 2: ETE MEDIANEIRA.	47
GRÁFICO 6 - PORCENTAGEM DE SÓLIDOS FIXOS PRESENTE NAS AMOSTRAS DE LODO DA ETE DE SANTA HELENA E MEDIANEIRA REFERENTE AOS MESES DE FEVEREIRO E MARÇO. LAGOAS 1 A 4: ETE SANTA HELENA. PONTOS 1 E 2: ETE MEDIANEIRA.	48
GRÁFICO 7 - PORCENTAGEM DE SÓLIDOS VOLÁTEIS PRESENTE NAS AMOSTRAS DE LODO DA ETE DE SANTA HELENA E MEDIANEIRA REFERENTE AOS MESES DE FEVEREIRO E MARÇO. LAGOAS 1 A 4: ETE SANTA HELENA. PONTOS 1 E 2: ETE MEDIANEIRA.	49
GRÁFICO 8 - TEOR DE FÓSFORO TOTAL PRESENTE NAS AMOSTRAS DE LODO DA ETE DE SANTA HELENA E MEDIANEIRA REFERENTE AOS MESES DE FEVEREIRO E MARÇO. LAGOAS 1 A 4: ETE SANTA HELENA. PONTOS 1 E 2: ETE MEDIANEIRA.	50

GRÁFICO 9 - TEOR DE POTÁSSIO TOTAL PRESENTE NAS AMOSTRAS DE LODO DA ETE DE SANTA HELENA E MEDIANEIRA REFERENTE AOS MESES DE FEVEREIRO E MARÇO. LAGOAS 1 A 4: ETE SANTA HELENA. PONTOS 1 E 2: ETE MEDIANEIRA51

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PRODUÇÃO DE LODO DE ESGOTO EM SISTEMAS AERÓBIOS E ANAERÓBIOS.....	24
TABELA 2 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DE TIPOS DE LODO DO PARANÁ E OUTROS MATERIAIS ORGÂNICOS	28

LISTA DE SIGLAS

DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
MO	Matéria Orgânica
pH	Potencial Hidrogeniônico
RALF	Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado
SF	Sólidos Fixos
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
USEPA	United States Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVO GERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 ESGOTO SANITÁRIO	18
2.1.1 Poluição dos recursos hídricos – Eutrofização	18
2.1.2 Tratamento de esgoto.....	19
2.1.2.1 Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado – RALF.....	20
2.1.2.2 Lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas (sistema australiano).....	21
2.2 LODO DE ESGOTO.....	22
2.2.1 Características físico-químicas	24
2.2.1.1 Potencial Hidrogeniônico – pH.....	24
2.2.1.2 Umidade.....	25
2.2.1.3 Sólidos Totais – ST	25
2.2.1.4 Sólidos Fixos – SF	26
2.2.1.5 Sólidos Voláteis – SV.....	26
2.2.1.6 Nutrientes.....	27
2.2.1.6.1 Matéria Orgânica	28
2.2.1.6.2 Fósforo Total.....	28
2.2.1.6.3 Potássio Total	29
2.2.1.7 Carbono Total	29
2.2.2 Tratamento do lodo.....	29
2.2.2.1 Condicionamento	30
2.2.2.2 Adensamento	30
2.2.2.3 Estabilização	30
2.2.2.4 Desidratação	30
2.2.2.5 Higienização	31
2.2.3 Destinação final	31
2.2.3.1 Reuso do lodo como fertilizante orgânico	31
2.2.3.1.1 Legislação vigente	32
3 MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1 ÁREA DE ESTUDO	33
3.1.1 Município de Santa Helena.....	33
3.1.2 Município de Medianeira.....	34
3.2 PREPARO DOS MATERIAIS PARA A COLETA	36
3.3 COLETA DAS AMOSTRAS	36
3.4 PREPARAÇÃO DAS VIDRARIAS PARA AS ANÁLISES.....	36
3.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	36

3.5.1 Determinação do potencial hidrogeniônico (pH) das amostras.....	36
3.5.2 Determinação da umidade.....	37
3.5.3 Determinação da Matéria Orgânica.....	37
3.5.4 Determinação do Carbono Total.....	38
3.5.5 Determinação de Fósforo Total e Potássio Total.....	38
3.5.6 Determinação de Fósforo.....	38
3.5.7 Determinação dos padrões de Fósforo.....	39
3.5.8 Extração e determinação do fósforo.....	39
3.5.9 Determinação de Potássio.....	39
3.5.10 Determinação de Sólidos Totais.....	40
3.5.11 Determinação de Sólidos Fixos.....	40
3.5.12 Determinação de Sólidos Voláteis.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO – PH.....	41
4.2 UMIDADE.....	43
4.3 MATÉRIA ORGÂNICA.....	44
4.4 CARBONO TOTAL.....	45
4.5 SÓLIDOS TOTAIS – ST.....	46
4.6 SÓLIDOS FIXOS – SF.....	47
4.7 SÓLIDOS VOLÁTEIS - SV.....	48
4.8 FÓSFORO TOTAL.....	49
4.9 POTÁSSIO TOTAL.....	51
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

O crescimento exponencial da população vem gerando em grandes centros urbanos situações de concentração desordenada e urbanização sem planejamento, implicando em moradias irregulares, muitas vezes em condições precárias. Este fator contribui para a formação de cidades sem infraestrutura e serviços inadequados a população como o saneamento básico.

O saneamento básico é uma das condições imprescindíveis para a população que visa a qualidade de vida. Mesmo com estas premissas, atualmente grande parte do esgoto produzido é despejado de forma indiscriminada em corpos hídricos sem qualquer tipo de tratamento, um dos principais causadores de condições ambientais precárias.

Esta poluição indiscriminada de corpos d'água aumenta a incidência de doenças veiculadas pela água e custos no tratamento para abastecimento, ou seja, o saneamento está diretamente relacionado com nível de desenvolvimento das cidades. Investimentos em saneamento diminuem a incidência de doenças relacionadas à ingestão de água contaminada, diminuindo assim a demanda por investimento público em tratamento de doenças deste cunho.

Para isto, a medida que vem sendo empregada com eficiência é o tratamento de águas servidas em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's). Estas unidades têm como função fazer com que o efluente gerado nas cidades possua condições adequadas para serem incorporadas novamente à natureza sem prejudicar o meio ambiente. Mas em consequência deste processo, outro resíduo é gerado, o lodo de esgoto.

O lodo de esgoto é um resíduo semi sólido e heterogêneo, que é resultado do tratamento de efluentes urbanos, sendo que sua composição varia quanto: ao percentual de umidade, aos nutrientes, à MO, micro organismos, elementos inorgânicos e compostos potencialmente tóxicos ao ambiente (ABREU JUNIOR et al., 2005).

Este lodo é concentrador de diversos compostos e elementos que podem oferecer risco a saúde da população e ao meio ambiente caso não sejam controlados e monitorados de forma adequada. Assim, suas características são

fundamentais para a definição da melhor forma de disposição final sem expor a saúde populacional e o meio ambiente.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente trabalho foi caracterizar o lodo de esgoto produzido por duas estações de tratamento de esgoto a partir da avaliação de parâmetros físico-químicos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Determinar os parâmetros pH, umidade, matéria orgânica, carbono total, fósforo total, potássio total, sólidos totais, sólidos fixos e voláteis.
- ii. Comparar os resultados encontrados com valores citados pela literatura.
- iii. Comparar os resultados com a legislação vigente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ESGOTO SANITÁRIO

A expansão progressiva da urbanização traz consigo o aumento do consumo de água que conseqüentemente produz um grande volume de águas residuais que não podem ser reaproveitadas e que quando dispostas de forma inadequada, acabam por poluir o ambiente receptor gerando desequilíbrios ecológicos e inviabilizando o uso de recursos naturais como a água na região atingida. Estes efluentes em conjunto com a água de drenagem urbana formam o esgoto.

As cidades contribuem na geração de esgoto a partir de três fontes distintas: esgotos domésticos (residências, instituições e comércio); águas de infiltração e despejos industriais (diversas origens e tipos de indústrias). Este esgoto terá suas características relacionadas à variação do uso da água, ou seja, varia em função do clima, da situação social e econômica e também de hábitos da população. O esgoto doméstico é constituído de aproximadamente 99,9% de água sendo que a fração restante corresponde a sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como micro organismos. Em função desta menor fração (0,1%) se faz necessário o tratamento do esgoto (VON SPERLING, 1996).

Muitas cidades brasileiras ainda não possuem rede de coleta e sistemas de tratamento de esgoto, sendo que, muitas vezes, o esgoto é lançado diretamente em corpos hídricos, resultando em situações de extrema poluição. Visando amenizar este problema, políticas de incentivo ao saneamento básico foram criadas e Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) foram instaladas visando tratar este efluente antes de ser devolvido aos mananciais (PIRES, 2006).

2.1.1 Poluição dos recursos hídricos – Eutrofização

A eutrofização é um processo natural de envelhecimento dos lagos naturais e artificiais, motivado pela acumulação de materiais minerais e orgânicos trazidos por cursos de água, que a ele afluem, e por águas drenantes da bacia hidrográfica (MONTEIRO. 2004). Este processo ocorre de forma lenta, pois a deposição da

matéria orgânica acontece de forma gradual. Assim, este fenômeno ocorre em intervalos de tempo muito grande de forma natural.

A interferência antrópica como o despejo de esgoto sem tratamento vem acelerando o processo de eutrofização de corpos d'água devido ao aporte excessivo de nutrientes no meio, criando condições ideais para a proliferação de algas e macrófitas.

Elevadas concentrações de nutrientes na água, principalmente fosfato e compostos nitrogenados, aumento da intensidade luminosa e da temperatura da águas (de 15 a 30° C), pH entre 6 e 9 e altas taxas de evaporação durante os períodos de estiagem, contribuem, significativamente, para a proliferação excessiva das algas, em episódios denominados "*blooms*" ou florações causando transtornos nas estações de tratamento de água devido ao entupimento de filtros e também prejudicando a qualidade da água conferindo gosto e odor a mesma, sem contar nos riscos à saúde (ZAGATTO et al., 1997).

Assim, todo esgoto produzido deve receber tratamento para adequar-se ao poder de diluição específico de cada corpo receptor. Os tratamentos empregados concentram e removem a matéria orgânica e outros poluentes, constituindo assim o lodo de esgoto. Estes sistemas de tratamento geralmente utilizam tratamentos biológicos que fazem uso de micro organismos presentes no próprio lodo de esgoto para degradar a matéria orgânica e purificar a água (SANEPAR; PROSAB, 1999).

2.1.2 Tratamento de esgoto

As estações de tratamento biológico de esgoto visam, em essência, utilizar de fenômenos que ocorrem naturalmente nos ambientes a partir de organismos presentes no solo e na água. Estas procuram sempre, otimizar os processos e minimizar custos buscando a maior eficiência possível para atendimento de restrições impostas para proteção dos corpos receptores (CAMPOS, 1999).

Neste contexto, existem diversos tipos de alternativas para tratamento de esgoto que incluem a simples disposição em solo de forma controlada como também sofisticadas estações de tratamento completamente otimizadas. Assim, cada cidade, em função de suas próprias características, deve sempre escolher a solução que

corresponda uma eficiência e custos compatíveis com as circunstâncias que prevalecem no local (CAMPOS, 1999).

2.1.2.1 Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado – RALF

Os reatores anaeróbios são sistemas de tratamento fechados onde se processa a digestão do esgoto, na ausência de oxigênio (SAAE, 2006).

O Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF) é uma tecnologia de tratamento desenvolvida pela SANEPAR a partir de modificações construtivas do UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). O RALF possui um tanque de *Imhoff* de fluxo vertical, que apresenta câmaras de sedimentação e digestão anaeróbia sobrepostas (AISSE et al., 2000). Neste sistema o esgoto a ser tratado passa no fundo do reator e também através de uma camada de lodo biológico, o qual transforma a matéria orgânica em biogás. O gás produzido no sedimentador tem sua entrada evitada através de defletores, sendo este gás enviado somente a determinadas áreas do reator. A porção de lodo que atinge o sedimentador é separada (fisicamente) e retorna ao fundo do reator. O efluente é retirado uniformemente da superfície do sedimentador (SOUZA, 1986 *apud* AISSE et al., 2000).

Algumas vantagens e desvantagens do uso do RALF para tratamento de esgoto estão apresentados no quadro 1

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • A simplicidade na construção e operação ocasiona um baixo investimento e custo operacional; • Baixo consumo de energia (sem aeração); • O reator RALF pode ser aplicado para qualquer população • O excesso de produção de lodo é baixo. • A alimentação do reator pode ser paralisada por meses, sem prejuízo na eficiência do tratamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • A remoção de DBO é limitada a 70 a 80%; • O processo somente se aplica a esgotos com temperaturas maiores que 15°C; • A remoção de nutrientes é baixa; • A remoção de coliformes e patógenos é baixa.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens do RALF.

Fonte: Adaptado de Baréa, (2006).

2.1.2.2 Lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas (sistema australiano)

O uso de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa para o tratamento de efluentes é chamado de sistema australiano.

Nas lagoas anaeróbias o tratamento do efluente é feito a partir da ação biológica onde a estabilização da matéria orgânica é realizada predominantemente por processos de fermentação anaeróbia, abaixo da superfície, onde não existe oxigênio dissolvido (SAAE, 2006).

Estas lagoas anaeróbias são caracterizadas por receberem uma carga de aplicação de DBO muito superior do que aquelas fixadas para lagoas facultativas, resultando em uma menor área de implantação. Isto implica em degradação da matéria orgânica na forma anaeróbia em toda a lagoa. Os processos anaeróbios são mais lentos e começam a ter um rendimento mais eficiente na faixa de temperaturas entre 25 a 35°C, comum em grande parte do território brasileiro (NUVOLARI et al., 2003).

No entanto, a eficiência de remoção de DBO nas lagoas anaeróbias é de 50% a 70%. Isto implica em DBO elevada ainda no efluente, havendo assim a necessidade de uma unidade posterior de tratamento. As unidades mais utilizadas são as lagoas facultativas (VON SPERLING, 2006).

As lagoas facultativas são sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica ocorre a partir da ação de micro organismos aeróbios e anaeróbios, simultaneamente (SAAE, 2006).

O processo de tratamento do esgoto em lagoas anaeróbias é realizado em três zonas da lagoa: zona anaeróbia, zona aeróbia e zona facultativa (VON SPERLING, 2006).

A matéria orgânica que sedimenta forma o lodo de fundo e sofre tratamento anaeróbio, já a matéria orgânica dissolvida e a em suspensão são tratadas na superfície da lagoa por micro organismos aeróbios. Na zona aeróbia existe um equilíbrio entre o consumo e a produção de oxigênio e gás carbônico. As lagoas facultativas dependem da fotossíntese para a produção de oxigênio, desta forma, a eficiência desse tipo de sistema de tratamento depende da disponibilidade de grandes áreas para a exposição à luz solar, podendo chegar a valores de 70 a 90% de remoção de DBO (BDT, 2014).

A aplicação sequencial das lagoas anaeróbia e facultativa é bastante empregada pois a remoção de DBO na lagoa anaeróbia proporciona uma substancial economia de área para a lagoa facultativa, fazendo com que o requisito de área total (lagoa anaeróbia mais facultativa) seja em torno de 45 a 70% do requisito de uma lagoa facultativa única (VON SPERLING, 2006).

O quadro 2 apresenta algumas das vantagens e desvantagens da utilização do sistema australiano para o tratamento de esgoto.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Satisfatória eficiência na remoção de DBO; • Construção, operação e manutenção simples; • Reduzidos custos de implantação e operação; • Ausência de equipamentos mecânicos; • Requisitos energéticos praticamente nulos; • Requisitos de área inferiores aos das lagoas facultativas únicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificuldade em satisfazer padrões de lançamento restritivos; • Possível necessidade de remoção de algas do efluente para o cumprimento de padrões rigorosos; • Performance variável com as condições climáticas (temperatura e insolação); • Possibilidade de crescimento de insetos; • Possibilidade de maus odores na lagoa anaeróbia; • Necessidade de remoção contínua ou periódica do lodo da lagoa anaeróbia.

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens do sistema australiano.
Fonte: Adaptado de Von Sperling, (2006).

2.2 LODO DE ESGOTO

O termo “lodo” é utilizado para designar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos. Em processos biológicos, parte da matéria orgânica é absorvida e convertida por micro organismos, fazendo parte da biomassa microbiana, chamado genericamente de lodo biológico ou secundário, composto principalmente de sólidos biológicos (ANDREOLI et al., 2006 *apud* PEDROZA et al., 2010).

Cada tipo de tratamento aplicado a esgotos possui suas próprias características que conseqüentemente interferem na formação do lodo, sendo que a produção de lodo é variável em função do tipo de tratamento empregado (SANEPAR; PROSAB, 1999).

A tabela 1 indica a variação na produção de lodo em sistemas de tratamento aeróbio e anaeróbio.

Tabela 1 - Produção de lodo de esgoto em sistemas aeróbios e anaeróbios.

Tipo de Tratamento	Quantidade de lodo produzida (m³/hab.ano)
Lagoa Facultativa	0,03 - 0,08
Lagoa Anaeróbia - Lagoa Facultativa	0,01 - 0,04
Lodos ativados convencionais	1,1 - 1,5
Reator anaeróbio de manta de lodo	0,07 - 0,1

Fonte: Adaptado de SANEPAR e PROSAB (1999).

No Brasil estima-se que a produção de lodo está entre 150 a 220 mil toneladas de matéria seca por ano. Sendo que apenas 30% da população urbana possui coleta e tratamento de esgoto, ou seja, a geração de lodo poderia superar 400 mil toneladas por ano caso os esgotos fossem totalmente tratados no país (SOARES, 2004 *apud* PEDROZA et al., 2010). Assim a ampliação dos serviços de coleta e tratamento teria potencial para multiplicar a produção desse resíduo no país em 3 a 4 vezes (ANDREOLI, 2002 *apud* PEDROZA et al., 2010).

Para que se possa dar um destino correto para a fase sólida proveniente de estações de tratamento de esgoto é necessário conhecer as características deste lodo a ser processado. Estas irão variar em função da origem dos sólidos, da quantidade gerada e do tipo de processo em que eles foram anteriormente submetidos (NUVOLARI et al., 2003).

Os sólidos removidos no fundo de decantadores primários são chamados de lodos primários. Estes apresentam coloração cinza, odor ofensivo, são extremamente viscosos e são resultantes da perda de carga das tubulações. Devido a estes fatores necessita ser digerido antes da destinação final. O lodo primário quando removido do decantador possui teores de sólidos totais na ordem de 1 a 7%, variando em função do tipo de decantador utilizado e da forma de remoção do lodo (NUVOLARI et al., 2003).

Já o lodo secundário que é proveniente de sólidos dos decantadores secundários e o descartado do sistema de lodos ativados convencionais, apresenta geralmente coloração marrom e possuem aparência floculenta. O lodo com cor mais escura está se aproximando das condições sépticas, já se a cor é mais clara que o normal, o lodo é fresco e bem aerado. O lodo secundário fresco apresenta um

inofensivo odor de terra úmida mas apresentam a tendência de rapidamente tornarem-se sépticos o que provoca odor de material em putrefação. Ou seja, este tipo de lodo também necessita passar por um processo de digestão antes da disposição final. O lodo secundário apresenta uma faixa de sólidos totais variando entre 0,5 a 1,5% (METCALF; EDDY, 1991 *apud* NUVOLARI et al., 2003).

2.2.1 Características físico-químicas

Para determinação da melhor disposição final do lodo é necessário conhecer suas características físico-químicas, como por exemplo, a matéria orgânica, nutrientes, compostos orgânicos potencialmente tóxicos, entre outros.

As características físico-químicas de lodos dependem da composição das águas residuais e dos processos empregados para o tratamento. Sabe-se que estas características variam anualmente, sazonalmente ou até mesmo diariamente, em consequência das variações nas características do esgoto. Processos de tratamento diferem no tipo e volume do lodo gerado e isto influencia diretamente nas técnicas de desidratação, higienização e disposição final do material (GONÇALVES et al., 1999).

2.2.1.1 Potencial Hidrogeniônico – pH

O pH pode ser considerado um bom indicador do estado de decomposição da matéria orgânica. Em caso de acidez do lodo é preciso a correção do pH para favorecimento da decomposição dos compostos orgânicos (KIEHL, 1985 *apud* CORREIA, 2009). Devido ao aumento do pH, a atividade microbiana é favorecida aumentando assim a mineralização da matéria orgânica e conseqüentemente o aumento da disponibilidade de micronutrientes como o cobre por exemplo (LUCHESE et al., 2002 *apud* CORREIA, 2009).

Outro fator importante relacionado ao pH é sua eficácia como agente de desinfecção. Os organismos patogênicos expostos a níveis extremos de pH, com níveis iguais ou superiores a 12, tendem a ser destruídos (SANEPAR; PROSAB, 1999).

Costa et al. (2013), indicam um pH médio de 7,9 para o lodo proveniente da ETE de Jundiaí – SP que opera com duas etapas subsequentes: digestão aeróbia e estabilização anaeróbia em lagoas de decantação, onde o lodo foi utilizado em experimentos de aplicação agrícola. No entanto, Maria et al. (2010), apresentam pH = 6,3 para lodo de esgoto aplicado em solo agrícola.

Taveira et al. (2001) apontam um pH de 7,6 para o sistema de tratamento de Município da Serra - ES que opera com uma lagoa anaeróbia seguida de uma facultativa (sistema australiano).

2.2.1.2 Umidade

Um grande obstáculo enfrentado para uso agrícola do lodo é o transporte desse resíduo da ETE até a propriedade agrícola. Os custos são geralmente altos principalmente quando o transporte é realizado por veículos fretados. Desta forma a umidade está diretamente relacionada com o volume a ser transportado e com o custo de deslocamento do mesmo. Reduzindo o teor de sólidos de 100 para 85%, o volume se reduz a 1/3 do volume inicial (SANEPAR; PROSAB, 1999).

Outro fator relacionado a umidade é a eficiência na calagem. Os estudos realizados pela PROSAB e SANEPAR (1999), indicam uma melhor eficiência quando o lodo encontra-se no teor de umidade de 65 a 75%. Esta faixa de umidade permite uma boa reação da cal com a água contida no lodo, promovendo boa reação exotérmica (aumento da temperatura) e boa plasticidade, o que é fundamental para homogeneização da cal com o lodo e, portanto, boa homogeneidade do pH.

Estudos realizados com aplicação de lodo na agricultura indicam umidade para o lodo de 64,6% (Costa et al., 2014) e 68,2% (Maria et al., 2010).

2.2.1.3 Sólidos Totais – ST

Segundo a Norma USEPA (2004), sólidos totais são os resíduos que permanecem no lodo de esgoto quando este é seco à temperatura de 103 a 105 graus Celsius.

Os sólidos totais e sólidos voláteis podem ser parâmetros utilizados para monitorar o grau de estabilização da matéria orgânica e conseqüentemente o teor de putrefação do lodo que conseqüentemente está relacionado a sua capacidade de produzir odores ofensivos e atrair vetores transmissores de doença, como ratos, aves e insetos (CORREIA, 2009). Já a redução para valores inferiores ou iguais a 38% de sólidos voláteis e 90% de sólidos totais, para lodos secos em leito de secagem é um dos critérios adequados para redução da atratividade de vetores (BRASIL, 2006 *apud* CORREIA, 2009).

A Resolução CONAMA, 375/06, estabelece a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais no lodo, sendo que se esta relação for inferior a 0,70 o lodo é considerado estável.

2.2.1.4 Sólidos Fixos – SF

O aparecimento de vetores em locais de aplicação e estocagem do lodo estão associadas às más condições de estabilização do lodo, as quais podem ser avaliadas pelos sólidos fixos (teor de cinzas) do lodo, fixado como patamar mínimo para utilização agrícola em 30%, pois mesmo com 30% pode ocorrer problemas com odor (SANEPAR; PROSAB, 1999).

2.2.1.5 Sólidos Voláteis – SV

Os sólidos voláteis correspondem a quantidade de sólidos totais no lodo de esgoto eliminado quando esse sofre combustão à temperatura de 550 graus Celsius, que corresponde ao material orgânico volatilizado, ou seja, esse é o parâmetro mais utilizado para avaliação dos teores de matéria orgânica (USEPA, 2004).

Tal parâmetro indica a digestão do lodo, sendo o valor atual estabelecido numa redução de 45 a 50%, fator geralmente relacionado com as condições de projeto da unidade, carga aplicada, tempo de retenção e condições, critérios de operação entre outros. Dessa forma o lodo bruto possui uma porcentagem de sólidos voláteis entre 60 a 80%ST. Já o lodo digerido possui uma faixa de sólidos voláteis de 30 a 60%ST (SANEPAR; PROSAB, 1999).

Maria et al. (2010), indicaram um valor de sólidos voláteis de 56,9%ST e Costa et al. (2014), apresentaram um teor de sólidos voláteis de 57,1%ST, sendo ambos os lodos utilizados para análises de uso em solo agrícola.

Em processos de tratamento com baixos tempos de retenção, o lodo apresenta baixos teores de sólidos totais (ST) e elevados percentuais de sólidos voláteis (SV), exigindo uma outra etapa para estabilização deste lodo. Um tempo de retenção elevado permite o adensamento e digestão anaeróbia extensiva. A degradação dos sólidos por períodos de mais de um ano permite até mesmo a decomposição do material orgânico de biodegradação mais lenta (GONÇALVES et al., 1999).

2.2.1.6 Nutrientes

O lodo de esgoto para uso agrícola tem despertado interesse devido ao seu teor de nutrientes e ao conteúdo de matéria orgânica.

De modo geral os nutrientes encontrados no lodo de esgoto são superiores aos presentes nos materiais orgânicos de uso habitual na agricultura (Tabela 2). O lodo de esgoto apresenta grandes concentrações de fósforo e apresenta baixa solubilidade no solo. Já o potássio apresenta-se em níveis geralmente inferiores a 1% no lodo de esgoto, por esse elemento ser muito solúvel e não ficar retido (GONÇALVES et al., 1999).

Tabela 2 - Composição média de tipos de lodo do Paraná e outros materiais orgânicos.

Material	Água (%)	Matéria Orgânica	P (%)	K (%)
Lodo aeróbio Calado	85	69,4	0,9	0,2
Lodo anaeróbio	65	36,2	0,2	0,05
Esterco de Bovinos	83,5	14,6	1,17	0,1
Esterco de Suínos	81	12	0,6	0,3

Fonte: Adaptado de SANEPAR e PROSAB (1999).

2.2.1.6.1 Matéria Orgânica

Uma das vias de incorporação de nutrientes no solo é a matéria orgânica, esta durante seu processo de mineralização fornece todos os seus nutrientes para a solução do solo (LUCHESE et al., 2002 *apud* CORREIA, 2009).

A matéria orgânica no solo melhora a resistência a erosão e ao adensamento, ativando assim a vida microbiana dos solos e aumentando a resistência das plantas a pragas e doenças (SANEPAR; PROSAB, 1999).

2.2.1.6.2 Fósforo Total

Fruto da dissolução do solo, o fósforo pode também originar-se a partir da decomposição da matéria orgânica e fazer parte de algumas proteínas existentes nas fezes humanas. Assim sendo, o fósforo presente no tratamento de esgoto tem origem nos dejetos, nas células de microrganismos que atuam no tratamento do esgoto e nos detergentes e outros produtos utilizados na limpeza doméstica que possuem fosfatos em sua composição (MAGALHÃES, 2008 *apud* CORREIA, 2009). O valor de fósforo total encontrado em lodo por Maria et al. (2010) é de 8,6 g. kg⁻¹ e para Costa et al. (2014), de 8,2 g.kg⁻¹.

Nos tratamentos exclusivamente aeróbios, parte do fósforo dos despejos é removido por incorporação no lodo biológico, mas os resíduos nos efluentes ainda são elevados, causando assim a eutrofização do corpo receptor. A utilização de sistemas híbridos (anaeróbios/anóxicos/aeróbios) levam a um aumento na remoção de fósforo dos efluentes. Nestes sistemas ocorre a liberação do fósforo das moléculas em meio anaeróbio, tornando-o mais disponível para os microrganismos presentes nas zonas aeróbias do sistema de tratamento. Mesmo assim, o nível de remoção de fósforo pode ser insuficiente para controlar o desenvolvimento de algas, em diversas situações (PIVELI, 2011).

A remoção de fósforo em tratamento de esgoto realizado por reator anaeróbio é estimada em 10 a 20%, sendo que para sistemas australianos esse valor é da baixa de 20 a 60% (SABESP; AESBE, 2009).

2.2.1.6.3 Potássio Total

O lodo não tem sido indicado como uma boa fonte de potássio, pois possui baixo teor desse elemento, não sendo capaz de suprir as necessidades das plantas em relação a este elemento especificadamente (MELO et al., 2000 *apud* CORREIA, 2009), ou seja, para uso do lodo na agricultura existe a necessidade de adição de uma fonte mineral que forneça as condições adequadas de potássio (GUEDES et al., 2006 *apud* CORREIA, 2009).

Costa et al. (2014) citam como concentração de fósforo total em lodo utilizado em estudos para aplicação agrícola de 2,8 g.kg⁻¹.

2.2.1.7 Carbono Total

O carbono contribui para a ciclagem de nutrientes essenciais no desenvolvimento de vegetais. Quando aplicado no solo, demanda uma menor quantidade de insumos, maior compactação e retenção de água (MAGALHÃES, 2008 *apud* CORREIA, 2009). O uso do lodo na agricultura gera incremento no estoque de carbono em camadas superficiais do solo dependendo da dose aplicada e da sua composição química. Com a aplicação contínua do lodo ocorre maior acúmulo de substâncias húmicas no solo, mantendo assim as proporções de carbono e matéria orgânica deste (DIAS et al., 2007 *apud* CORREIA, 2009).

2.2.2 Tratamento do lodo

O tratamento do lodo vem conquistando espaço no Brasil em função do aumento do número de Estações de Tratamento de Esgoto instaladas e pela necessidade em atender às exigências ambientais. O tratamento tem por objetivo gerar um produto mais estável e com menor volume facilitando seu manuseio e reduzindo custos nos processos subsequentes (PEDROZA et al., 2010).

2.2.2.1 Condicionamento

O condicionamento é o processo físico empregado através de tratamento térmico ou químico com o uso de produtos inorgânicos, orgânicos ou associados para que partículas menores de lodo se unam às partículas maiores formando agregados: os flocos. Tal processo beneficia as fases seguintes de tratamento, influenciando positivamente a eficiência dos processos mecanizados (CORREIA, 2009).

2.2.2.2 Adensamento

O adensamento do lodo visa a redução de volume sendo que consiste no aumento da concentração de sólidos, através da remoção parcial da água que caracteriza o seu grau de umidade. Na maioria dos sistemas, é necessário que o lodo antes de ser desidratado passe pelo sistema de adensamento. As alternativas de adensamento incluem o adensamento por gravidade e por flotação (SANEPAR; PROSAB, 1999).

2.2.2.3 Estabilização

A necessidade de estabilização do lodo está ligada principalmente a duas características negativas do lodo fresco: produção de odores e conteúdo de micro organismos patogênicos, sendo que, na prática, um lodo pode ser “estabilizado” por outros métodos além dos processos de biodegradação. Estes dois fatores têm importância variável, de acordo com o destino final em que o lodo será empregado. Esta atenuação é dada em função da redução de matéria orgânica presente no lodo ou seja, através da redução de sólidos voláteis (ANDREOLI, 2001).

2.2.2.4 Desidratação

A desidratação de lodo é uma operação unitária que visa a redução adicional de umidade e conseqüente redução de volume. A capacidade de desidratação varia

com o tipo de lodo. A desidratação é realizada para reduzir custos de transporte para o local de disposição final, melhorar as condições de manejo do lodo e reduzir o volume para disposição final (ANDREOLI, 2001).

2.2.2.5 Higienização

A higienização visa reduzir e eliminar a densidade de microrganismos patogênicos a fim de gerar condições que garantam o uso seguro desse material. Esta é uma importante ferramenta para a ampliação do leque de opções seguras para manuseio e disposição do lodo no solo (GONÇALVES; LUDOVICE, 2000 *apud* ANDREOLI, 2001).

2.2.3 Destinação final

A questão da destinação final do lodo de esgoto permaneceu esquecida por um bom período no Brasil, até que modernas e eficientes estações de tratamento de esgoto foram instaladas sem qualquer plano para destinação do lodo gerado. Em muitos casos, o lodo foi acumulado nas áreas próximas às estações, com riscos ambientais imprevisíveis (FERNANDES; SILVA, 1999).

Visando solucionar esse problema, diversos meios de tratamento e disposição final foram criados sendo eles, disposição em aterros sanitários, incineração, disposição oceânica e várias formas de disposição no solo, tais como, a recuperação de áreas degradadas, o uso como fertilizante em grandes culturas, o reflorestamento e o processo *landfarming* que consiste na aplicação controlada de resíduos sobre o solo, conseguindo assim sua degradação biológica e química (FERNANDES; SILVA, 1999).

2.2.3.1 Reuso do lodo como fertilizante orgânico

A reciclagem agrícola é uma prática bastante utilizada pois transforma o lodo em um insumo agrícola, contribuindo assim para fechar o ciclo bioquímico dos nutrientes minerais, fornecendo matéria orgânica ao solo, estocando, assim, o

carbono na forma de compostos estáveis e não liberando CO₂ na atmosfera, que contribui para aumentar o efeito estufa. Esse último aspecto da reciclagem agrícola do lodo apresenta uma crescente relevância, pois a produção das emissões de CO₂, como no caso da incineração, atuam no sentido de desequilibrar o meio natural (FERNANDES; SILVA, 1999).

A realização de uma eliminação ambientalmente correta e econômica para o lodo de esgoto é uma das questões mais importantes para a gestão de águas residuais. Entre as muitas estratégias utilizadas para solucionar tal problema, o uso agrícola é o mais econômico e conveniente. Seu alto teor de carbono orgânico, nitrogênio e fósforo faz com que o mesmo se torne uma valiosa fonte de nutrientes para a agricultura (CONTIN et al., 2012).

O lodo pode ser utilizado como fertilizante granulado complexo reunido no mesmo grânulo com sais minerais e como mistura de fertilizantes minerais e orgânicos. Assim o emprego de lodo de esgoto como fertilizante poderia reduzir 60% do consumo de fertilizantes fosfatados. Mas para aplicação de lodo em áreas cultiváveis é preciso obedecer à legislação vigente, proporcionar facilidade de acesso durante a deposição do material e respeitar limitações como proximidade de áreas residenciais entre outros fatores (TSUTIYA, 2001 *apud* QUINTANA et al., 2011).

2.2.3.1.1 Legislação vigente

A legislação vigente para uso de lodo na agricultura é a Resolução CONAMA 375 de 2006, que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, visando benefícios à agricultura e evitando riscos à saúde pública e ao ambiente.

A resolução define limites máximos para agentes patogênicos e metais pesados sendo que a única relação considerada com parâmetros físico-químicos é a estabilidade do lodo. Assim, segundo a Resolução, o lodo de esgoto ou produto derivado é considerado estável se a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais for inferior a 0,70 (CONAMA, 2006).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de lodo foram coletadas nos meses de fevereiro e março de 2014 nas ETE's das cidades de Medianeira e Santa Helena localizadas no oeste do Paraná. O presente trabalho foi desenvolvido nos laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Câmpus Medianeira.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Município de Santa Helena

Santa Helena é um município da região oeste do estado do Paraná localizada a $24^{\circ} 51' 37''$ Sul e $54^{\circ} 19' 58''$ Oeste. Sua população estimada em 2013 foi de 24.895 habitantes sendo sua área de unidade territorial de $758,227 \text{ km}^2$ (IBGE, 2013).

O sistema de esgoto sanitário municipal é composto por 3.295 ligações que atendem 83,56% da população urbana. O esgoto coletado é destinado a uma estação de tratamento, com capacidade total de 30 L/s (PMSH, 2012).

A ETE opera com quatro lagoas de estabilização, duas anaeróbias e seguidas por duas facultativas. Por fim o esgoto tratado é lançado no Lago de Itaipu. Geograficamente a ETE está situada em local com altitude de 244 metros, latitude de $24^{\circ}51'18.04''\text{S}$ e longitude $54^{\circ}19'22.83''\text{O}$ (Figura 1).

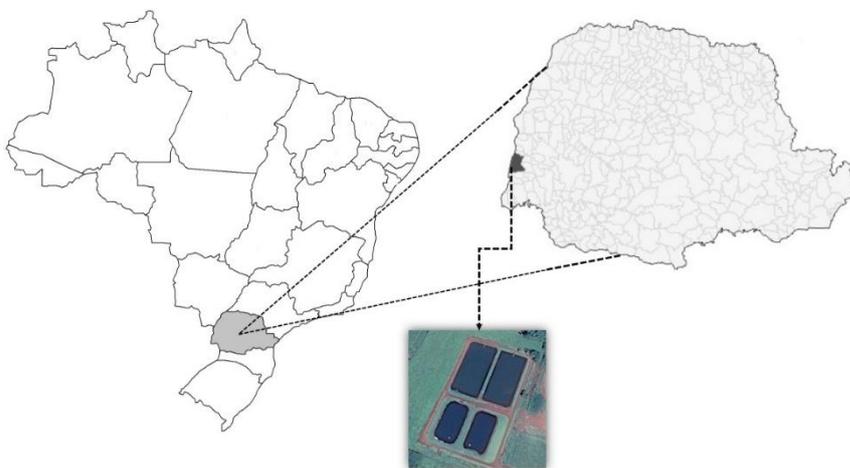


Figura 1 - Localização da ETE de Santa Helena, PR.
Fonte: Adaptado *Wikimedia Commons* e *Google imagens*, 2014.

As amostras de lodo coletadas foram provenientes de quatro pontos de coleta (Figura 2). As lagoas 1 e 2 possuem características anaeróbias sendo que as lagoas 3 e 4 podem ser consideradas facultativas (alta incidência de algas nas lagoas).

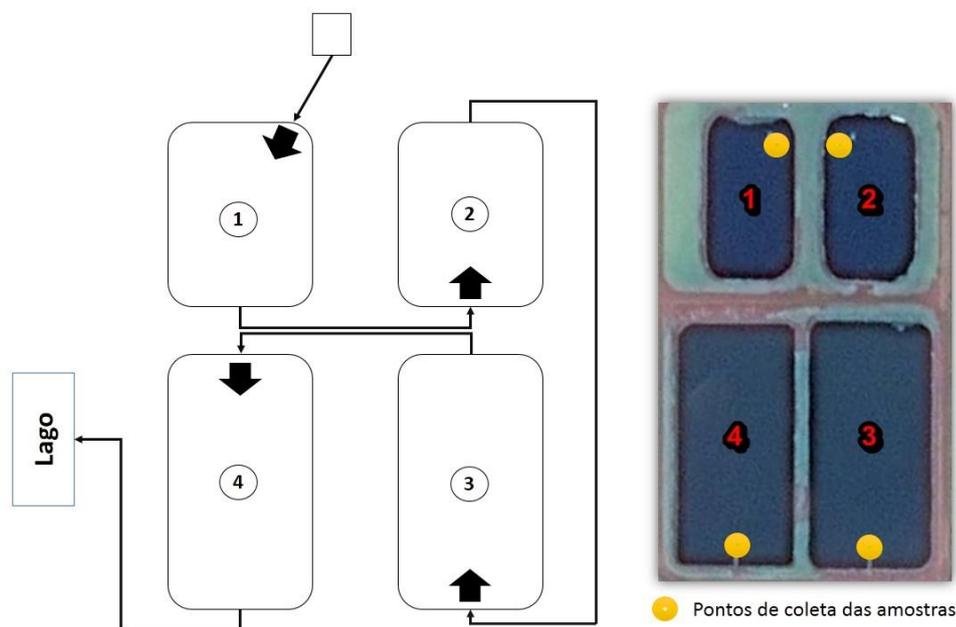


Figura 2 - Representação do sistema de tratamento de esgoto e os pontos onde foram realizadas as coletas na ETE de Santa Helena - PR.
 Fonte: Adaptado de *Google imagens*, 2014.

3.1.2 Município de Medianeira

Medianeira é uma cidade do Oeste Paranaense localizada a 25 ° 17 ' 43 " Sul e 54 ° 05 ' 38 " Oeste. O município possui uma população estimada, segundo o IBGE, (2013), de 44.149 habitantes e área territorial de 328,732 km².

A coleta do esgoto gerado nos domicílios, em 2006, era feita por meio de 1.192 ramais prediais, sendo coletados cerca de 500 metros cúbicos de esgoto por dia. O sistema de tratamento de esgoto de Medianeira está localizado a 25°17'10.28"Sul e 54° 6'5.27"Oeste (figura 3). É constituído por uma unidade de tratamento identificada como Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado – RALF, cuja capacidade de tratamento é de 70 L/s (litros por segundo). O lançamento é feito no Rio Alegria a jusante do ponto de captação (Figura 4). As demais áreas não atendidas pela rede de esgoto utilizam sistemas de fossas comuns e sépticas para destinação de seu esgoto doméstico (PDM, 2006).

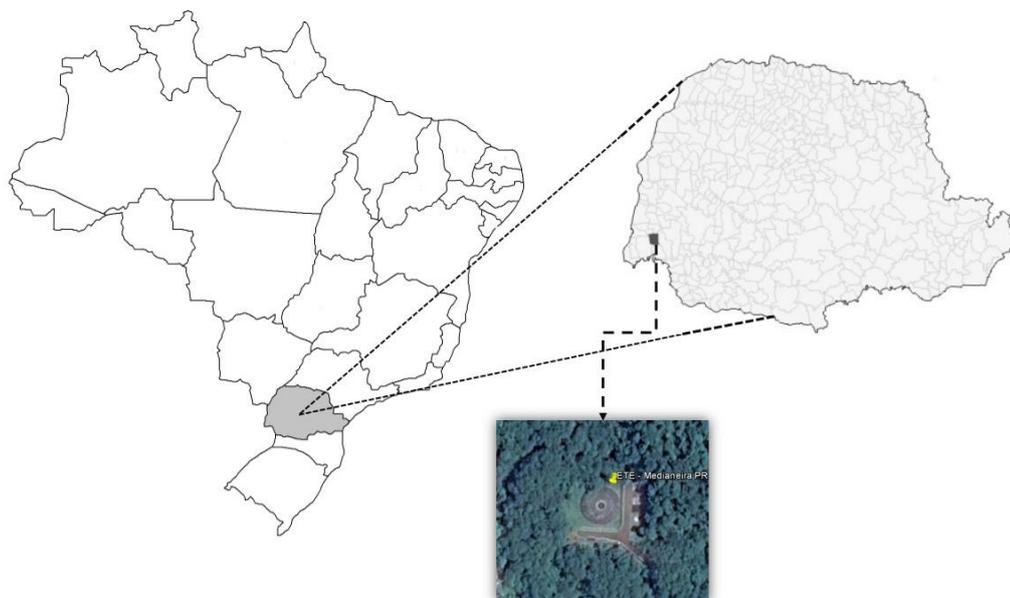


Figura 3 - Localização da ETE de Medianeira, PR.
Fonte: Adaptado *Wikimedia Commons* e *Google imagens*, 2014.

As amostras de lodo coletadas na ETE de Medianeira são provenientes de dois pontos de amostragem, sendo o ponto 1 correspondente ao lodo contido no reator e o ponto 2 do leito de secagem do lodo (figura 4).

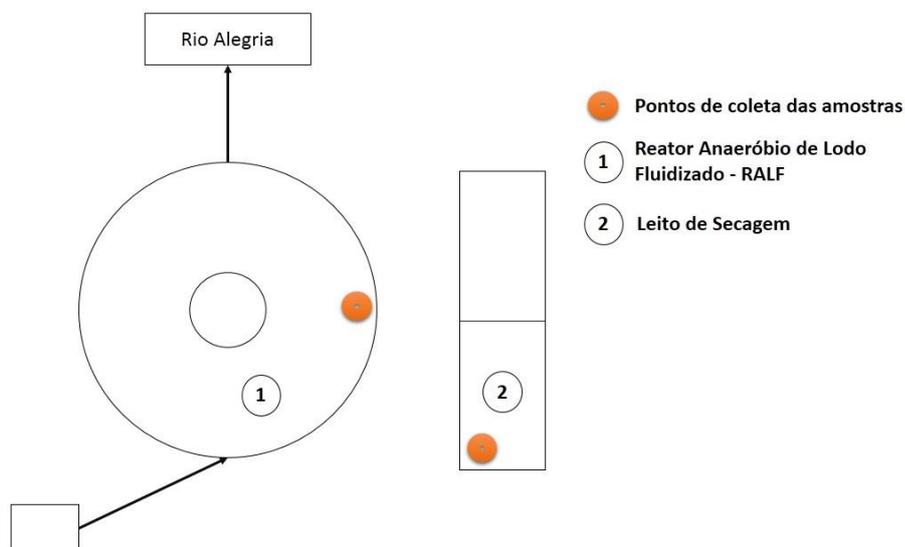


Figura 4 - Esquema representando o funcionamento do sistema de tratamento de esgoto do município de Medianeira e os pontos onde foram coletadas as amostras.

3.2 PREPARO DOS MATERIAIS PARA A COLETA

Os pacotes de polietileno utilizados na coleta de material inorgânico foram previamente limpos com 10% v/v de HCl e posteriormente lavados com água destilada e desionizada (SOARES; MOZETO, 2006). Os materiais de alumínio utilizados para coleta de material orgânico foram higienizados com solução de ácido nítrico a 10%.

3.3 COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras foram coletadas com draga do tipo *Petersen*, posteriormente armazenadas em seus respectivos recipientes e previamente identificadas. Amostras para análises orgânicas e inorgânicas foram armazenadas em recipientes de alumínio e de plástico respectivamente. Após a coleta os frascos contendo as amostras foram armazenados em caixas de isopor e encaminhados ao laboratório da universidade.

3.4 PREPARAÇÃO DAS VIDRARIAS PARA AS ANÁLISES

A vidraria utilizada para determinação de fósforo e potássio foi previamente deixada de molho por uma hora em solução de ácido clorídrico a 10%. Em seguida os materiais de vidro foram enxaguados com água corrente e lavados com detergentes comerciais. Enxaguou-se bem, seis vezes com água corrente e em seguida com água destilada.

3.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

3.5.1 Determinação do potencial hidrogeniônico (pH) das amostras

Aproximadamente 10 g de amostra foram adicionadas em um copo plástico de 50mL devidamente numerado. Em seguida adicionou-se 25 mL de água destilada e a amostra foi agitada com bastão de vidro individual e deixada em repouso por uma hora. Antes da leitura a amostra foi agitada novamente com bastão de vidro

em seguida os eletrodos foram colocados na suspensão homogeneizada e procedeu-se a leitura do pH (DONAGEMA et al., 2011).

Para a determinação do pH realizou-se a sua calibração com as soluções tampão de pH 7 e 4 e em seguida foram realizadas as medições com as amostras em triplicata.

3.5.2 Determinação da umidade

Alíquotas de aproximadamente 5g das amostras de lodo de esgoto foram pesadas em balança analítica com quatro casas decimais e colocadas em cadinhos previamente identificados e pesados, obtendo-se assim o peso do cadinho sem a amostra e o peso do cadinho com a amostra natural.

Em seguida as amostras foram levadas à estufa a temperatura na faixa de 60 a 65 °C permanecendo por um período de 16 horas. Após a retirada das amostras da estufa, deixou-se esfriar ao ar ambiente e foram posteriormente pesadas, obtendo se assim o peso cadinho com a amostra seca a 60 - 65 °C (KIEHL, 1985).

Através da seguinte equação (1) foi possível determinar a umidade das amostras:

$$\% \text{Umidade a } 60 - 65 \text{ } ^\circ\text{C} = (100 \times (P1-P2)) / P1 \quad (1)$$

Sendo que:

- P1: Peso da amostra natural: Peso do béquer sem amostra - Peso do béquer com amostra natural.
- P2: Peso da Amostra seca: Peso do Becker com amostra seca a 60 - 65 °C - Peso do Becker sem amostra.

3.5.3 Determinação da Matéria Orgânica

Aproveitando o mesmo cadinho utilizado na determinação da umidade, foi efetuada a análise da matéria orgânica total pelo método da perda por ignição proposta por KIEHL, 1985. O cadinho com a amostra seca a 60 - 65 °C foi seca novamente na estufa a uma faixa de temperatura de 100 - 110 °C por três horas. Em

seguida, foi retirada da estufa, resfriada em dessecador e pesada, obtendo-se assim o valor P1. Posteriormente transferida para a mufla a uma temperatura de 550 °C por uma hora, resfriada e pesada (P2).

A matéria orgânica pode assim ser calculada pela equação (2):

$$\% \text{ de Matéria Orgânica Total} = ((P1 - P2) \times (100 - \% \text{ Umidade})) / 5 \quad (2)$$

Onde:

- P1=Tara + amostra.
- P2 = Cinza a 550 °C – Peso do cadinho.

3.5.4 Determinação do Carbono Total

A partir do teor de matéria orgânica total foi calculada a porcentagem de carbono total das amostras usando o fator 1,8 (KIEHL, 1985).

3.5.5 Determinação de Fósforo Total e Potássio Total

A metodologia utilizada para determinação de Fosforo total e Potássio total é a exemplificada por Pavan et al., (1992).

3.5.6 Determinação de Fósforo

Os reagentes utilizados na determinação de fósforo foram:

- Solução de HCl 1N: foi transferido 85,3 mL de HCl concentrado (36%) para frasco de 1000 mL e completado o volume com água destilada.
- Solução de H₂SO₄ 1N: foi transferido 27,7 mL de H₂SO₄ concentrado (96%) para frasco de 1000 mL e completado o volume com água destilada.
- Solução de Mehlich (H₂SO₄ 0,025N + HCl 0,05N): foi transferido 25 mL da solução de H₂SO₄ 1N e 50 mL de HCl 1N para frasco de 1000 mL e completado o volume com água destilada.
- Solução de Molibdato: foi pesado 20 g de molibdato de amônio P.A., transferido para Becker de 500 mL e dissolvido em 200 mL de água destilada.

Em outro Becker de 1000 mL, foi pesado 2 g de subcarbonato de bismuto e adicionado 500 mL de água destilada e 150 mL de H₂SO₄ P. A. concentrado. Após esfriar, as duas soluções foram misturadas em um balão volumétrico de 1000 mL e completado o volume com água destilada (SOLUÇÃO A). Foram transferidos 300 mL da mistura de solução para um balão volumétrico de 1000 mL e completado o volume com água destilada (SOLUÇÃO B).

3.5.7 Determinação dos padrões de Fósforo

Foi pesado exatamente 0,439 g de KH₂PO₄ em um balão volumétrico de 1000 mL, adicionado 3 mL de H₂SO₄ P.A. concentrado e completado o volume com água destilada. Diluiu-se as soluções de P (100 ppm) nas seguintes concentrações: 0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 ppm em solução de Mehlich.

3.5.8 Extração e determinação do fósforo

Foi transferido 5 g de amostra seca para copo plástico de 60 mL, adicionado 50 mL de solução Mehlich⁻¹, agitado durante 5 minutos e permaneceu em decantação durante uma noite.

Após a extração, foram pipetados 5 ml da alíquota em tubos de 30 mL e adicionado 10 mL da SOLUÇÃO B, uma pitada de ácido ascórbico e agitado até a dissolução total. Após 30 minutos, efetuou-se a leitura no espectrofotômetro a 630 nm. Posteriormente foi construída a curva de calibração.

3.5.9 Determinação de Potássio

O reagente utilizado na determinação de potássio foi o seguinte:

Solução de K⁺ 1000 ppm: foi seco 3 g de KCl P.A. durante 2 horas a 200 °C na mufla e esfriado no dessecador. Foi transferido 1,907 g do sal para frasco de 1000 mL e completado o volume com água destilada.

Na determinação da solução padrão de potássio foram transferidos 5, 10, 20 e 40 mL da solução de K^+ 1000 ppm para frasco de 1000 mL e completado o volume com a solução de Mehlich. Estas soluções contem 5, 10, 20 e 40 ppm de K^+ .

Foi transferido 20 mL de extrato – Mehlich ⁻¹ para tudo de ensaio de 30 mL e efetuado a leitura no fotômetro de chama, após o ajuste do aparelho com a solução padrão de K.

3.5.10 Determinação de Sólidos Totais

Inicialmente o cadinho de porcelana foi preparado colocando-o vazio na mufla a (550 ± 50) °C por 1h, deixado esfriar no dessecador, à temperatura ambiente, pesado imediatamente com precisão aproximada de 10 mg e permaneceu no dessecador até o momento do uso. Em seguida foi transferido para o cadinho uma porção homogênea de amostra de 25 a 50 g e pesado com precisão de 10 mg. A amostra foi seca em estufa entre 103 e 105 °C por 12h, esfriada a temperatura ambiente em dessecador e pesada imediatamente. Assim a determinação de sólidos totais pode ser obtida através da diferença entre a massa inicial de amostra e a massa obtida da amostra após a secagem (ABNT, 1989).

3.5.11 Determinação de Sólidos Fixos

O resíduo, obtido na determinação dos sólidos totais, foi submetido à calcinação a (550 ± 50) °C por 1h, esfriado à temperatura ambiente em dessecador e pesado imediatamente com precisão de 10 mg. A determinação dos sólidos foi obtida diminuindo o peso do cadinho com a amostra após a calcinação do peso do cadinho no início do procedimento (ABNT, 1989).

3.5.12 Determinação de Sólidos Voláteis

O teor de sólidos totais foi determinado através da diferença entre os sólidos totais e sólidos fixos (ABNT, 1989).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo são provenientes de coletas realizadas nos meses de fevereiro e março de 2014, referentes aos parâmetros de potencial hidrogeniônico (pH), umidade, matéria orgânica, carbono total, fósforo total, potássio total, sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis caracterizados dos sedimentos.

As análises referentes ao ponto 2 (leito de secagem) da ETE do município de Medianeira no mês de março não foram realizadas, pois no momento da coleta, o lodo havia sido removido.

4.1 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO – pH

Foi observado que o pH das amostras das lagoas 1, 2, 3 e 4 da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do município de Santa Helena apresentaram pequena variação do mês de fevereiro ao mês de março. Sendo que o maior pH encontrado nesta ETE foi no mês de março na lagoa 2, no valor de 7,50 e o menor também no mesmo mês na lagoa 1, pH = 7,09. Os resultados encontrados indicam um pH neutro para as amostras de lodo destas lagoas.

Para a ETE do município de Medianeira, foi verificado um pH de 7,32 para o ponto 1 indicando pH neutro, sendo este valor semelhante ao encontrado nas lagoas da ETE de Santa Helena. E, para o ponto 2, verificou-se um pH de 4,49, ou seja, um pH relativamente ácido para o leito de secagem.

Os resultados encontrados para o pH das amostras de lodo das Estações de Tratamento de esgoto de Santa Helena e Medianeira podem ser verificados no gráfico 1.

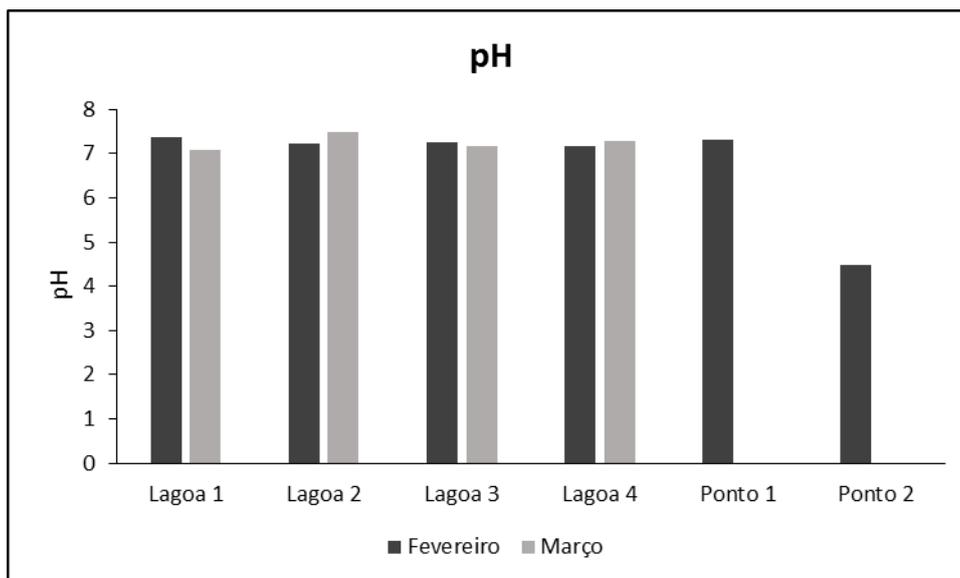


Gráfico 1 – pH das amostras de lodo da ETE de Santa Helena e Medianeira referente aos meses de fevereiro e março. Lagoas 1 a 4: ETE Santa Helena. Pontos 1 e 2: ETE Medianeira.

O pH das amostras de lodo da ETE de Santa Helena devido as suas condições de neutralidade possuem condições favoráveis para a atividade microbiana e conseqüentemente decomposição do material orgânico. O Ponto 1 referente a amostra coletada no reator da ETE de Medianeira também apresentou pH neutro, revelando boas condições de decomposição da matéria orgânica segundo este parâmetro. Já o pH do Ponto 2 referente ao leito de secagem da ETE de Medianeira com pH relativamente ácido, não favorece a decomposição da matéria orgânica.

Os valores encontrados para as amostras de lodo das lagoas de Santa Helena e do Ponto 1 da ETE de Medianeira se assemelham aos valores citados por Maria et al. (2013) com pH de 7,9, Taveira et al. (2001) de pH 7,6 que possui sistema de tratamento semelhante ao encontrado na ETE de Santa Helena e também aos resultados de Costa et al. (2013), com pH de 7,9.

A amostra de lodo proveniente do ponto 2 (ETE – Medianeira) indica que este lodo necessita passar por um processo de estabilização para correção do pH antes de ser encaminhado à sua disposição final, pois nessas condições, caso este seja destinado a uso agrícola, pode causar acidificação do solo.

4.2 UMIDADE

Observou-se uma variação grande entre a umidade das amostras de lodo da lagoa 1, 2, 3 e 4 da ETE de Santa Helena, sendo que a maior umidade registrada nesta estação de tratamento foi verificada no lodo proveniente da lagoa 3, umidade equivalente a 82,52% no mês de março e a menor foi constatada na lagoa 2 em fevereiro com umidade de 47,34%.

Já na ETE de Medianeira foi constatado uma alta umidade no ponto 1 referente ao lodo coletado no reator, sem grandes variações entre as amostras coletadas nos meses de fevereiro e março. Já a amostra de lodo do leito de secagem apresentou umidade de 59,4% no mês fevereiro, indicando que o lodo após removido do reator e encaminhado ao leito de secagem perde cerca de 32% da umidade devido a exposição às condições naturais.

Os resultados encontrados para a umidade das amostras de lodo das Estações de Tratamento de esgoto de Santa Helena e Medianeira podem ser verificados no gráfico 2.

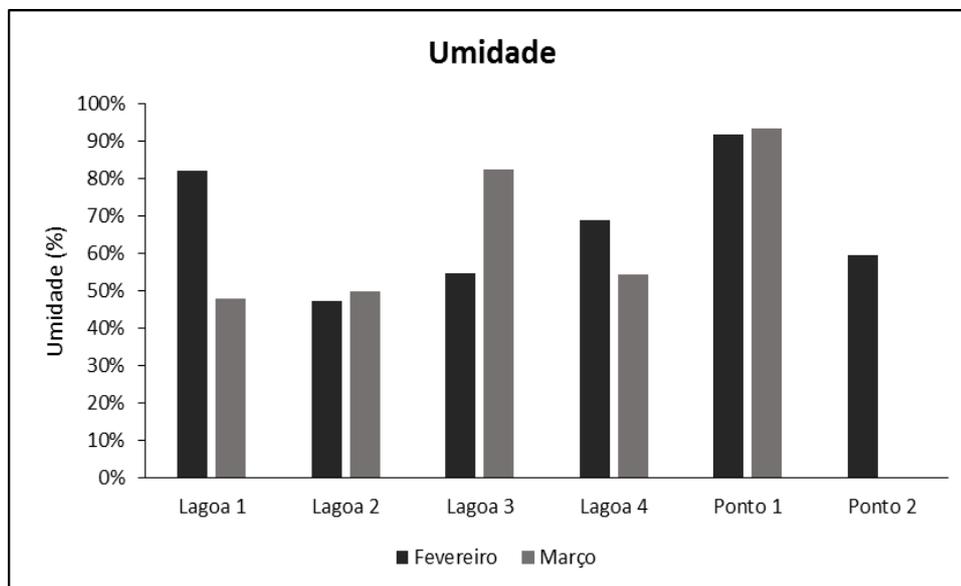


Gráfico 2 – Umidade das amostras de lodo da ETE de Santa Helena e Medianeira referente aos meses de fevereiro e março. Lagoas 1 a 4: ETE Santa Helena. Pontos 1 e 2: ETE Medianeira.

Conforme descrito por PROSAB e SANEPAR (1999), a alta umidade presente no lodo pode implicar em elevados custos para transporte do mesmo até seu destino final. Assim, por exemplo, caso o lodo proveniente do ponto 1 fosse encaminhado para um destino final, primeiramente seria necessário que o mesmo passasse por

um processo de adensamento para que estivesse em condições adequadas ao seu transporte.

Outro fator relacionado com a umidade é a eficiência na calagem. Assim sendo, segundo PROSAB e SANEPAR (1999), a melhor eficiência da calagem é atingida com teor de umidade de 65 a 75%. As amostras que apresentam valores próximos desta característica foram as amostras provenientes do ponto 2 e a amostra proveniente da lagoa 4 no mês de fevereiro, umidade equivalente a 68,67%. Assim estas amostras são as que mais se assemelham ao citado por Costa et al. (2014), com umidade de 64,6% e Maria et al. (2010), com 68,2% de umidade.

4.3 MATÉRIA ORGÂNICA

As amostras de lodo das lagoas 1 e 3 da ETE de Santa Helena apresentaram grande variação de matéria orgânica entre os meses de fevereiro e março. Na ETE de Santa Helena o maior teor de matéria orgânica foi registrado no mês de março na lagoa 1, sendo 39,22%, de modo que o menor valor encontrado foi verificado na lagoa 3 no mês de março, ou seja, 18,64% de matéria orgânica.

Já na ETE de Medianeira foi verificada baixa concentração de matéria orgânica no ponto 1 referente às amostras de lodo provenientes do reator anaeróbio.

Os resultados encontrados para a matéria orgânica das amostras de lodo das Estações de Tratamento de esgoto de Santa Helena e Medianeira estão dispostos no Gráfico 3.

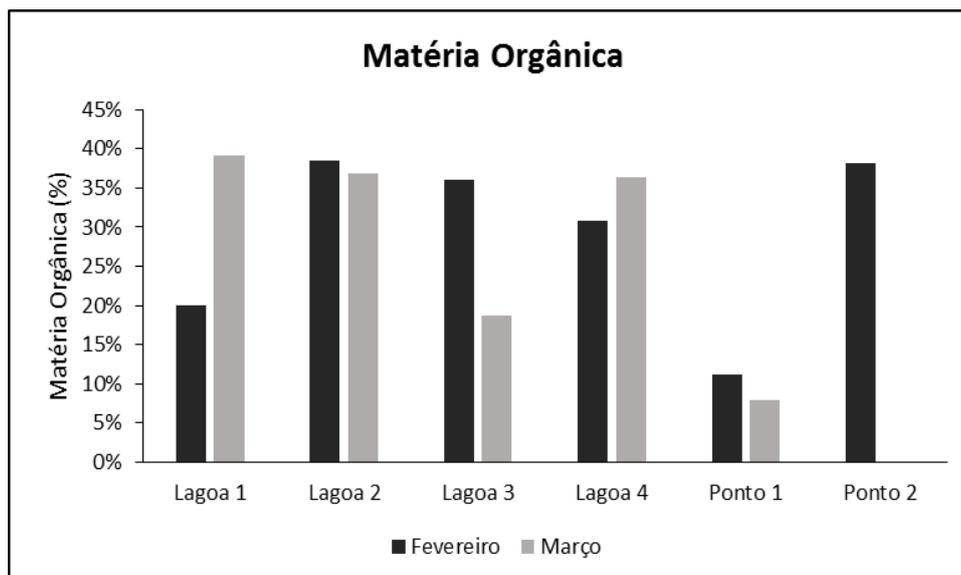


Gráfico 3 – Matéria Orgânica presente nas amostras de lodo da ETE de Santa Helena e Medianeira referente aos meses de fevereiro e março. Lagoas 1 a 4: ETE Santa Helena. Pontos 1 e 2: ETE Medianeira.

Todas as lagoas e o ponto 2 de Medianeira apresentaram valores de matéria orgânica próximo a 36,2%, conforme citado por PROSAB e SANEPAR (1999). Ou seja, estas amostras de lodo apresentam teor de matéria orgânica para lodo proveniente destes pontos de acordo com o Legislativo, podendo assim, se utilizados em solo agrícola, serem bons fornecedores de matéria orgânica proporcionando melhores condições no solo onde forem possivelmente aplicados.

4.4 CARBONO TOTAL

Na ETE do município Santa Helena, a amostra que demonstrou maior porcentagem de carbono total foi a proveniente da lagoa 1 no mês de março (Matéria Orgânica = 21,79%) e a com menor valor de carbono total foi a da lagoa 3, no mesmo mês, com apenas 10,36%.

Na ETE de Medianeira verificaram-se valores baixos para carbono total no reator (ponto 1), tanto no mês de fevereiro quanto em março, comparado aos valores encontrados nas lagoas de Santa Helena, sendo que o valor encontrado para o leito de secagem (ponto 2) foi semelhante ao das lagoas, ou seja, 21,23%.

Os resultados obtidos para carbono total das amostras de lodo das ETE de Santa Helena e de Medianeira podem ser verificados no Gráfico 4.

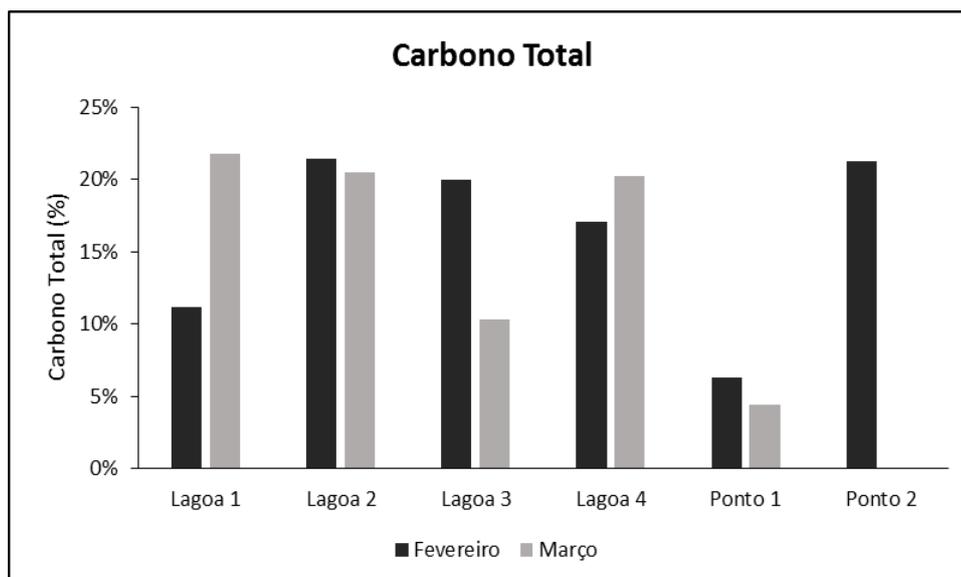


Gráfico 4 – Carbono Total presente nas amostras de lodo da ETE de Santa Helena e Medianeira referente aos meses de fevereiro e março. Lagoas 1 a 4: ETE Santa Helena. Pontos 1 e 2: ETE Medianeira.

O carbono representa importante papel na fertilidade do solo sendo que está diretamente relacionado com a matéria orgânica. Assim a única amostra que não se demonstrou com potencial para fornecimento deste composto seria o ponto 1, devido ao seu baixo teor de matéria orgânica em função de seu elevado teor de umidade.

As demais amostras, conforme descritas anteriormente, possuem valores satisfatórios de matéria orgânica para aplicação agrícola sendo que seriam assim adequadas ao fornecimento de carbono à área que fossem aplicadas.

4.5 SÓLIDOS TOTAIS – ST

Foi verificada uma grande variação na porcentagem de sólidos totais entre as lagoas de Santa Helena tanto no mês de fevereiro quanto em março. A maior concentração de sólidos totais foi registrada no mês de fevereiro na lagoa 2, 60,80%, sendo que a menor porcentagem foi encontrada no mês de fevereiro na lagoa 3, 15,01%.

Em Medianeira foi verificado baixa concentração de sólidos totais na amostra coletada no reator tanto em fevereiro quanto em março. Já no ponto 2 verificou-se uma porcentagem de sólidos semelhante ao encontrado nas lagoas de Santa Helena.

O gráfico 5 apresenta os valores encontrados para sólidos totais das amostras coletadas na ETE's de Santa Helena e de Medianeira.

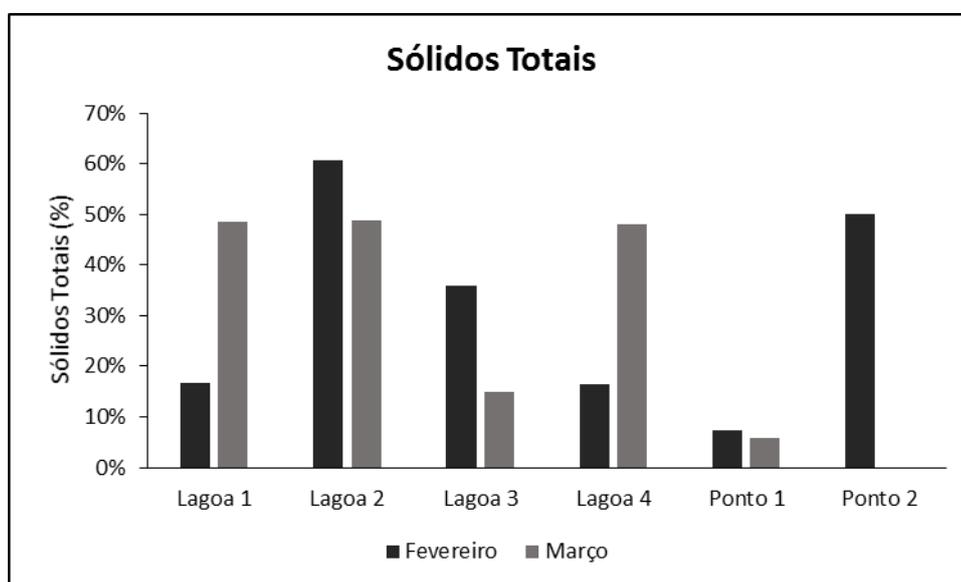


Gráfico 5 – Sólidos Totais presente nas amostras de lodo da ETE de Santa Helena e Medianeira referente aos meses de fevereiro e março. Lagoas 1 a 4: ETE Santa Helena. Pontos 1 e 2: ETE Medianeira.

Segundo a legislação CONAMA 375/2006, que estabelece uma relação entre sólidos voláteis e totais para estabilidade do lodo, todas as amostras analisadas possuem o valor desta relação inferior a 0,7, assim segundo este parâmetro os lodos provenientes de todos os pontos são considerados estáveis segundo a legislação citada.

4.6 SÓLIDOS FIXOS – SF

Verificou-se uma pequena variação no valor de sólidos fixos nas amostras coletadas para os meses de fevereiro e março nas lagoas de tratamento de Santa Helena. Sendo que o maior valor encontrado foi verificado na lagoa 1 no mês de fevereiro, com 92,15 %ST. Já a menor porção foi encontrada na lagoa 3 em março, 65,76 %ST.

Na ETE de Medianeira foi constatado concentração média de 47,76 %ST para o reator anaeróbio (Ponto 1) e 58,01%ST para amostra proveniente do leito de secagem. Os resultados obtidos para sólidos fixos das amostras de lodo das Estações de Tratamento de esgoto de Santa Helena e Medianeira estão dispostos no Gráfico 6.

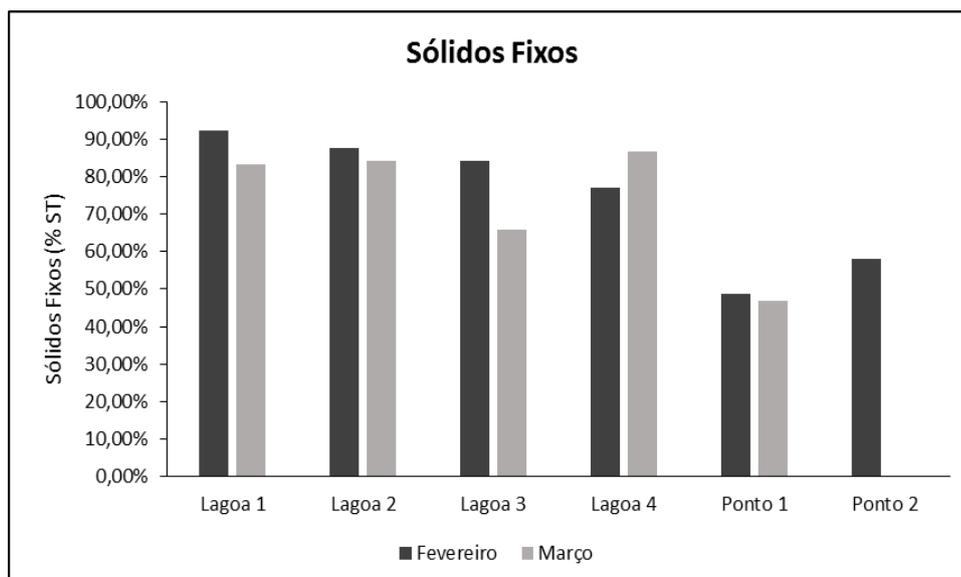


Gráfico 6 – Porcentagem de Sólidos fixos presente nas amostras de lodo da ETE de Santa Helena e Medianeira referente aos meses de fevereiro e março. Lagoas 1 a 4: ETE Santa Helena. Pontos 1 e 2: ETE Medianeira.

O teor de sólidos fixos está relacionado com a estabilização do lodo. Segundo PROSAB e SANEPAR (1999), para uso agrícola o lodo deve apresentar no mínimo 30% de sólidos fixos.

De acordo com os resultados obtidos, todas as amostras analisadas possuem valor superior a 30% e com relação a este parâmetro poderiam ser utilizados na agricultura sem risco de surgimento de vetores devido a odores.

4.7 SÓLIDOS VOLÁTEIS - SV

Os resultados encontrados para sólidos voláteis na ETE de Santa Helena indicam maior concentração para a lagoa 1 no mês de fevereiro com 37,34 %ST e menor porcentagem para o mesmo mês na lagoa 2 (12,50 %ST).

Os resultados encontrados para sólidos voláteis no ponto 1 referentes ao reator (51,43 %ST) e ponto 2, ao leito de secagem (41,99 %ST) na ETE de Medianeira foram superiores ao verificado para as lagoas de tratamento de Santa Helena.

Os resultados obtidos para sólidos voláteis das amostras de lodo das Estações de Tratamento de esgoto de Santa Helena e Medianeira podem ser verificados no Gráfico 7.

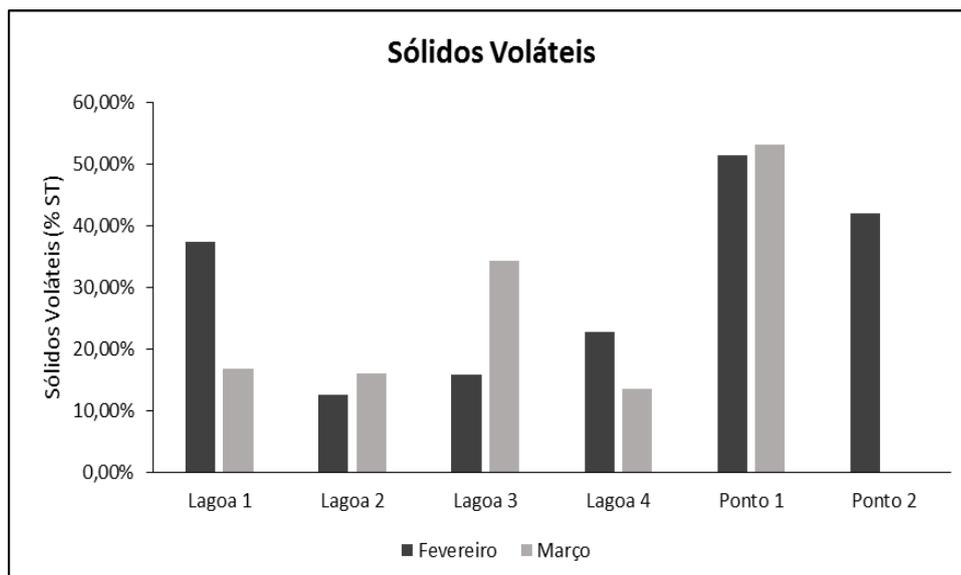


Gráfico 7 – Porcentagem de Sólidos voláteis presente nas amostras de lodo da ETE de Santa Helena e Medianeira referente aos meses de fevereiro e março. Lagoas 1 a 4: ETE Santa Helena. Pontos 1 e 2: ETE Medianeira.

Os resultados encontrados para sólidos voláteis para a ETE de Santa Helena e de Medianeira se assemelharam aos valores encontrados por Maria et al. (2010) (56,9%ST) e Costa et al. (2014) (57,1%ST).

Verificou-se que os baixos níveis de sólidos voláteis nas lagoas de tratamento se devem provavelmente por tempo de retenção elevado, o qual proporciona o adensamento do lodo e, por fim, permite que ocorra o processo de digestão anaeróbia extensiva. Já no ponto 1, referente ao reator anaeróbio, o tempo de retenção tendeu a ser inferior, levando a ocorrência de baixos teores de sólidos totais e elevada porcentagem de sólidos voláteis, indicando, portanto que o lodo, antes de ser enviado ao seu destino final deve passar por um processo de estabilização.

4.8 FÓSFORO TOTAL

Os resultados encontrados para fósforo total na ETE de Santa Helena demonstraram maior concentração desse elemento no lodo proveniente da lagoa 3, tanto no mês de fevereiro quanto no mês de março, com uma média de concentração de 3,12 g.kg⁻¹. Verificou-se baixa concentração desse parâmetro no lodo proveniente das lagoas.

Na ETE de Medianeira verificou-se um valor elevado para este parâmetro no ponto 1, com maior valor no mês de março (8,16 g.kg⁻¹).

Os resultados obtidos para Fósforo Total das amostras de lodo das ETE's de Santa Helena e Medianeira podem ser verificados no Gráfico 8.

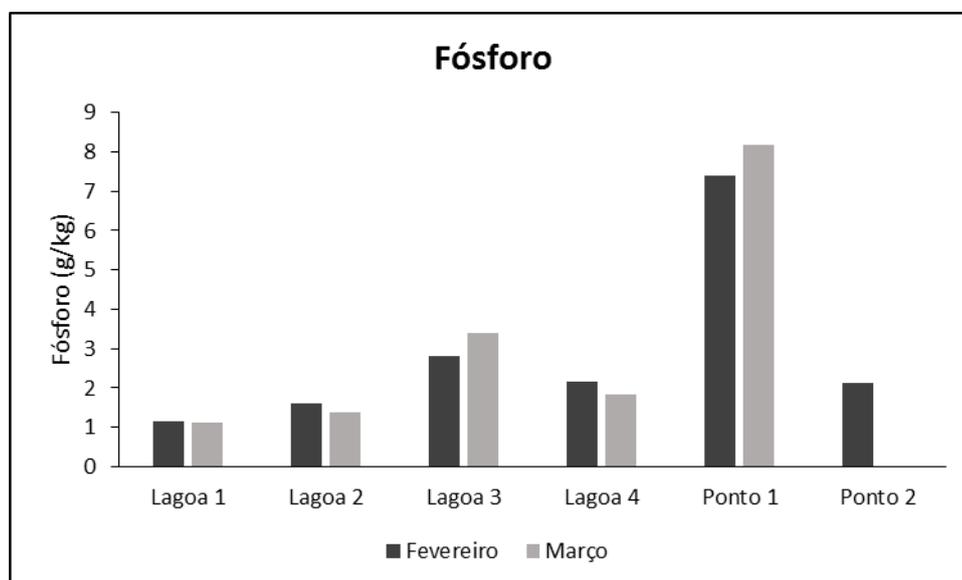


Gráfico 8 – Teor de Fósforo Total presente nas amostras de lodo da ETE de Santa Helena e Medianeira referente aos meses de fevereiro e março. Lagoas 1 a 4: ETE Santa Helena. Pontos 1 e 2: ETE Medianeira.

Os valores citados por Maria et al. (2010), (8,6 g.kg⁻¹) e por Costa et al. (2014), (8,2 g.kg⁻¹), demonstram que os valores encontrados de fósforo total para as lagoas da ETE de Santa Helena são baixos e para ETE de Medianeira o ponto que se assemelha a literatura é o ponto 1.

A ETE de Santa Helena apresenta a conformação de sistema australiano, este modo de operação facilita a remoção de fósforo do efluente nas lagoas devido a ação conjunta entre micro organismos anaeróbios e as algas presentes, podendo - se obter uma remoção de fósforo entre 20 a 60%. O aumento da concentração de fósforo ao longo das lagoas, principalmente na lagoa 3 se deve provavelmente devido a transição da lagoa anaeróbia para a facultativa. A redução da concentração de fósforo da lagoa 3 para a lagoa 4 se deve a ação de remoção deste nutriente pelas algas. Mas com base nisso não se pode afirmar que o tratamento empregado está removendo a quantidade ideal de fósforo do efluente que será devolvido ao curso d'água.

Sabe-se que a remoção de fósforo para o reator anaeróbio é de 10 a 20%, ou seja, a alta concentração de fósforo no lodo do reator em comparação as demais

amostras analisadas pode indicar alta concentração deste nutriente no efluente, sendo que se este for despejado sem um tratamento posterior ao reator, provavelmente estará contribuindo para a eutrofização do corpo receptor.

4.9 POTÁSSIO TOTAL

Na ETE do município Santa Helena, a amostra que apresentou maior concentração de potássio total foi a lagoa 3 no mês de março, $0,423 \text{ g.kg}^{-1}$ e com menor valor de potássio total foi a lagoa 4 no mesmo mês de fevereiro, sendo encontrada a concentração de $0,067 \text{ g.kg}^{-1}$.

Já na ETE de Medianeira foi verificada alta concentração de potássio no ponto 1, ($0,714 \text{ g.kg}^{-1}$) no mês de fevereiro e no ponto 2, ($0,537 \text{ g.kg}^{-1}$) no mês de fevereiro em comparação as lagoas de tratamento de Santa Helena.

Os resultados obtidos para Potássio Total das amostras de lodo provenientes das ETE's de Santa Helena e Medianeira podem ser verificados no Gráfico 9.

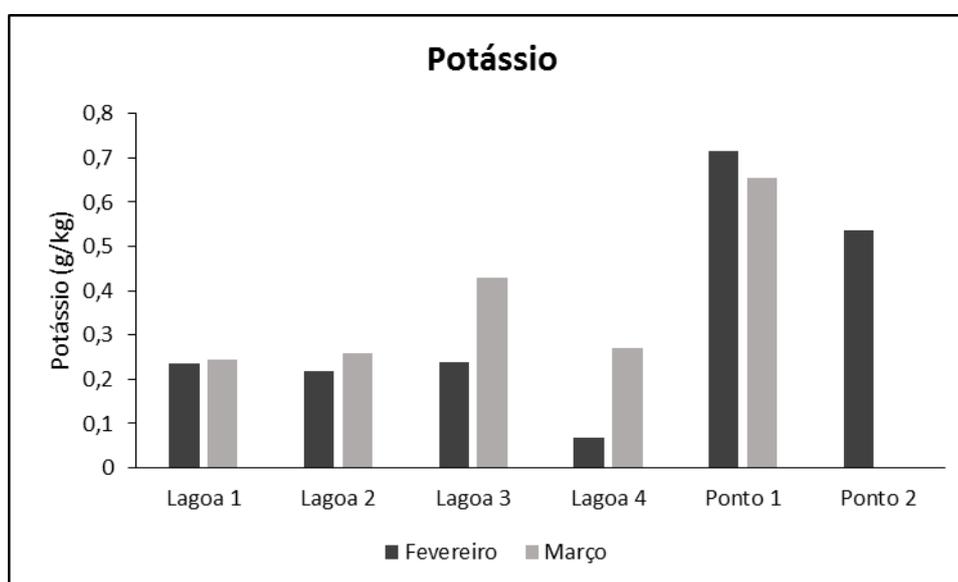


Gráfico 9 – Teor de Potássio Total presente nas amostras de lodo da ETE de Santa Helena e Medianeira referente aos meses de fevereiro e março. Lagoas 1 a 4: ETE Santa Helena. Pontos 1 e 2: ETE Medianeira.

Os valores de potássio total encontrados para as amostras das ETE's de Santa Helena e Medianeira apresentaram concentrações baixas em comparação ao citado por Costa et al. (2014), que encontraram $2,8 \text{ g.kg}^{-1}$ desse elemento. De modo geral, as amostras de lodo analisadas se mostraram pobres em potássio, sendo que

se essas amostras de lodo fossem destinadas ao uso agrícola, necessitariam de uma suplementação na adubação com fontes minerais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se propôs a realizar a caracterização de parâmetros físico-químicos nas Estações de Tratamento de Esgoto de Santa Helena e Medianeira, cuja primeira opera com lagoas de estabilização e a segunda através de tratamento em Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF).

Levando em consideração aos aspectos estudados, o lodo de esgoto possui valor agrônômico podendo assim fornecer bons incrementos ao solo agrícola.

Vale ressaltar que a determinação destes parâmetros não é suficiente para determinar se o lodo está em condições de ser destinado ao uso agrícola, para isso é necessário que se realize a verificação do seu perfil sanitário e conteúdo de metais pesados presentes no mesmo visando atender a legislação vigente.

Constatou-se que as amostras referentes as lagoas 1, 2, 3, e 4 da ETE de Santa Helena e do ponto 1 da ETE de Medianeira indicaram pH neutro sendo que apenas o ponto 2 referente ao leito de secagem apresentou pH relativamente ácido (pH=4,49). Foi verificado também alta umidade no ponto 1 com valores superiores a 90%.

As amostras das lagoas da ETE de Santa Helena apresentaram grande variação de Matéria Orgânica entre as lagoas (39,22% a 18,64%). Foram registrados baixos valores de Carbono Total para as amostras do ponto 1 da ETE de Medianeira (média de 5,35%) sendo que este mesmo ponto apresentou baixa concentração de Sólidos Totais (valor médio de 6,53%) com 51,43%ST correspondente à Sólidos Voláteis e 47,76%ST à Sólidos Fixos.

Verificou-se baixa concentração de Fósforo Total nas lagoas sendo a maior concentração de 3,12 g.kg⁻¹. Com relação a este parâmetro o único ponto que se assemelhou a literatura foi o ponto 1 (8,16 g.kg⁻¹). Já para o Potássio Total também foi registrada baixa concentração deste parâmetro para as lagoas da ETE de Santa Helena (maior valor de 0,423 g.kg⁻¹), sendo que o maior valor encontrado para as amostras analisadas foi verificado na amostra referente ao ponto 1 (0,714 g.kg⁻¹). Assim, para este parâmetro, todos os valores foram inferiores ao valor citado pela literatura.

Com base nisso, pode-se dizer que o lodo proveniente das lagoas de estabilização da ETE de Santa Helena apresentou baixos valores para nutrientes

(fósforo e potássio) no lodo sendo que se destinado ao uso agrícola seria necessária uma suplementação mineral dos mesmos. Já os valores foram satisfatórios para os demais parâmetros.

O ponto 2 referente ao leito de secagem da ETE de Medianeira também apresentou valores satisfatórios, sendo que apenas seria necessária a suplementação de nutrientes e a correção do pH.

Já o lodo proveniente do reator demonstrou ser um lodo com características mais brutas onde o tempo de retenção é baixo, para sua destinação seria necessário passar por um processo de estabilização. Neste ponto também destaca-se o valor de fósforo presente no lodo que pode indicar alta concentração deste elemento no efluente devido a característica deste tipo de sistema que possui baixa eficiência na remoção de fósforo, sendo que se o efluente for destinado ao corpo receptor sem tratamento pós reator pode acarretar o aceleração da eutrofização deste corpo hídrico.

Estes parâmetros determinados para estas estações de tratamento não caracterizam o lodo a longo prazo sendo que estes valores podem alterar-se devido a vários fatores como estações do ano e hábitos da população.

Assim pode-se concluir que o lodo não deve ser considerado como um simples resíduo, pois possui características físico-químicas que lhe conferem o poder de um excelente condicionador do solo, podendo tornar-se um importante aliado na melhoria de práticas agrícolas desenvolvidas no país.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR:10664** Águas - determinação de resíduos (sólidos) - Método gravimétrico: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1989. 7p.

ABREU JUNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. de C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: Propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.4, p.391-470, 2005.

AISSE, M. M.; LOBATO, M. B.; BONA, A.; GARBOSSA, L. H. P. Estudo comparativo do Reator UASB e do Reator Anaeróbio Compartimentado Sequencial no Tratamento de Esgoto Sanitário. **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2000. Disponível em: <http://intranetdoc.epagri.sc.gov.br/producao_tecnico_cientifica/DOC_3688.pdf> Acesso em: 12 de Agosto de 2014.

ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 282p., 2001.

BARÉA, L.C. RALF, **Reator Anaeróbio de Manto de Lodo e Fluxo Ascendente reduzindo custos e economizando energia no Tratamento de Esgotos**. Curitiba, Março de 2006. Disponível em: <[http://www.sanepar.com.br/sanepar/calandrakbx/filesmng.nsf/1B9DF09C9EAE4D2B832573760042EB40/\\$File/APRESENTA%C3%87%C3%83O_RALF_SANEPAR%20-.pdf?OpenElement](http://www.sanepar.com.br/sanepar/calandrakbx/filesmng.nsf/1B9DF09C9EAE4D2B832573760042EB40/$File/APRESENTA%C3%87%C3%83O_RALF_SANEPAR%20-.pdf?OpenElement)>. Acesso em: 22 de Outubro de 2014.

BIBLIOTECA DIDÁTICA DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS – BDT. **Tratamento de esgoto**. (Módulo Saneamento Ambiental) Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~bdta/esgoto/lagoas.html>> Acesso em: 22 de Agosto de 2014.

CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**, Rio de Janeiro: ABES, 464p., 1999.

CONTIN, M.; GOI, D.; NOBILI, M. de. Land application of aerobic sewage sludge does not impair methane oxidation rates of soils. **Science of the Total Environment**, v.441, p.10-18, 2012.

CORREIA, J. E. **Caracterização físico-química e microbiológica do lodo gerado na Estação de Tratamento de Esgoto Contorno. Feira de Santana, BA.** 94 f. Dissertação (Mestrado) – Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.

COSTA, V. L.; MARIA, I. C. de; CAMARGO, O. A.; GREGO, C. R.; MELHO, L. C. A. Distribuição espacial de fósforo em latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.3, p. 287-293, 2013.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FERNANDES, S.A.P.; SILVA, S.M.C.P. da. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos.** Londrina: PROSAB, Finep, 1999. 84p.

GONÇALVES, R. F.; LIMA, M. R. P.; PASSAMANI, F. R. F. **Características Físico – Químicas e Microbiológicas do lodo de lagoas.** Capítulo 4. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Universidade Federal do Espírito Santo, 1999, 79p.

IBGE – Cidades – **Medianeira** Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=411580&search=parana|medianeira> Acesso em: 23 de Agosto de 2014.

IBGE – Cidades – **Santa Helena** Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=412350&search=parana|santa-helena> Acesso em: 23 de Agosto de 2014.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos.** Piracicaba, Editora Agronômica: Ceres Ltda, p.416 – 410, 1985.

MARIA, I. C. de; CHIBA, M. K.; COSTA, A.; BERTON, R. S. Sewage sludge application to agricultural land as soil physical conditioner. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n.3, p. 967-974, 2010.

MONTEIRO, A. J. **Eutrofização.** Departamento De Engenharia Civil E Arquitectura - Secção de Hidráulica e dos Recursos Hídricos e Ambientais Qualidade Da Água E Controlo Da Poluição. IST, Portugal, 2004.

NUVOLARI, A.; TELLES, D. D.; RIBEIRO, J. T.; MIYASHITA, N. J.; RODRIGUES, R. B.; ARAUJO, R. de. **Esgoto Sanitário. Coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. Edgard Blucher LTDA, 1 edição, São Paulo, 2003, 520p.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de Análise Química de Solo e Controle de Qualidade**. IAPAR, Londrina – PR. 1992, 40p.

PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; SOUSA, J. F. de; PICKLER, A. de C.; LEAL, E. R. M.; MILHOMEN, C. da C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato**, Nova Hamburgo, v.11, n.16, p. 149 – 160, 2010.

PLANO DIRETOR DE MEDIANEIRA (PR) – PDM. 2º Fase: **Avaliação temática integrada**. p.190. Medianeira, 2006.

PIRES, Adriana M. M. **Uso agrícola do lodo de esgoto: Aspectos legais**. EMBRAPA: Meio Ambiente, p4, Jaguariúna, 2006.

PIVELI, R. P. **Curso: Qualidade das águas e poluição: Aspectos físico-químicos** (Nutrientes: Compostos de nitrogênio e fósforo em águas), 2011, p.19.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DO MUNICÍPIO DE SANTA HELENA/PR – PMSH. 1º Edição, 2012 p.96

QUINTANA, N. R. G.; CARMO, M. S. do; MELO, W. J. de Lodo de Esgoto como Fertilizante: Produtividade Agrícola e Rentabilidade Econômica. **Nucleus**, v.8, n.1, p.183-192, 2011.

RESOLUÇÃO CONAMA 375/2006. **Critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados**. p.32

SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto. **Sistemas de Tratamento de Esgoto**, Aracruz, 2006, 14p. Disponível em: http://saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Esgoto.pdf Acesso em: 15 de Novembro de 2014.

SABESP; AESBE. **Padrões de lançamento para Estações de Tratamento de Esgotos Domésticos – Reunião AESBE**, 2009, 26p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/EFABF603/PresEstacoesTratamEsgotosDomesticos.pdf>. Acesso em: 22 de Novembro de 2014.

SANEPAR; PROSAB. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba, 1999, 98p.

SOARES, A. MOZETO, A. A. Water quality in the Tietê River Reservoirs (Billings, Barra Bonita, Bariri and Promissão, SP - Brazil) and nutrient fluxes across the sediment-water interface (Barra Bonita). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 18, n.3, p. 247-266, 2006.

TAVEIRA, E. J. A.; OLIVEIRA, F. F. de; GONÇALVES, R. F. Produção de lodo em lagoa anaeróbia tratando esgoto sanitário e lodo proveniente de polimento físico-químico de lagoa facultativa. **21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental** p.13, 2001.

USEPA - NORMA NORTE-AMERICANA – **Norma para uso ou disposição de lodo de esgoto**. EPA 40 CFR Parte 503, 2004, 44p.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. v.1. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, 1996. 243p.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Lagoas de Estabilização**. Volume 3. 2º Edição ampliada. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, 2006, 196p.

ZAGATTO, P. A; ARAGÃO, M. A; CARVALHO, M. do. C; SOUZA, R. C. R. de. **Manual de orientação em casos de florações de algas tóxicas: um problema ambiental e de saúde pública**. São Paulo: CETESB, 1997.