FUNDAÇÃO DE ASSISTÊNCIA E EDUCAÇÃO ï FAESA
FACULDADES INTEGRADAS ESPÍRITO-SANTENSES
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

IVAN HOTT GOMES
ULIANE BERTHOLDI BERNADINO

ESTUDO COMPARATIVO DA PRODUÇÃO DE LODO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE MULEMBÁ E VALE ENCANTADO E AVALIAÇÃO DOS CUSTOS COM SUA DISPOSIÇÃO

VITÓRIA
2013

IVAN HOTT GOMES

ULIANE BERTHOLDI BERNADINO

ESTUDO COMPARATIVO DA PRODUÇÃO DE LODO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE MULEMBÁ E VALE ENCANTADO E AVALIAÇÃO DOS CUSTOS COM SUA DISPOSIÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental apresentado às Faculdades Integradas Espírito-santenses, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental sob orientação da prof. (a) Maria Alice Moreno Marques

VITÓRIA

2013

IVAN HOTT GOMES
ULIANE BERTHOLDI BERNADINO

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental apresentado às Faculdades Espírito-santenses (FAESA), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

ESTUDO COMPARATIVO DA PRODUÇÃO DE LODO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE MULEMBÁ E VALE ENCANTADO E AVALIAÇÃO DOS CUSTOS COM SUA DISPOSIÇÃO

BANCA EXAMINADORA

Maria Alice Moreno Marques
Orientadora

Elen Trentini
Membro da Banca

Nelson Rubens N. DelAntonio
Membro da Banca

VITÓRIA, 20 DE NOVEMBRO DE 2013

AGRADECIMENTOS

Ivan Hott Gomes

A Deus por ter realizado mais esse marco em minha vida. E *que diminua eu pra que tu cresças* Senhor, mais e mais.

Aos meus pais e minha irmã pelo amor, compreensão, paciência, apoio e motivação dedicados a mim durante todos esses anos de vida estudantil e acadêmica. Amo vocês!

À Vó Celina e Vô Orípedes *(in memorian)* pelo amor incondicional e pelos sábios ensinamentos. Amo vocês!

A minha família, a presença, o carinho e a cooperação principalmente no início, porque foram essenciais para esta conquista. Obrigado a todos!

À minha orientadora, Maria Alice Marques Moreno, por sua orientação, pelo aprendizado durante toda graduação e por crer no nosso trabalho. Obrigado pela oportunidade de trabalhar este tema com você!

Aos meus colegas de turma, obrigado pelos momentos vividos na faculdade, que através da amizade e apoio recíproco, deram coragem para seguir em frente. Em especial minha parceira deste trabalho, Uliane Bertholdi.

À CESAN e a MARCA AMBIENTAL pelo apoio no fornecimento de dados para a elaboração deste trabalho.

A todos que por ventura contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

Deus abençoe a todos!

Uliane Bertholdi Bernadino

ñO futuro pertence àqueles que acreditam na beleza de seus sonhos.òA frase da ex-primeira dama americana, Elleanor Roosevelt, me inspirou durante o decorrer de todo o curso de graduação e aqui expresso o meu eterno agradecimento a todos que acreditaram na beleza dos meus sonhos.

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus sempre presente em minha vida, transformando todas as provações em força para continuar.

Aos meus avós Antônio e Angélica *(in memorian)* pelo imenso amor e o orgulho em dizer que sua neta iria se formar engenheira, seus conselhos sempre estarão em minha vida.

Aos meus pais Luiz Ademir e Maria Isabel de quem eu herdei todos os meus valores e verdades. Agradeço por seu apoio, amor e força, sem vocês eu não teria conseguido.

A minha irmã Luana, que sempre esteve ao meu lado, sua presença sempre me inspirou a continuar.

Ao Arthur pelo seu companheirismo e apoio, sempre me incentivando e me resgatando dos momentos de desanimo.

A todos os meus colegas de curso que já fazem parte da minha vida há tanto tempo, obrigado por suas piadas, sorrisos e sua amizade. Principalmente a minha amiga Jessica Luiza que sempre disse que ia dar certo, não importava o desespero e ao meu parceiro de pesquisa Ivan que aguentou minhas preocupações e medos.

Agradeço imensamente, a minha orientadora Maria Alice, por seu conhecimento e apoio, permitindo a finalização dessa pesquisa.

Aos empregados da Cesan, por consentirem a realização da minha pesquisa nessa empresa, fornecendo os dados e apoio necessário para o desenrolar da mesma.

Gostaria de agradecer por fim, a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram com seus conhecimentos para elaboração desse trabalho. A vocês meu muito obrigado.

RESUMO

À medida que as redes de coleta de esgoto são ampliadas e são implantadas novas estações de tratamento, a produção de lodo também aumenta. A melhoria da eficiência dos tratamentos de esgoto também contribui para esse aumento, pois existe uma forte relação entre o grau de tratamento e a quantidade de lodo produzido. Portanto, a correta gestão deste resíduo é um problema ambiental e sanitário muito relevante, sendo necessária a adoção de medidas para dispor esse material de forma a não causar nenhum dano ao meio ambiente e a sociedade.

Nessa busca por alternativas para disposição do lodo as empresas de saneamento esbarram nos custos envolvidos nesses processos, pois eles chegam ao ponto de representar até 60% do custo operacional de uma estação de tratamento de esgoto Atualmente as alternativas que mais se destacam são a disposição em aterro e o uso agrícola do biossólido, que possuem custos bem diferenciados, além de disporem os volumes de lodo de forma completamente diferentes.

Outro ponto que também deve ser levado em consideração ao se pensar em projetos de disposição do lodo é a quantidade de lodo produzida por cada estação, pois o mesmo varia em relação à vazão de esgoto tratada e o procedimento de tratamento adotado, principalmente entre os processos aeróbios e anaeróbios.

As estações de Vale Encantado e Mulembá diferem entre si em muitos aspectos entre eles no processo de biodegradação adotado, portanto, foram utilizadas como objeto de estudo para quantificar o lodo produzido através de fórmulas matemáticas, evidenciando que os tratamentos aeróbios produzem uma maior quantidade de lodo em comparação com os sistemas anaeróbios. A preocupação com a destinação final do lodo também foi levado em consideração nessa pesquisa, a CESAN já busca desde 2007 realiza estudos para a reutilização do lodo na agricultura e atualmente segue na implantação de uma unidade de gerenciamento de lodo para a adoção dessa alternativa de disposição, assim procurou-se estimar os custos envolvidos com a disposição do lodo, comprovando que a reutilização agrícola a longo prazo se torna mais viável que a disposição em aterro sanitário.

Palavras-chave: Lodo de esgoto, produção de lodo, custos de disposição

LISTA DE TERMOS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CESAN - Companhia Espírito Santense de Saneamento

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental

CFR - Code of Federal Regulations

CaO - Óxido de cálcio ou Cal

CO_2 - Gás carbônico

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

EEEB - Estação Elevatória de Esgoto Bruto

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

H_2S - Sulfeto de hidrogênio ou gás sulfídrico

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

NH_3 - Amônia

OD - Oxigênio Dissolvido

ONU - Organização das Nações Unidas

pH - Potencial Hidrogeniônico

PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná

TDH - Tempo de Detenção Hidráulico

UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket

UGL - Unidade de Gerenciamento de Lodo

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens de um sistema de reatores tipo UASB

Quadro 2 - Características de projeto para dimensionamento de lagoas de polimento

Quadro 3 - Comparativo de redução de patogênicos

Quadro 4 - Dados dos processos de tratamento de esgoto das ETEs

Quadro 5 - Custos relacionados à disposição em aterro sanitário

Quadro 6 - Custos de operação da UGL

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição físico-química do lodo de esgotos de acordo com o tipo de tratamento do esgoto
Tabela 2 - Características do lodo em relação ao teor e carga de sólidos
Tabela 3 - Valores típicos de massa específica e teor de sólidos para cada fase do tratamento por reator UASB e Lodos ativados por aeração prolongada
Tabela 4 - Valores médios de funcionamento da ETE Mulembá II
Tabela 5 - Características do lodo nos sistema de lodos ativados e reator UASB
Tabela 6 - Faixa de valores típicos de produção do lodo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo biológico de degradação aeróbia
Figura 2 - Fluxograma de um sistema de lodos ativados convencional
Figura 3 - Fluxograma de um sistema de lodos ativados aeração prolongada
Figura 4 - Esquema de funcionamento de um reator UASB
Figura 6 - Localização da ETE Vale Encantado
Figura 5 - Localização da ETE Mulembá
Figura 7 - Visão geral da ETE Vale Encantado
Figura 8 - Fluxograma do processo de tratamento do esgoto da ETE Vale Encantado
Figura 9 - EEEB da estação Vale Encantado
Figura 10 - Estrutura de gradeamento da ETE Vale Encantado
Figura 11 - Vista da entrada do efluente no reator UASB
Figura 12 - Lagoa de polimento da ETE Vale Encantado
Figura 13 - Vista dos leitos de secagem da ETE Vale Encantado
Figura 14 - Visão geral da ETE Mulembá II
Figura 15 - Fluxograma do funcionamento interno de uma EEEB
Figura 16 - Sistema de gradeamento da ETE Mulembá
Figura 17 - Entrada do efluente no tanque anóxico
Figura 18 - Vista do tanque de aeração
Figura 19 - Tanques de aeração/decantação
Figura 20 - Entrada do lodo no tanque de digestão
Figura 21 - Vista do adensador automatizado
Figura 22 - Vista das centrífugas usadas no processo de desidratação
Figura 23 - Lodo desidratado pronto para disposição
Figura 24 - Croqui do sistema de Lodos ativados da ETE Mulembá

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

2 REVISÃO DA LITERATURA 16

2.1 LODO DE ESGOTO: CONCEITO E CARACTERÍSTICAS 16

2.1.1 Material Orgânico 17

2.1.2 Nutrientes 17

2.1.3 Organismos patogênicos 18

2.1.4 Metais 18

2.2 PRODUÇÃO DE LODO NOS PROCESSOS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ESGOTO 19

2.2.1 Biodegradação aeróbia 20

2.2.2 Biodegradação anaeróbia 21

a) Hidrólise 21

b) Acidogênese 22

c) Acetogênese 22

d) Metanogênese 22

2.3 PROCESSOS DE TRATAMENTO COM LODOS ATIVADOS 22

2.3.1 Lodos ativados convencional 24

2.3.2 Lodos ativados aeração prolongada 25

2.4 PROCESSO DE TRATAMENTO COM REATOR UASB 26

2.4.1 Características do reator UASB 28

2.5 LAGOAS DE POLIMENTO 29

2.6 TRATAMENTO PARA O LODO GERADO 31

2.6.1 Adensamento 31

2.6.2 Estabilização 32

2.6.3 Condicionamento 32

2.6.4 Desidratação 33

2.6.5 Higienização 34
2.6.7 Disposição final 34
2.7 ALTERNATIVAS PARA A DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO 35
2.9 LEGISLAÇÃO 38
3 METODOLOGIA 40
3.1 ÁREAS ENVOLVIDAS NO ESTUDO 40
3.2 O PROCESSO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS E DE LODO NAS ETES 41
3.2.1 ETE Vale Encantado 41
3.2.2 ETE Mulembá II 46
3.3 ORIGEM DOS DADOS UTILIZADOS 53
3.4 CÁLCULO PARA ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE LODO 53
3.5 CÁLCULO PARA A ESTIMATIVA DO CUSTO COM TRANSPORTE 55
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 57
4.1 CÁLCULO DA PRODUÇÃO DE LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE VALE ENCANTADO 57
4.1.1 Dados gerais do sistema 57
4.1.2 Lodo gerado no reator 58
4.1.3 Lodo proveniente da desidratação 58
4.2 CÁLCULO DA PRODUÇÃO DE LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE MULEMBÁ 59
4.2.1 Dados gerais do sistema 59
4.2.2 Lodo gerado no reator 60
4.2.3 Lodo proveniente da digestão 61
4.2.4 Lodo proveniente do adensamento 62
4.2.5 Lodo proveniente da desidratação 63
4.3 COMPARATIVO DA PRODUÇÃO DE LODO NAS ETEs VALE ENCANTADO E MULEMBÁ 64

4.4 CÁLCULO DO CUSTO DE DISPOSIÇÃO DO LODO DA ETE MULEMBÁ EM ATERRO SANITÁRIO 65

4.5 CUSTOS DO TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DO LODO NO USO AGRÍCOLA 66

4.5.1 Custos da higienização do lodo 66

4.5.2 Custos com o transporte 67

4.5.3 Custo total do lodo para uso agrícola 67

4.5.4 Comparação dos custos envolvidos na destinação final 67

5 CONCLUSÃO 70

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos foi possível observar um grande crescimento populacional e com isso a expansão dos centros urbanos, no entanto, esse crescimento não foi acompanhado em termos de infraestrutura, o que ocasionou uma variedade de problemas no meio ambiente, principalmente em relação à poluição dos recursos hídricos. Nas áreas urbanas o principal agente poluidor da água é o esgoto, que ao ser lançado no corpo hídrico sem tratamento além de promover sua degradação traz consigo inúmeras doenças parasitárias e infecciosas.

Para que o esgoto possa ser encaminhado a um corpo d'água, sem prejudicar o ambiente e sem causar danos à saúde da população, é necessário que ele passe pelas estações de tratamento, que irão separar a parte líquida da parte sólida do efluente, lançando no corpo receptor apenas a água tratada. Como consequência desse tratamento ocorre à geração do lodo. Segundo Pires (2007) lodo de esgoto é um resíduo rico em matéria orgânica gerado durante o tratamento das águas residuárias nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) que também é conhecido como biossólido, nome dado ao lodo de esgoto, tratado ou processado, com características que permitam sua reciclagem de maneira racional e ambientalmente segura.

Dentre as alternativas mais usuais adotadas para o aproveitamento ou disposição final do lodo, podem ser citadas a disposição em aterro sanitário, o reuso industrial, a recuperação de solos (recuperação de áreas degradadas e de mineração), a "landfarming" (tratamento no solo com ou sem vegetação) e o uso agrícola, no entanto, a aplicação de algumas dessas alternativas requerem um conhecimento aprofundado a cerca dos poluentes, nutrientes e contaminantes contidos nesse material.

Essa busca por alternativas para disposição do lodo pelas empresas de saneamento, também esbarram nos custos envolvidos nesses processos, pois são inúmeras as variáveis que devem ser levadas em consideração antes de se optar por um das opções de disposição. Atualmente as alternativas que

mais se destacam são a disposição em aterro e o uso agrícola do biossólido, que possuem custos bem diferenciados.

O uso agrícola como alternativa de disposição final do lodo vem sendo muito aplicada, mas deve se ter um grande cuidado quanto à qualidade dos biossólidos utilizados para que este não traga prejuízos em nenhum aspecto. No entanto com os cuidados adequados essa alternativa é bastante promissora, uma vez que esse resíduo é muito rico em matéria orgânica e em nutrientes, sendo um bom condicionador e fertilizante do solo. Pensando nisso a Companhia espírito santense de saneamento (CESAN), vem desde 2007, juntamente com o Instituto capixaba de pesquisa, assistência técnica e extensão rural (INCAPER), desenvolvendo estudos sobre as alternativas para a utilização e destinação do lodo das ETEs, como a utilização na agricultura.

No Espírito Santo, por conta das ampliações e construções de estações de tratamento de esgotos, houve um crescimento na geração do lodo e em consequência disso uma maior preocupação com sua destinação final. Para se ter uma noção a produção média de lodo nas ETEs da Região da grande Vitória e no interior do Estado é de 350 e 70 ton/mês, respectivamente e a expectativa é que esse número cresça ainda mais com a adesão da população a rede coletora de esgotos. Um exemplo de ampliação do tratamento de esgoto é a estação de tratamento de Mulembá, localizada na cidade de Vitória. Nessa estação foi construído um segundo sistema de tratamento com capacidade projetada para tratar 360 $L.s^{-1}$, a ETE Mulembá II. Junto à primeira estação, esse sistema tem a capacidade de receber 570 $L.s^{-}1$de esgoto, o que resulta numa grande geração de lodo.

Além do número de habitantes atendido, a produção de lodo varia também em relação ao sistema de tratamento adotado. Na Cesan, existem estações que adotam diferentes tipos de tratamento, os mais utilizados são os sistemas de tratamento por lodos ativados e o reator Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) ou reator anaeróbico de fluxo ascendente em manta de lodo. Assim essa pesquisa adotou como objeto de estudo as bacias de esgotamento sanitário das ETE's Mulembá e Vale Encantado, que empregam um sistema aeróbio de lodos ativados e um sistema composto de um reator anaeróbio

(UASB) e uma lagoa polimento respectivamente, buscando comparar através de cálculos e da literatura as diferenças encontradas na produção de lodo de cada sistema.

Diante dessas considerações, a presente pesquisa tem com objetivo geral comparar a quantidade de lodo produzido nas estações de Mulembá e Vale Encantado e calcular os custos envolvidos em sua disposição e como objetivos específicos realizar um levantamento bibliográfico a cerca das características de produção de lodo, comparar a geração de lodo real com aos cálculos matemáticos de estimativa de lodo realizados, quantificar o volume de lodo gerado nas estações, estimar o custo de transporte de lodo e calcular a quantidade de cal necessária para a higienização do lodo produzido.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 LODO DE ESGOTO: CONCEITO E CARACTERÍSTICAS

Existe hoje em dia uma grande preocupação em relação ao grau de tratamento e ao destino final dos esgotos, as suas consequências sobre o meio ambiente, a qualidade das águas e seus usos benéficos. Tendo em conta esse aspecto, os estudos, critérios, projetos, relativos ao tratamento e à disposição final dos esgotos, deverão ser precedidos de cuidados especiais que garantam o afastamento adequado dos esgotos, e igualmente a manutenção e melhoria do seu manejo. (JORDÃO; PESSÔA, 2005, p. 17)

Segundo Costa et al. (2008, p. 2) o esgoto que sai das residências e é coletado pelas redes de saneamento é destinado à ETE para promover o seu tratamento, reduzindo os riscos de poluição do meio ambiente. Nesse processo é gerado um resíduo, rico em matéria orgânica e nutrientes, o Lodo de Esgoto.

O termo ñlodoò tem sido utilizado para designar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos. Nos processos biológicos de tratamento, parte da matéria orgânica é absorvida e convertida, fazendo parte da biomassa microbiana, denominada genericamente de lodo biológico ou secundário, composto principalmente de sólidos biológicos, e é por esta razão que o lodo também é denominado de biossólido. (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001, p. 13).

A composição típica do lodo de esgoto varia em função de sua origem, ou seja, se proveniente de uma área predominantemente residencial ou industrial, da época do ano, das condições socioeconômicas da população e da tecnologia utilizada no tratamento do esgoto (COSTA, A. N.; COSTA, A. F. 2011, p. 12). Mas segundo Damasceno e Campos (1998, p. 2) o lodo de esgoto apresenta-se tipicamente com 98 % de água. Dos sólidos contidos, 70 a 80 % são matéria orgânica incluindo óleos e graxas. Podendo também ser encontrados contaminantes, refletindo as características do esgoto bruto do qual ele foi derivado.

De acordo com Jordão e Pessôa (2005, p. 445) as características apresentadas pelo lodo no pré-condicionamento, são de extrema importância para se considerar o planejamento do seu destino final, como as que a seguir são apresentadas.

2.1.1 Material Orgânico

A parcela de compostos orgânicos é normalmente medida pela concentração ou pelo percentual de sólidos voláteis em relação aos sólidos totais. A elevada concentração de matéria orgânica no lodo caracteriza a sua desestabilização, possibilidade de decomposição anaeróbia, putrefação, geração de odores e atração de vetores. (JORDÃO; PESSÔA, 2005, p. 445)

Segundo Hammer (1979, p.31) a matéria orgânica biodegradável encontrada nos despejos é classificada em três principais categorias: carboidratos, proteínas e gorduras. Os carboidratos consistem em açúcares que são formados basicamente por carbono, hidrogênio e oxigênio. As proteínas, em sua forma simples, constituem-se de longas cadeias de aminoácidos contendo carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e fósforo. As gorduras por sua vez, estão ligadas a uma variedade de substâncias bioquímicas que apresentam solubilidade em diferentes solventes orgânicos (éter, etanol, acetona), mas são pouco solúveis em água.

2.1.2 Nutrientes

De acordo com Costa, A. N. e Costa, A. F. (2011, p.12) do total de sólidos presentes no esgoto cerca de 70% correspondem aos compostos orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras etc.) e 30% inorgânicos (areia, sais, metais etc.). O lodo de esgoto é um material rico em matéria orgânica, com alto teor de umidade e concentração representativa de nitrogênio e outros minerais que despertam o interesse agronômico.

Os valores típicos de nitrogênio, fósforo, e potássio, no lodo dos esgotos domésticos, são sempre menores que o desejado nos fertilizantes para uso agrícola, no entanto, o lodo pode vir a ter um papel importante como condicionador do solo. (JORDÃO; PESSÔA, 2005, p.446)

Segundo SANEPAR (1997, p.17) o nitrogênio é o constituinte mais valioso do lodo, sendo também um elemento de grande importância para as culturas, assim pode ser usado como fator limitante para se definir uma dosagem máxima de lodo a ser aplicado no solo.

2.1.3 Organismos patogênicos

O lodo, por se tratar de um resíduo do tratamento de esgoto gerado pela atividade humana, apresenta elevada concentração de microrganismos e muitos deles são causadores de doenças. Os cinco grupos de microrganismos patogênicos que podem estar presentes no lodo são os helmintos, protozoários, fungos, vírus e as bactérias. (COSTA, A. N.; COSTA, A. F. 2011, p.13)

Segundo Jordão e Pessôa (2005, p.446) a presença de patogênicos no conjunto de microrganismos existentes no lodo é um reflexo direto do perfil de saúde da população contribuinte ao sistema de esgotamento sanitário, assim, se faz necessário à adoção de procedimentos específicos para o controle de patogênicos.

2.1.4 Metais

De acordo com a SANEPAR (1997, p.33) os metais pesados de modo geral, são encontrados na natureza em rochas e nos solos e alguns deles são essências aos processos metabólicos como o cobre, ferro, manganês e zinco, considerados micronutrientes necessários às plantas. Já outros metais como o cádmio, não tem qualquer utilidade para as plantas e ainda podem se tornar tóxicos ao homem e aos animais.

Em relação ao lodo das estações de tratamento, os metais podem ser encontrados em diferentes concentrações, dependendo do tipo de contribuição de esgotos que a estação recebe se apenas doméstico, ou apenas industrial, ou misturado. A implantação de procedimentos de minimização de resíduos, ainda no processo de pré-tratamento, antecedendo o lançamento no sistema de esgoto, contribui para diminuição de metais presentes no lodo. (JORDÃO; PESSÔA, 2005, p. 447)

2.2 PRODUÇÃO DE LODO NOS PROCESSOS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ESGOTO

Nos últimos anos a produção de lodo tem aumentado consideravelmente devido à construção de novas estações de tratamento e ao aumento do número de conexões na rede de esgoto, levando a um aumento significativo da produção de lodo. O Brasil, o qual é um país em desenvolvimento em que se está fomentando a proteção dos recursos hídricos através do tratamento dos esgotos, vem se deparando com o problema da disposição do lodo gerado nesses tratamentos. (DAMASCENO; CAMPOS, 1998, p. 2)

Basicamente as fontes de geração de lodo numa estação de tratamento de esgoto são as unidades de operações primárias, as secundárias ou biológicas, e os processos de tratamento do lodo. Desta forma Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001, p. 15), distinguem:

a) Lodo bruto ou primário - composto por sólidos sedimentáveis gerado nos decantadores primários. O lodo primário pode exalar mau cheiro, principalmente se ficar retido por muito tempo nos decantadores, com coloração acinzentada, pegajoso, facilmente fermentável, e de fácil digestão sob condições adequadas de operações da estação de tratamento de esgoto;

b) Lodo biológico ou secundário - compreende a própria biomassa gerada através da remoção da matéria orgânica (alimento) fornecido pelo esgoto afluente. Gerado em reatores biológicos, com aparência floculenta, coloração de marrom a preta, odor pouco ofensivo quando fresco e pode ser digerido sozinho ou misturado ao lodo primário (neste caso chamado de lodo misto). Vale ressaltar que estes sólidos não se encontram estabilizados (digeridos) necessitando de uma etapa posterior, de digestão.

c) Lodo digerido aquele que sofreu estabilização biológica aeróbia ou anaeróbia, não possui odor ofensivo e é marrom escuro este lodo não requer uma etapa de digestão posterior.

d) Lodo químico originário do tratamento do esgoto que inclui etapas físico-químicas para melhorar o desempenho dos decantadores primários, usualmente é resultado da precipitação química com sais metálicos ou com cal.

A Tabela 1 apresenta algumas variações na composição físico-química do lodo de acordo com o tipo de lodo gerado nos tratamentos primários e secundários do esgoto.

Tabela 1 - Composição físico-química do lodo de esgotos de acordo com o tipo de tratamento do esgoto

Características	**Unidades**	**Lodo primário**	**Lodo secundário**	
			Lodo ativado	**Lodo anaeróbio**
Sólidos totais	g/kg	221	0,88	101
Sólidos voláteis	g/kg	280	0,777	682
Nitrogênio	g/kg	21	0,047	60,8
Fósforo	g/kg	-----	4,13	21
Carbono orgânico	g/kg	155	0,165	325
pH	----	7	6,17	-----

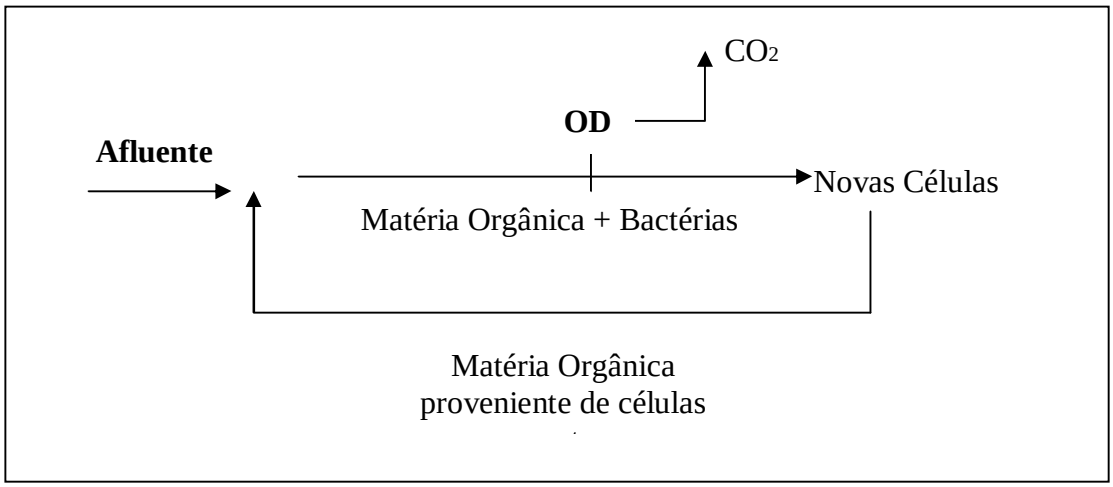
Fonte: Adaptado de Correia (2009, p. 15)

2.2.1 Biodegradação aeróbia

No processo de biodegradação aeróbia a matéria orgânica sofre degradação na presença de oxigênio e é feita por microrganismos aeróbios ou facultativos. Desde que o fornecimento de oxigênio seja contínuo, esse processo é a via mais rápida de biodegradação. (ANDREOLI; LARA; FERNANDES, 2001, p. 56)

Segundo Hammer (1979, p.427) a adição de oxigênio no esgoto bruto, por algumas horas, remove a matéria orgânica da solução pela síntese em células microbianas, pois na medida em que as bactérias metabolizam a matéria orgânica presente no esgoto elas absorvem o oxigênio e liberam gás carbônico e se multiplicam adicionando uma grande população de microrganismos ao lodo a ser biodegradado. A Figura 1 mostra um esquema de digestão aeróbia em um reator aeróbio.

Figura 1 - Processo biológico de degradação aeróbia



Fonte: Adaptado de Hammer, 1979, p. 428

2.2.2 Biodegradação anaeróbia

A biodegradação anaeróbia ocorre na ausência de oxigênio por microrganismos anaeróbios ou facultativos, começando a partir do momento em que o oxigênio dissolvido no esgoto já foi consumido pelos microrganismos aeróbios. (SANEPAR, 1997, p. 8)

Segundo Chernicharo (1997, p.24) a digestão anaeróbica representa um sistema altamente interativo e balanceado, envolvendo processos metabólicos na conversão da matéria orgânica na ausência de oxigênio, ocorrendo produção de biogás. Os microrganismos que participam do processo anaeróbico podem ser divididos em três grupos, no qual os mesmos participam de etapas sequenciais do processo. Os grupos de microrganismos são os seguintes:

- Bactérias Fermentativas ou Acidogênicas;
- Bactérias Acetogênicas ou Sintróficas;
- Bactérias Metanogênicas.

As vias de degradação de matéria orgânica estão didaticamente divididas em quatro etapas, a saber:

a) Hidrólise

Cada grupo microbiano tem funções específicas. As bactérias fermentativas acidogênicas transformam por hidrólise, os compostos orgânicos complexos (os polímeros em monômeros) em outros mais simples (hidrogênio, dióxido de carbono, aminoácidos, ácidos orgânicos e outros), estes podem atravessar as paredes celulares das bactérias. (FRANCISQUETO, 2007, p. 40)

b) Acidogênese

Os compostos solúveis oriundos da hidrólise são absorvidos nas células das bactérias fermentativas, e após acidogênese, excretados como substâncias orgânicas simples, como ácidos graxos voláteis de cadeia curta, álcoois, ácido lático e compostos minerais como CO_2, H_2, NH_3, H_2S, etc. (FRANCISQUETO, 2007, p. 40)

c) Acetogênese

Nesta fase, as bactérias acetogênicas promovem a conversão dos produtos da acidogênese em compostos que formam os substratos para a produção do metano, ou seja, esta etapa serve como base para as bactérias metanogênicas. (CHERNICHARO, 1997, p. 26)

d) Metanogênese

Por fim, na etapa final do processo global de degradação anaeróbica de compostos orgânicos, os produtos finais do segundo grupo são convertidos em metano e dióxido de carbono pelas bactérias metanogênicas. (CHERNICHARO, 1997, p. 27)

2.3 PROCESSOS DE TRATAMENTO COM LODOS ATIVADOS

ñLodo ativado é o floco produzido num esgoto bruto ou decantado pelo crescimento de bactérias ou outros organismos, na presença de oxigênio dissolvido.ñ(JORDÃO; PESSÔA, 2005, p. 507)

O sistema de lodo ativado se distingue de outros sistemas de tratamento biológico de esgotos por oferecer a possibilidade de se remover os nutrientes

nitrogênio e fósforo com requisitos mínimos de área. Para dispor das vantagens desses sistemas, quanto à remoção de nutrientes, suas configurações podem sofrer alterações e, dessa maneira, elevar o seu potencial de tratamento. (SANTOS, 2009, p. 1)

De acordo com Jordão e Pessôa (2005, p. 507) no processo de lodos ativados o esgoto afluente e o lodo ativado são misturados, agitados e aerados nos tanques de aeração, para em seguida separar o lodo ativado do efluente, por sedimentação. A maior parte do lodo ativado retorna para o processo, enquanto outra parcela é retirada e enviada para o destino final, o chamado lodo em excesso.

O processo de lodos ativados fundamenta-se no controle do crescimento de bactérias através da recirculação do lodo advindo do sistema, de modo a manter a maior concentração possível de microrganismos ativos no reator aerado. A permanência desses microrganismos garante a elevada eficiência dos sistemas de lodos ativados, já que a biomassa tem tempo suficiente para metabolizar praticamente toda a matéria orgânica dos esgotos. (BERANGER, 2009, p. 21)

Segundo Von Sperling, (2002, p. 15) devido às diversas variantes do processo de lodos ativados, esse sistema pode ser divido quanto:

- À idade do lodo (tempo de detenção dos sólidos no sistema)
  - Lodos ativados convencional;
  - Aeração prolongada.

- Ao fluxo
  - Fluxo contínuo;
  - Fluxo intermitente (batelada).

- Ao afluente
  - Esgoto bruto;
  - Efluente de decantador primário;
  - Efluente de reator anaeróbio;
  - Efluente de outro processo de tratamento.

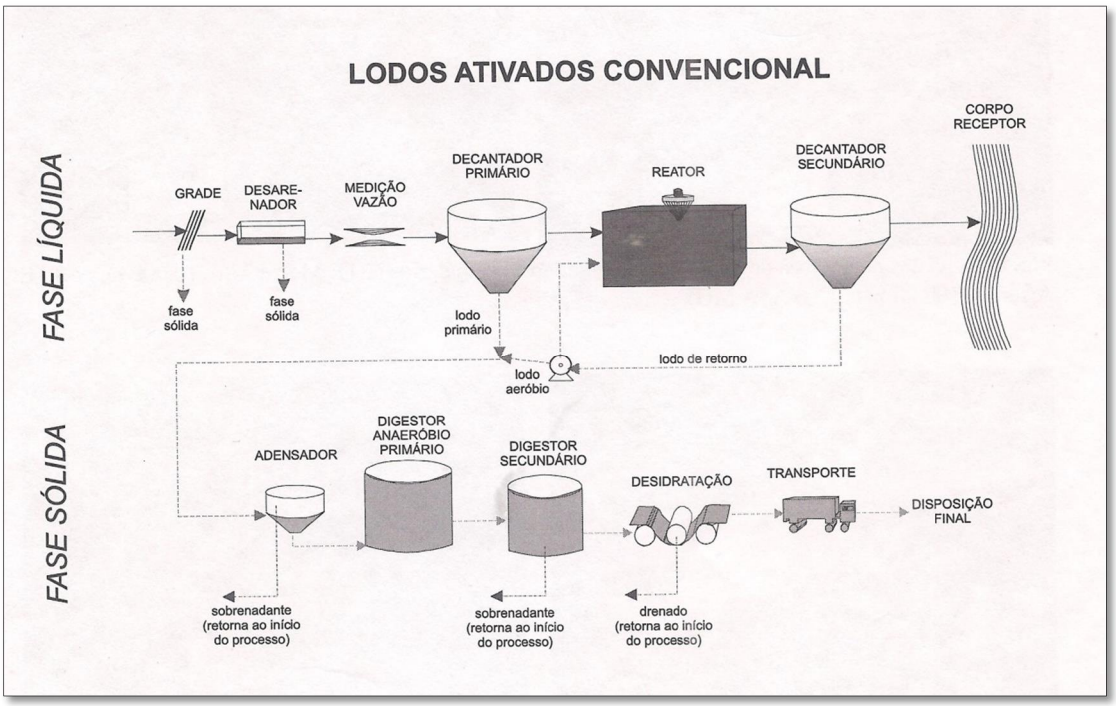
2.3.1 Lodos ativados convencional

O sistema de lodos ativados convencional é constituído por reator e decantadores primário e secundário, nesse sistema o lodo permanece retido de 4 a 10 dias (idade do lodo) e é esta maior permanência dos sólidos no sistema que garante a elevada eficiência do processo. (Von Sperling, 2005, p. 303)

Segundo Silva (2007, p. 5) a concentração de biomassa no reator é bastante elevada, devido à recirculação dos sólidos sedimentados no decantador secundário. Sendo assim para manter o sistema em equilíbrio, há necessidade da remoção de uma quantidade de lodo equivalente a biomassa que aumenta pela reprodução das células. Este lodo removido necessita de uma estabilização na etapa de tratamento do lodo.

Von Sperling (2005, p. 303) ressalta que apesar do sistema de lodos ativados convencional necessitarem de áreas reduzidas e ter elevada eficiência de remoção, esse sistema apresenta um fluxograma complexo, requerendo elevada capacitação para sua operação, além de gastos com energia elétrica para a aeração dos tanques. A seguir têm-se o fluxograma típico do sistema (Figura 2).

Figura 2 - Fluxograma de um sistema de lodos ativados convencional



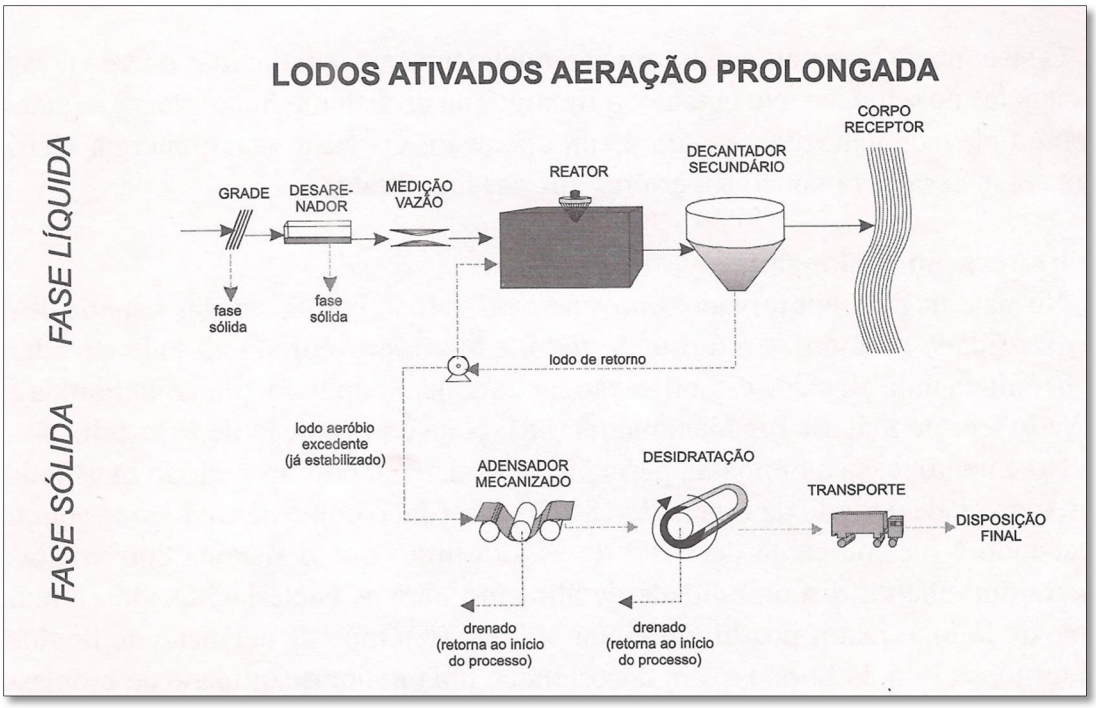
Fonte: Von Sperling, 2005, p. 303

2.3.2 Lodos ativados aeração prolongada

De acordo com Von Sperling (2005, p. 305), o sistema de aeração prolongada é similar ao sistema convencional, diferenciando-se pelo fato, da biomassa permanecer no sistema por um período mais longo, com uma idade do lodo na ordem de 18 a 30 dias, recebendo a mesma carga da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) do esgoto afluente, havendo, portanto, uma menor disponibilidade de alimento. Como resultado disso, as bactérias passam a utilizar como matéria orgânica para seus processos metabólicos parte da biomassa microbiana contida no lodo, o que corresponde a uma estabilização da biomassa no próprio reator.

Von Sperling (2005, p. 305) ainda relata que a consequência por haver essa simplificação no processo de estabilização é que há um aumento no gasto de energia para a aeração, mas que por outro lado, a redução da disponibilidade de alimento reduz a produção de lodo e faz com que a aeração prolongada seja um dos processos mais eficientes na remoção de DBO. A Figura 3 traz um fluxograma de um sistema de aeração prolongada.

Figura 3 - Fluxograma de um sistema de lodos ativados aeração prolongada



Fonte: Von Sperling, 2005, p. 306

2.4 PROCESSO DE TRATAMENTO COM REATOR UASB

De acordo com o IBGE (2002) citado por Carvalho (2006, p.4), o Brasil possui mais de 300 reatores anaeróbicos operados em escala real tratando esgoto sanitário, sobretudo no estado do Paraná.

Na década de 70, o uso de reatores anaeróbicos era bem reduzido em comparação aos processos aeróbicos. O tratamento de esgotos era quase que exclusivamente através de lagoas de estabilização, de filtros biológicos, ou de processo de lodos ativados. (ALEM SOBRINHO; JORDÃO, 2001, p. 2)

No Brasil, as pesquisas pela utilização do reator UASB em esgotos sanitário iniciaram-se por volta da década de 80 com êxito e posteriormente foram aplicados em esgotos industriais. (CARVALHO, 2006, p. 4)

Segundo Jordão e Pessôa (2009, p. 794) existem duas formas para retenção do lodo no sistema, o filtro anaeróbico e o chamado ñReator de manta de Lodoò ou reator UASB. No último, as bactérias formam uma zona ou manta de lodo no interior do reator. O mesmo também é conhecido como ou ñDAFAò, Digestor Anaeróbico de Fluxo Ascendente, ou ñRAFAò, Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente. No Paraná é comum a terminologia ñRALFò, Reator Anaeróbico de Leito Fluidizado.

O fluxo ascendente é o que prevalece no processo de tratamento via reatores UASB, ou seja, o líquido entra pelo fundo e se encontra com a camada de digestão. No fundo do reator existem duas camadas, o leito de lodo e a manta de lodo. A primeira camada, o leito de lodo, tem como características uma densidade muita alta e elevada capacidade de sedimentação. Acima do leito do lodo, em direção ao topo do reator, encontra-se uma zona de lodo mais dispersa e leve, chamada manta de lodo, em que os sólidos se sedimentam com velocidades mais baixas. A junção do leito de lodo com a manta de lodo tem como resultante a camada de digestão. (FRANCISQUETO, 2007, p. 37)

Ao entrar pelo fundo, o líquido se encontra primeiramente com o leito de lodo o que causa adsorção de grande parte da matéria orgânica pela biomassa. Seguidamente, entra em contato com a manta de lodo, já iniciando o processo

de digestão anaeróbica. Nesta etapa, há uma alta concentração da biomassa no reator, justificando a denominação de manta de lodo. (VON SPERLING, 2005, p. 297)

De acordo com Jordão e Pessoa (2005, p. 794), a principal diferença entre filtros anaeróbicos e reatores anaeróbicos é a presença de um meio suporte nos filtros. Nos reatores, a retenção da biomassa ocorre pela aglutinação de pequenos grânulos, que por sua vez tendem a servir como meio suporte para o sistema, auxiliando na eficiência.

Como resultado da atividade anaeróbica, são formados gases e lodo. Devido a isso, é necessário instalar dois dispositivos acima da manta de lodo, denominados separador trifásico (sólidos, líquidos e gases) e defletor de gases. O separador tem como objetivo separar a biomassa e os gases produzidos, impedindo que os sólidos saiam junto com o efluente. O mesmo possui uma forma de pirâmide ou cone invertido. Já o defletor tem como finalidade mudar a direção dos gases. (VON SPERLING, 2005, p. 297)

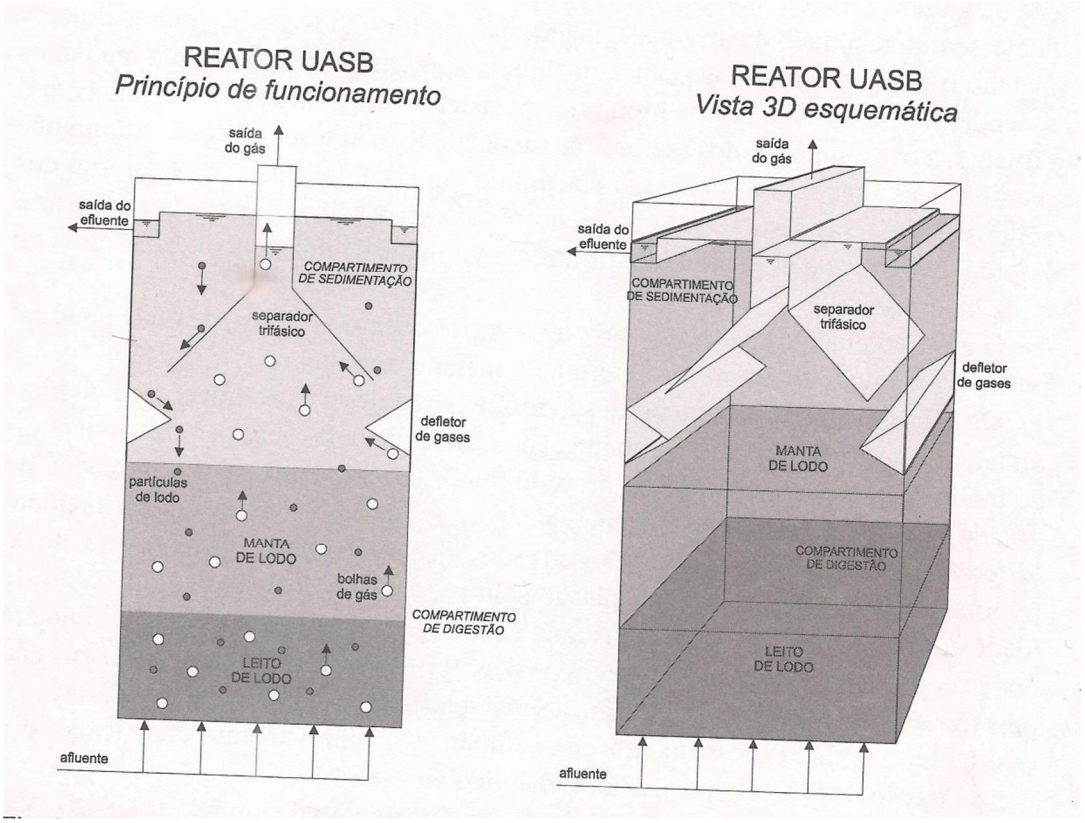
As bolhas de gás se formam na zona de digestão e sobem na fase líquida até encontrarem uma interface líquido/gás presente abaixo do separador de fase. Nesta interface as bolhas se desprendem, formando uma fase gasosa. Estas bolhas de gás precisam ser desviadas para evitar que passem pelas mesmas aberturas do separador destinadas a passagem da fase líquida. O gás coletado pode ser reaproveitado ou queima. (JORDÃO; PÊSSOA, 2005, p. 797)

Ao passar pela zona de digestão, a velocidade do líquido tende a diminuir, possibilitando a formação de uma zona tranquila, denominado zona de sedimentação, onde a velocidade de arraste pelo líquido pode ser menor que a velocidade de sedimentação de sólidos. Nesta zona, os flocos, com uma velocidade de sedimentação maior que a velocidade ascensional do líquido no nível descarga do efluente, podem ser retidos. (FRANCISQUETO, 2007, p. 37)

De acordo com Von Sperling (2005, p. 297) estes flocos serão depositados sobre a superfície inclinada do separador de fases até que se forme uma massa suficiente para sedimentar e retornarem para zona de digestão. Dessa forma, possibilitando que o efluente a ser descarregado encontre-se

substancialmente livre de sólidos sedimentáveis, embora, parte das partículas mais leves são descarregadas juntamente com o efluente. Com isso, o efluente sai do sistema seguindo o fluxo ascendente até atingir os vertedores, que segue para a etapa de pós-tratamento ou para o corpo receptor. A Figura 4 esquematiza o funcionamento de um reator anaeróbio.

Figura 4 - Esquema de funcionamento de um reator UASB



Fonte: Von Sperling, 2005, p. 298

2.4.1 Características do reator UASB

Os reatores do tipo UASB para tratamento de esgotos tipicamente domésticos já são utilizados em diversas localidades no Brasil, sendo que estas experiências têm se mostrado bem sucedidas. (BRITO, 2006, p. 26)

De acordo com Jordão e Pêssoa (2005, p. 793), três fatores são fundamentais na utilização do reator anaeróbico para o processo de tratamento de esgoto, os quais são:

- melhor contato entra biomassa e despejo;
- melhor atividade da biomassa;

- grande acumulação da biomassa no reator.

Chernicharo (1997, p.17) destaca as principais vantagens e desvantagens, tais como as apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens de um sistema de reatores tipo UASB

Vantagens	Desvantagens
Baixa demanda de Área	Geração de maus odores
Facilidade de construção e operação	Baixa remoção de nutrientes e patógenos
Baixa produção de lodo	Necessidade de pós- tratamento
Razoável eficiência de remoção de matéria orgânica (65% ï 75%)	Partida Lenta, ou seja, muito tempo para o sistema entrar em regime na primeira vez
Baixo consumo de energia	
Flexibilidade na instalação	
Boa desidratabilidade do lodo	

Fonte: Adaptado de Chernicharo, 1997, p.17

2.5 LAGOAS DE POLIMENTO

Embora o reator anaeróbico de fluxo ascendente seja uma unidade eficiente na remoção do material orgânico e dos sólidos em suspensão, os efluentes dos reatores anaeróbicos necessitam de mais uma etapa de tratamento, a fim de alcançar os padrões de emissões exigidos pela legislação ambiental. Normalmente, os projetos de sistemas de tratamento são feitos com UASB como unidade principal, juntamente com uma unidade de pós-tratamento. Entre as alternativas de pós-tratamento, destaca-se o uso das lagoas de polimento. (ABREU, 2007, p. 4)

De acordo com Abreu (2007, p. 5) essa unidade tem como objetivo de promover o polimento dos efluentes, através da remoção de patogênicos e de nutrientes, ou mesmo uma razoável remoção de matéria orgânica.

Nas lagoas de polimento, predomina um ambiente aeróbio, devido à combinação de menor demanda de oxigênio com maior produção de oxigênio, o que leva à prevalência da fotossíntese sobre a oxidação bacteriana. (RODRIGUES, 2009, p.1429)

Os microrganismos patogênicos não são retidos no reator anaeróbico devido ao seu baixo TDH (Tempo de Detenção Hidráulico). Dessa forma, as lagoas de polimento auxiliam na remoção desses microrganismos. No contexto do pós-tratamento de efluentes anaeróbios, as lagoas de polimento exercem bem este papel, sendo esta uma de suas principais finalidades (VON SPERLING, 2002, p. 17)

Segundo Chernicharo (1997, p.224), os critérios para dimensionado das lagoas de polimentos são em função da remoção dos microrganismos patogênicos. Devem-se levar em conta fatores ambientais como, temperatura, radiação solar, compostos tóxicos, pH, entre outros. Fatores físicos também são importantes para o dimensionamento, as lagoas devem ter pequenas profundidades, de forma a maximizar a penetração de luz, devido a produção de oxigênio pelas algas. Algumas características da unidade em escala plena são apresentadas no Quadro 2 abaixo.

Quadro 2 - Características de projeto para dimensionamento de lagoas de polimento

Características	**Unidades**	**Reator UASB**		**Lagoa de Polimento**	
		Início de plano	Final de plano	Início de plano	Final de Plano
População	hab	5000	7000	5000	7000
Vazão de Projeto	$L.s^{-1}$	9,8	15,5	9,8	15,5
Volume	m^3	477	477	20000	20000
Profundidade	m	4,5	4,5	2	2
Área superficial	ha	-	-	1,0 (200x50)	1,0 (200x50)
Tempo de detenção hidráulico (para Qméd)	h	13,5	13,5	566,4	357,6
Taxa de aplicação superficial	kgDBO/ha.d	-	-	90	140

Fonte: Adaptado de Chernicharo, 1997, p. 225

De acordo com Jordão e Pêssoa (2005, p. 709), sistema reator UASB + lagoa de polimento pode ser tão eficiente quanto às lagoas em série. O Quadro 3 demonstra a percentagem de redução de organismos patogênicos nos processos de tratamento.

Quadro 3 - Comparativo de redução de patogênicos

Parâmetro	Sedimentação	Filtros Biológicos	Lodos Ativados	UASB + L. Polimento	3 Lagoas em série
Vírus entéricos	0 ï 30	90 ï 95	90 - 99	99 ï 99,99,	99,9 ï 99,99
Bactérias	50 - 90	90 - 95	90 - 99	99,99 ï 99,9999	99,9 ï 99,9999
Protozoários	10 - 15	50 - 90	50	100	100
Helmintos	30 - 90	50 - 95	50 - 99	100	100

Fonte: Adaptado de Jordão e Pêssoa, 2005, p. 709

2.6 TRATAMENTO PARA O LODO GERADO

O tratamento dos lodos de estações de tratamento de esgotos (ETEs) vem ganhando cada vez mais expressão no Brasil, em razão do aumento do número de ETEs instaladas e da necessidade de se atender às exigências ambientais. Nesse sentido, o desenvolvimento de novas tecnologias que reflitam em menor produção de lodo é o resultado dessa crescente demanda pela disposição segura e com pequeno impacto ambiental desse lodo gerado, garantindo maior segurança e bem estar para as populações envolvidas. (CORREIA, 2009, p. 12)

Normalmente, o tratamento do lodo gerado, inclui uma ou mais das seguintes etapas:

2.6.1 Adensamento

O adensamento ou espessamento é um processo físico de concentração de sólidos no lodo visando reduzir sua umidade e, em decorrência, seu volume, facilitando as etapas subsequentes e da disposição final. (VON SPERLING, 2005, p. 364). Jordão e Pessôa (2005, p. 287), relata que uma das finalidades

do adensamento é a redução do volume, porém o enfoque é na redução do custo de implantação e operação das unidades seguintes.

De acordo com Imhoff (1996, p.129) o adensamento do lodo já pode ser iniciado nos próprios decantadores, no entanto, no processo de descarga desse lodo, é inevitável que ocorra a diluição por meio da entrada de água residuária restante, por isso a maior parte das estações apresentam uma unidade separada para o adensamento.

2.6.2 Estabilização

Segundo Costa, A. N. e Costa, A. F. (2011, p.15) os processos de estabilização foram desenvolvidos com o objetivo de estabilizar a fração biodegradável da matéria orgânica presente no lodo reduzindo o risco de putrefação, de liberação de odores e a concentração de microrganismos patógenos.

David (2002, p. 11) traz que a estabilização é eficaz nesses aspectos, devido à redução de componentes voláteis, oxidação química do material volátil e adição de produtos químicos ao lodo para tomá-lo inadequado para sobrevivência de microrganismos e aplicação de calor para desinfecção.

2.6.3 Condicionamento

Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001, p. 173) relatam que o condicionamento do lodo é uma etapa prévia ao desaguamento e influencia diretamente a eficiência dos processos mecanizados. O condicionamento pode ser feito através do uso de produtos químicos inorgânicos, orgânicos ou de tratamento térmico. Imhoff (1996, p. 138) afirma que entre as maneiras de pré-tratar ou condicionar este lodo estão: aplicação de calor ou frio, adição de produtos químicos ou de floculantes orgânicos, adição de cinzas e lavagem do lodo com água (elutriação). Sendo que, esses processos podem ser empregados separadamente ou em conjunto.

De acordo com Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001, p. 173) o condicionamento visa alterar o tamanho e a distribuição das partículas, as cargas de superfície e a interação das partículas do lodo. Quanto maior a

superfície específica das partículas, maior será o grau de hidratação, a necessidade de produtos químicos e a resistência ao desaguamento.

Andreoli (2001, p.78) faz uma ressalva de que a seleção de um determinado processo de condicionamento deve se basear em critérios de custos de capital, operação e manutenção do sistema como um todo. Custos relativos ao impacto da recirculação do efluente restante nas outras etapas do tratamento, na qualidade do efluente e nas emissões atmosféricas devem ser integrados à análise.

Ainda segundo a Andreoli (2001, p.58) os principais coagulantes utilizados nesse processo são os sais metálicos, a cal e os polímeros orgânicos (polieletrólitos). Os coagulantes inorgânicos mais comuns são o sulfato de alumínio, o cloreto férrico, o sulfato ferroso, o sulfato férrico e a cal virgem/hidratada. Dentre esses, os mais utilizados são cloreto férrico e cal.

2.6.4 Desidratação

Para Andreoli (2001, p. 57) a desidratação de lodo é uma operação unitária que reduz o volume do lodo em excesso por meio da redução de seu teor de umidade. A capacidade de desidratação varia com o tipo de lodo. Um lodo ativado, por exemplo, é mais difícil de ser desaguado do que um lodo primário digerido anaerobicamente.

Ainda segundo a Andreoli (2001, p.57) essa variação na capacidade de desidratação está diretamente relacionada ao tipo de sólido e à forma pela qual a água está ligada às partículas do lodo. As principais razões para realizar a desidratação são:

- Redução do custo de transporte para o local de disposição final.
- Melhoria nas condições de manejo do lodo, já que o lodo desaguado é mais facilmente transportado.
- Aumento do poder calorífico do lodo por meio da redução da umidade com vistas à preparação para incineração.
- Redução do volume para disposição em aterro sanitário ou reuso na agricultura.

Segundo Jordão e Pessôa (2005, p. 346) a variedade de processos de tratamento e disposição final do lodo sofrem mudanças constantes devido aos avanços tecnológicos na área, mas os principais processos utilizados por hora para a remoção de umidade do lodo são: os leitos de secagem, a lagoa de lodo, o filtro prensa, filtro de esteira, centrífugas e a secagem térmica.

2.6.5 Higienização

De acordo com Von Sperling (2005, p.383) o objetivo de se introduzir o processo de higienização no tratamento do lodo é garantir um baixo nível de patogenicidade para que, dependendo da alternativa da disposição final adotada, o lodo não venha a trazer riscos à saúde da população, aos trabalhadores que irão manuseá-lo e impactos ao meio ambiente. Os principais mecanismos de higienização são a compostagem, a digestão aeróbia autotérmica, a caleação ou estabilização alcalina, a pasteurização e a secagem térmica, dando destaque a caleação por sua facilidade de aplicação.

A aplicação de produtos químicos alcalinos na estabilização do lodo, já vem sendo utilizado desde o final do século passado e a cal é considerada um dos produtos alcalinos mais baratos e usados no saneamento. A eliminação dos patógenos se dá por efeito da elevação do pH do lodo a níveis iguais ou superiores a 12. (ANDREOLI; LARA; FERNANDES, 2001, p. 94)

De acordo com Santos, A. N. e Santos A. F (2011, p. 16) a caleação do lodo consiste na mistura de cal virgem ao lodo em proporções que podem variar de 20 a 50% do peso seco do lodo, usualmente adota-se 30%. Essa mistura provoca uma reação exotérmica que promove a elevação da temperatura por alguns dias e do pH.

2.6.7 Disposição final

De acordo com Imhoff (1996, p. 167) qualquer estação de tratamento em que não se consiga alguma forma de disposição final do lodo está fatalmente condenada ao insucesso, assim, o tratamento e disposição de lodo devem ser geridos para minimizar problemas ambientais como odor e lançamento no ambiente de contaminantes e patógenos.

Para cada processo de tratamento adotado na estação, o lodo pode ter diferentes tipos de adensamento, estabilização, condicionamento e desidratação, o que resulta em diferentes características físicas e químicas no lodo final. São essas características, que definem o melhor destino para o material final e quando devidamente aproveitadas, conferem ao lodo um potencial agrícola a ser explorado. (DAVID, 2002, p. 5)

Os principais aspectos que devem ser observados para se definir a forma e o local de destino do lodo gerado são:

- produção e características do lodo gerado na estação;
- presença de esgotos industriais no sistema de coleta, capaz de atribuir ao lodo outras características;
- quantidade de lodo gerado na estação de tratamento, para a estimativa de um período de tempo no qual será realizada aquela disposição final.
- características especiais que possa interferir no sistema de disposição proposto, de natureza física, química e biológica. (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001, p. 304)

Ainda, de acordo com Jordão e Pessôa (2005, p.443), as soluções mais empregadas para o sistema de disposição final são os aterros sanitários, a incineração, usos agrícolas diversos, reuso industrial e o lançamento no oceano.

2.7 ALTERNATIVAS PARA A DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO

A busca de alternativas viáveis para a disposição final de lodo de esgoto está entre uma das preocupações mundiais previstas na Agenda 21, referente à gestão adequada de resíduos, baseada nos princípios: para todos os resíduos devem ser buscados os meios de minimização da produção, maximização do reuso e da reciclagem e a promoção da disposição final e tratamento ambientalmente adequados. (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001, p. 465)

Ainda segundo com Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001, p.465) a disposição final do lodo de esgoto deve ser parte do planejamento do projeto

de uma unidade de tratamento de esgotos. A definição dessa disposição deverá levar em conta os aspectos técnicos, econômicos, operacionais e ambientais e as características do lodo, procurando garantir uma forma eficiente e adequada de disposição.

De acordo com Bettiol e Camargo (2006, p. 25) algumas das alternativas encontradas para o aproveitamento ou disposição final do lodo de esgoto ou biossólidos são: disposição em aterro sanitário (aterro exclusivo e co-disposição com resíduos sólidos urbanos); reuso industrial (produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmica e produção de cimento); incineração (incineração exclusiva e co-incineração com resíduos sólidos urbanos); disposição oceânica; recuperação de solos (recuperação de áreas degradadas e de mineração); ñlandfarmingò (tratamento no solo com ou sem vegetação) e uso agrícola e florestal (aplicação direta no solo, compostagem, fertilizante e solo sintético).

Jordão e Pessôa (2005, p. 454) afirmam que a alternativa de distribuição do lodo para áreas de produção agrícola é altamente recomendada. No entanto, os controles para monitoramento do lodo gerado são rígidos, tanto em relação às taxas de agregação do solo onde este for disposto quanto aos componentes químicos e biológicos de lodo.

Em comparação com os fertilizantes comerciais, o valor do lodo é reduzido, quando se leva em consideração o teor de nitrogênio, fósforo e potássio. Entretanto, quando se trata da aplicação agrícola do lodo, não deve ser levada tanto em consideração sua composição química em relação a esses nutrientes e sim sua capacidade de formar húmus fixador de água, além do seu custo inferior aos comerciais. (IMHOFF,1996, p. 165)

2.8 CUSTOS DA DISPOSIÇÃO

O custo é um importante fator na escolha do meio de disposição do lodo de esgoto, mas não é o único a determinar sua escolha. Existe também, uma série de outras variáveis de ordem econômica e ambiental que devem ser analisadas em conjunto, a fim de selecionar o método mais apropriado para a disposição do lodo (CANZIANI et al., 1999, p. 1)

Atualmente, a alternativa de disposição final, que tem sido mais praticada, é a disposição em aterros sanitários. Entretanto, com o passar do tempo, essa alternativa ficará comprometida devido as grandes quantidades de lodo a serem gerados com o decorre dos anos e a falta de áreas próprias para a instalação desses mecanismos. (DAVID, 2002, p. 1)

A CESAN também faz uso dessa alternativa para a disposição do lodo produzido em suas estações, no entanto, percebendo a necessidade de novas soluções para gerenciar o lodo produzido, vem realizando desde 2007 estudos, juntamente com o INCAPER, para a utilização agrícola desse material. Ao final do estudo foram levantados cerca de 1.945.529 ha com alto potencial para aplicação do biossólido em todo o Espírito Santo, o que representa cerca de 42% de todo o estado, deste total, 44.608 ha estão presentes na região da Grande Vitória. (COSTA, A. N.; COSTA, A. F., 2011, p. 26)

Segundo ANDREOLI (1988), citado por Canziani et al (1999, p. 3) dentre as alternativas de disposição final do lodo de esgoto, a reciclagem na agricultura se destaca pela sua economicidade e pela adequação sanitária e ambiental, desde que observadas às limitações estabelecidas pela legislação quanto ao conteúdo de metais pesados e organismos patógenos.

De acordo com Canziani et al. (1999, p. 9)a viabilidade do uso agrícola do lodo de esgoto está intimamente relacionada à política de comercialização do produto final. Neste aspecto, a organização de uma estrutura centralizada de comercialização do lodo, (em termos de transporte e distribuição do produto nas lavouras) certamente minimizará o custo total de disposição final do lodo na agricultura.

Em termos de infraestrutura, a CESAN está investindo na implantação de uma UGL, que se propõe a gerenciar o lodo gerado nas estações. No entanto ainda estão envolvidos no custo final da disposição para uso agrícola o tratamento para higienização e o transporte que são importantes parâmetros para a viabilidade econômica desse processo, além do custo com a mão de obra envolvida no processo e o monitoramento das análises que devem ser realizadas (CESAN, 2013)

Canziani et al (1999, p. 9) concluem que a Companhia de Saneamento, deve analisar a viabilidade dessa alternativa, pois o ganho social da reciclagem do lodo de esgoto, provavelmente, deverá superar os gastos à ela relacionados.

2.9 LEGISLAÇÃO

A ONU por meio da agenda 21, apresentada em 1992 na conferência no Rio de Janeiro, reconheceu a necessidade de gerenciamento dos resíduos sólidos, considerando o manejo ambiental adequado como um dos assuntos mais relevantes para a manutenção da qualidade do meio ambiente, sendo este apresentado na seção II da agenda que trata da conservação e gestão dos recursos para o desenvolvimento e especificado no capítulo 21 que trata da gestão ecologicamente racional dos rejeitos sólidos e questões relacionadas com as matérias fecais (COSTA, A. N.; COSTA, A. F. 2011, p. 21)

O Brasil, por sua vez, tomando como base o código americano 40 Code of Federal Regulations (CFR) de 1993, começou a estabelecer suas normas técnicas e regulamentos para uso e gestão do lodo. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) trouxe em 1999, a norma para aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas e a partir daí criou uma série de manuais técnicos, que estabelece critérios para elaboração de projetos, implantação e operação de sistemas de aplicação de lodos em áreas de uso agrícola. (CORREIA, 2009, p. 15)

Devido à necessidade de se criar critérios ambientais unificados e diretrizes para o gerenciamento de resíduos, a associação brasileira de normas técnicas (ABNT) reformulou o conjunto de normas brasileiras, padronizando em nível nacional, os procedimentos e diretrizes a serem adotados no gerenciamento dos resíduos sólidos, incluindo neste grupo as diretrizes de classificação e caracterização de resíduos de estações de tratamento de água e esgoto. (COSTA, A. N.; COSTA, A. F. 2011, p. 20)

Ainda de acordo com Santos A. N. e Santos A. F. (2011, p. 20) surgiram desse conjunto de normas a NBR 10004/2004 que trata da classificação dos resíduos sólidos, a NBR 10005/2004 que trata do procedimento para lixiviação de

resíduos, a NBR 10006/2004 que trata do procedimento para solubilização de resíduos e a NBR 10007/2004 que trata do procedimento para amostragem de resíduos.

Atualmente, podemos contar com a Resolução do Conselho do Meio Ambiente, CONAMA, 375/2006 (BRASIL, 2006), que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto e seus produtos gerados. (CORREIA, 2009, p. 15). Essa resolução surgiu da parceria do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) e o Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) que em 2006, definiram regras para o uso de lodo na agricultura por meio das Instruções Normativas 23, 27 e 35 e das Resoluções n° 375 e 380 ambas do ano em questão. (COSTA, A. N.; COSTA, A. F. 2011, p. 20)

No Brasil ainda conta-se com as experiências da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) que vem utilizando largamente o lodo estabilizado na agricultura e com a rede de cooperativa de pesquisa e o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), que atua no desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias nas áreas de águas de abastecimento, águas residuárias, resíduos sólidos de fácil aplicabilidade e baixo custo. (CORREIA, 2009, p. 15)

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREAS ENVOLVIDAS NO ESTUDO

Situada no município de Vitória, no bairro Joana D'Arc, a estação de tratamento de esgoto de Mulembá, é uma estação de grande porte, que opera pelo processo de lodos ativados por aeração prolongada. O sistema é constituído por uma série de reatores biológicos onde é possível realizar o tratamento biológico aeróbio e anóxico, além da etapa de clarificação secundária, com a separação do efluente tratado do lodo ativado que retorna para o ciclo de operação.

A estação está localizada nas coordenadas UTM 362074.9 E 7756362.37 N e (Figura 5) atende atualmente cerca de 37 bairros. A estação foi ampliada em 2011 e hoje se divide em duas etapas, Mulembá I e Mulembá II, juntas tem a capacidade de tratar até 560 $L.s^{-1}$ de efluente doméstico. (CESAN, 2013)

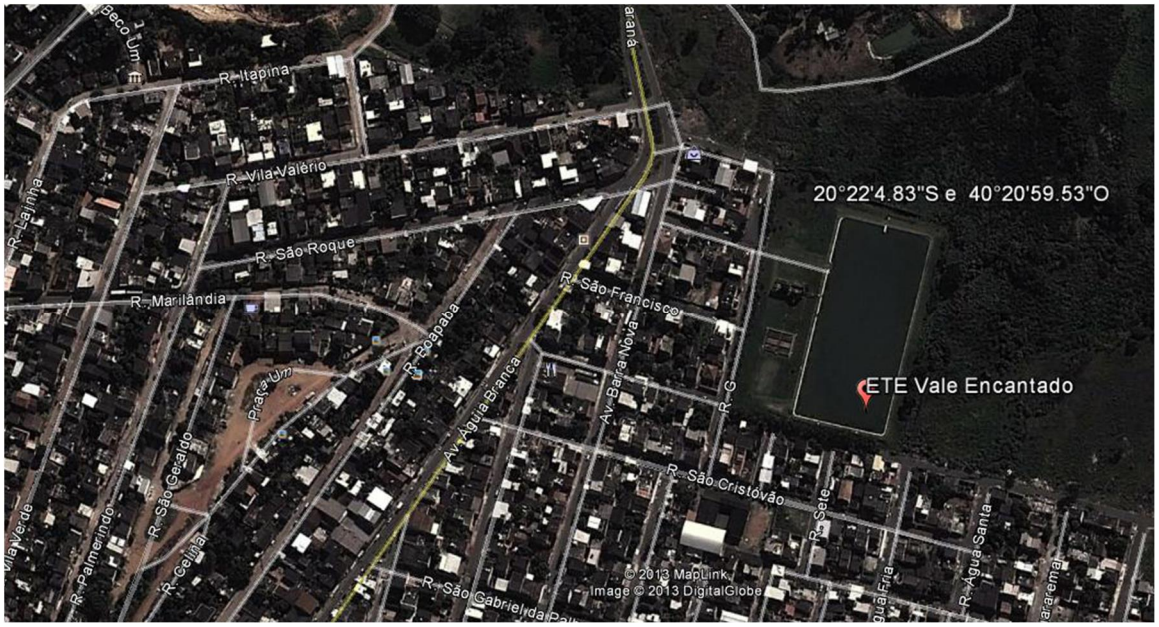
Figura 5 - Localização da ETE Mulembá

Fonte:Google Earth, 2013

Para efeitos de pesquisa foram utilizados apenas os dados da ETE Mulembá II, que opera com a maior vazão, tratando uma média de 152 $L.s^{-1}$de esgoto, atendendo uma população de 73.456 habitantes. O lodo gerado no processo de tratamento dessa estação é desidratado por meio de centrífuga, que processa uma média de 68 toneladas de lodo por mês.

A estação de tratamento de Vale Encantado é uma estação de pequeno porte, localizada nas coordenadas UTM 359155 E 7747142 N, município de Vila Velha, no bairro Vale Encantado como destacado na Figura 6, essa estação opera de forma intermitente utilizando o processo de reator UASB e trata o esgoto de 1.025 habitantes com uma vazão média de 3,5 $L.s^{-1}$.

Figura 6 - Localização da ETE Vale Encantado



Fonte: Google Earth, 2013

O processo de tratamento ainda conta com uma lagoa de polimento, quatro leitos de secagem para desidratação do lodo produzido e dois leitos para o armazenamento dos resíduos retirados do gradeamento. A vazão de entrada do efluente é medida através de uma calha Parshal e a saída por meio de um vertedor triangular e o efluente tratado é despejado por meio de tubulação emersa no córrego Carrefour.

3.2 O PROCESSO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS E DE LODO NAS ETES

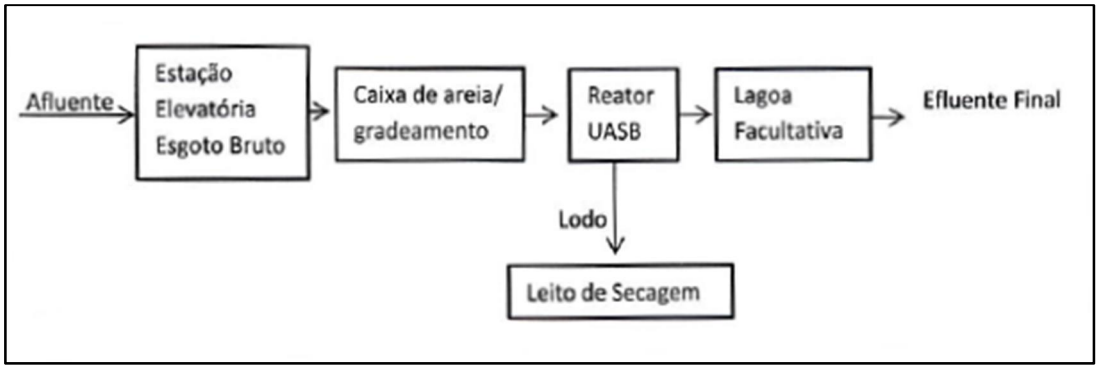
3.2.1 ETE Vale Encantado

Na ETE Vale Encantado (Figura 7) a fase líquida do tratamento, ou seja, todas as etapas que fazem parte do tratamento do efluente doméstico, e a fase sólida, que é o tratamento apenas do resíduo gerado (lodo), são apresentadas na Figura 8.

Figura 7 - Visão geral da ETE Vale Encantado

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2013

Figura 8 - Fluxograma do processo de tratamento do esgoto da ETE Vale Encantado



Fonte: Cesan, 2010

a) Etapa 1: Estação Elevatória de Esgoto Bruto (EEEB).

O esgoto chega à estação elevatória localizada na Avenida Águia Branca e em seguida, é bombeado para a estação. (Figura 9)

Figura 9 - EEEB da estação Vale Encantado

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2013

b) Etapa 2: Gradeamento e caixa de areia

Essa etapa conta com uma grade grossa de limpeza manual onde é realizada a remoção de materiais sólidos. Após o gradeamento, o esgoto passa pelas caixas de areia onde é removida a areia. (Figura 10)

Figura 10 - Estrutura de gradeamento da ETE Vale Encantado

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2013

c) Etapa 3: Reator anaeróbio

Ao passar pela Etapa 2 o esgoto é conduzido para entradas localizadas na parte superior do reator como mostrado na Figura 11 e é conduzido através de tubulações para a parte inferior do reator, iniciando assim o fluxo ascendente do efluente até a área de digestão.

Figura 11 - Vista da entrada do efluente no reator UASB

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2013

d) Etapa 4: Lagoa de polimento

Após o processo de digestão os efluentes dos reatores anaeróbicos ainda necessitam de mais uma etapa de tratamento, a fim de alcançar os padrões de emissões, para isso o efluente é direcionado para uma lagoa de polimento a fim de remover organismos patógenos e nutrientes. (Figura 12)

Figura 12 - Lagoa de polimento da ETE Vale Encantado

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2013

e) Etapa 5: Leito de secagem

A retirada do lodo formado no processo de digestão é realizada em média a cada três meses e esse resíduo é direcionado para os leitos de secagem onde acontece a sua desidratação. (Figura13)

Figura 13 - Vista dos leitos de secagem da ETE Vale Encantado

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2013

3.2.2 ETE Mulembá II

A ETE Mulembá II conta com um sistema bem diferente do descrito acima, mas também possui as duas fases do tratamento, líquido e sólido. Na Figura 14 é possível se ter uma visão geral da estrutura da ETE Mulembá II.

Figura 14 - Visão geral da ETE Mulembá II

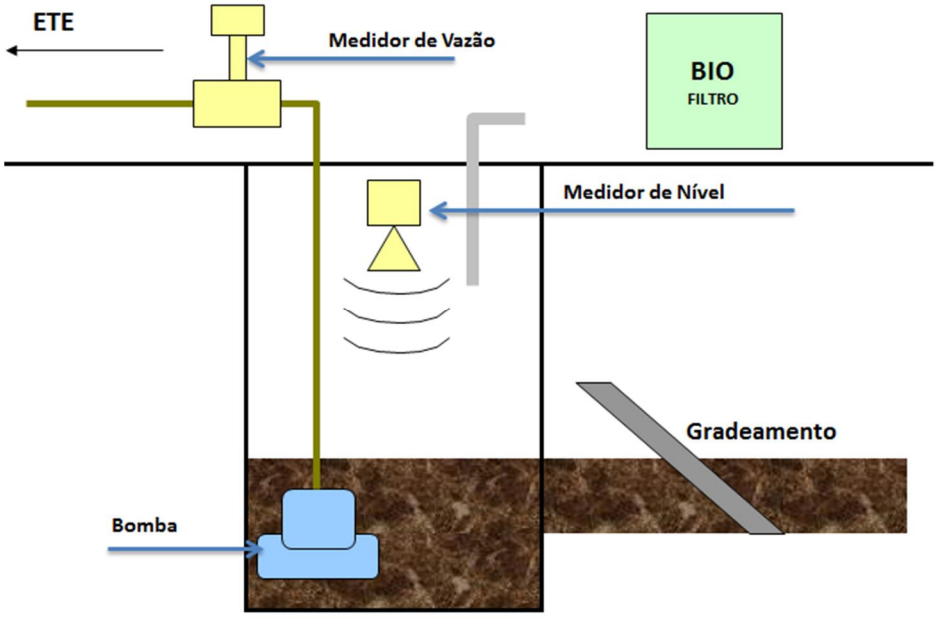
Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2013

A seguir são descritas as etapas que constituem o sistema:

a) Etapa 1: Elevatória de esgoto bruto.

Assim como no processo anterior, o esgoto chega à estação através do bombeamento pelas estações elevatórias, onde há a remoção inicial de sólidos grosseiros como observado na Figura 15.

Figura 15 - Fluxograma do funcionamento interno de uma EEEB



Fonte: Cesan, 2013

b) Etapa 2: Gradeamento e caixa de areia.

Em seguida, o esgoto passa pelo gradeamento onde é realizada a remoção dos materiais sólidos que chegaram à estação, são necessárias para esse processo quatro grades: duas grossas e manuais e duas finas mecanizadas. Após o gradeamento, o esgoto passa pelas caixas de areia aeradas onde é removida a areia. (Figura 16)

Figura 16 - Sistema de gradeamento da ETE Mulembá

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2013

c) Etapa 3: Tanque anóxico.

A entrada do efluente no sistema de tratamento se dá pelo tanque anóxico (Figura 17) e depois de ser distribuído para os tanques de aeração, o esgoto retorna para que seja feito o processo de desnitrificação do efluente.

Figura 17 - Entrada do efluente no tanque anóxico

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2013

d) Etapa 4: Tanques de aeração.

Aqui, o efluente é misturado ao lodo ativado que retorna dos decantadores e recebe o oxigênio dissolvido através de difusores localizados no fundo dos tanques. Na ETE Mulembá II existem dois tanques de aeração e dois tanques que revezam na função de aeração e decantação. (Figura 18)

Figura 18 - Vista do tanque de aeração

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2013

e) Etapa 5: Tanque de decantação.

Com foi dito, existem dois tanques que alternam no papel de aeração e decantação (Figura 19). O decantador é dimensionado para separar o lodo decantado do efluente tratado, desse lodo, parte retorna aos tanques de aeração e o lodo excedente é enviado ao tanque de digestão.

Figura 19 - Tanques de aeração/decantação

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2013

f) Etapa 6: Tanque de digestão

Aqui é processada a digestão do lodo. O objetivo do digestor é promover a estabilização aeróbia mediante o processo de autodigestão (reduzir a concentração de matéria orgânica, organismos vivos e volume). A estabilização é fundamental para evitar a formação de odores e a proliferação de vetores. O lodo digerido é enviado ao adensador. Na Figura 20 é possível observar a entrada do lodo excedente no tanque de digestão.

Figura 20 - Entrada do lodo no tanque de digestão

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2013

g) Etapa 7: Adensador de lodo.

O lodo digerido é encaminhado através de bombas ao adensador que tem o papel de aumentar a concentração de matéria sólida. No caso da ETE Mulembá II essa etapa é realizada de forma automatizada (Figura 21). Na entrada de cada um dos adensadores existe um tanque de floculação, que é responsável pelo processo de coagulação do lodo, onde é adicionada a solução de polímero para facilitar esse processo, então o lodo sofre o processo de adensamento e a corrente de lodo adensado segue para as Centrífugas Decanter.

Figura 21 - Vista do adensador automatizado

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2013

h) Etapa 8: Desidratação por centrífuga

Nessa última etapa acontece a separação entre sólidos e líquidos através das centrífugas (Figura 22). A torta de sólidos formada é transportada por uma rosca transportadora até a caçamba de lodo (Figura 23).

Figura 22 - Vista das centrífugas usadas no processo de desidratação

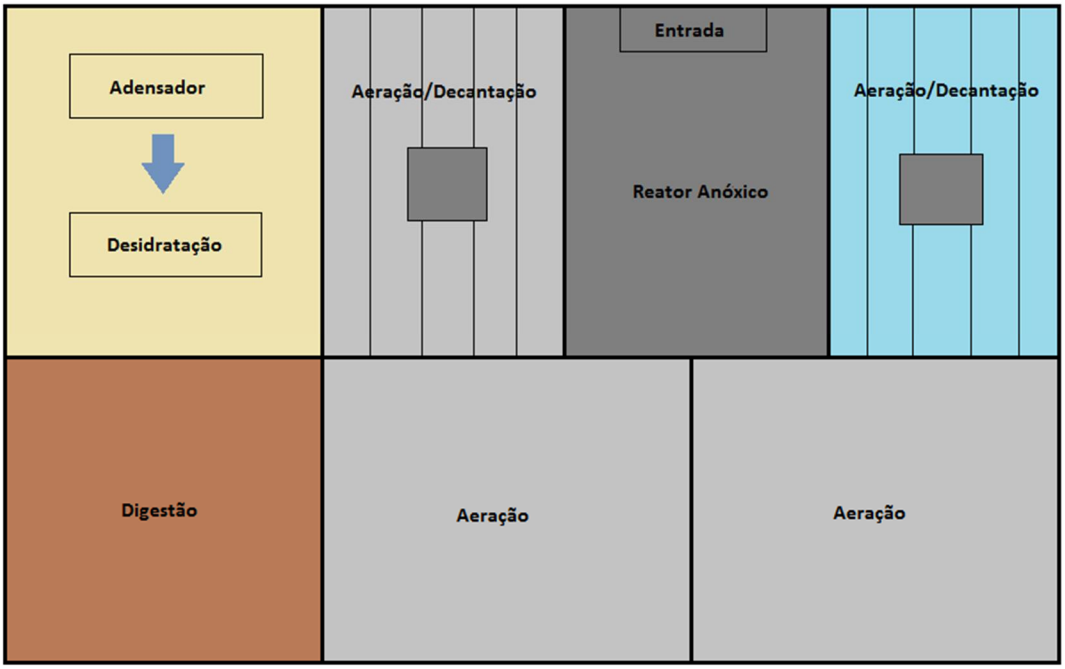
Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2013

Figura 23 - Lodo desidratado pronto para disposição

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2013

É possível ter uma visão das etapas do processo de tratamento no croqui abaixo (Figura 23).

Figura 24 - Croqui do sistema de Lodos ativados da ETE Mulembá



Fonte: Elaborado pelo autor, 2013

3.3 ORIGEM DOS DADOS UTILIZADOS

O levantamento dos dados utilizados nas estimativas de produção do lodo foram obtidos em parceria com a empresa de saneamento CESAN, que forneceu os dados apresentado no Quadro 4

Quadro 4 - Dados dos processos de tratamento de esgoto das ETEs

Itens	Unidade	ETE Mulembá II	ETE Vale Encantado
População projeto	hab	141.751	6.890
População atendida	hab	73.456	1.025
Vazão de projeto	$L.s^{-1}$	360	9,57
Vazão média do afluente	$L.s^{-1}$	151,96	3,5
Concentração de DQOafluente	$mg.L^{-1}$	369	470
Volume do lodo produzido	t	63	1,19

Fonte: Cesan, 2013

Também foram feitos contatos com empresas que atuam no ramo de transporte e disposição de resíduos a fim de obter informação a respeito de custos relativos com o transporte e disposição do lodo que é classificado como resíduo Classe II A.

3.4 CÁLCULO PARA ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE LODO

Para a estimativa da produção de lodo foram utilizadas as fórmulas desenvolvidas por Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001, p. 47 e 48), que tratam da carga de DQO aplicada, a produção de lodo em si e a vazão de lodo.

$$\text{Carga de DQO} = Q_{\text{méd afl}} \times \text{Conc DQO}_{\text{afl}} \quad (1)$$

Onde:

$Q_{\text{méd afl}}$ = Vazão média afluente;

$\text{Conc DQO}_{\text{afl}}$ = Concentração de DQO no afluente.

$$\text{Produção de lodo} = Y \times \text{Carga de DQO} \quad (2)$$

Onde:

Y = coeficiente de produção de sólidos.

$$\text{Vazão de lodo} = \frac{\text{Carga de SS}}{\text{Sól. Secos} \times ¡} \quad (3)$$

Onde:

Carga de SS = Carga de sólidos ou produção de lodo

Sól. Secos = Teor de sólidos secos

¡ = densidade

Para os cálculos acima adotou-se os valores presentes no Tabela 2.

Tabela 2 - Características do lodo em relação ao teor e carga de sólidos

Sistema	**Teor de sólidos secos (%)**	**kgSS/kgDQO (Y)**
Lodos ativados aeração prolongada	0,8 - 1,2	0,5 - 0,55
Reator UASB	3,0 - 6,0	0,12 - 0,18

Fonte: Adaptado de Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001, p. 31)

Já a Tabela 3 traz os valores necessários para o cálculo da vazão de cada tipo de lodo.

Tabela 3 - Valores típicos de massa específica e teor de sólidos para cada fase do tratamento por reator UASB e Lodos ativados por aeração prolongada

(continua)

Tipo de Lodo	**Massa específica (kg/m^3)**	**Teor de sólidos secos (%)**
Lodo secundário anaeróbio	1010 ï 1020	3,0 - 6,0
Lodo secundário aeróbio (aer. prol.)	1002	0,8 - 1,2
Lodo secundário adensado (aer. prol.)		2,0 - 6,0
Gravidade	1004 ï 1010	2,0 - 3,0
Flotação		3,0 - 6,0
Centrífuga		3,0 - 6,0

Tabela 3 - Valores típicos de massa específica e teor de sólidos para cada fase do tratamento por reator UASB e Lodos ativados por aeração prolongada

(conclusão)

Lodo desidratado aeróbio (aer. prol.)		15 ï 35
Leito de secagem		25 ï 35
Filtro prensa	1050 ï 1080	20 ï 30
Centrífuga		15 ï 20
Filtro correia		15 ï 20
Lodo desidratado anaeróbio		20 ï 45
Leito de secagem		30 ï 45
Filtro prensa	1050 ï 1080	25 ï 40
Centrífuga		20 ï 30
Filtro correia		20 ï 30

Fonte: Adaptado de Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001, p.40 e p.46)

3.5 CÁLCULO PARA A ESTIMATIVA DO CUSTO COM TRANSPORTE

Nesse cálculo optou-se pelo uso da fórmula desenvolvida por Quintana, Bueno e Melo (2012, p. 93) uma vez que a Estação de Tratamento de Esgotos terceiriza o transporte, calculando-se, dessa forma, o custo do transporte por viagem de lodo.

Assim, tem-se:

$$CT = (Pf \times Cap - 1) \times D \qquad (4)$$

Em que:

CT = custo de transporte (R$);

Pf = fator indicativo do preço médio do frete no mercado por km (R$/km);

Cap = capacidade de carga (transporte) do caminhão (ton);

D = distância (km).

O valor médio do frete no mercado nacional em outubro de 2009 foi de R$ 3,79/km para distância percorrida de até 200 km (ESALQ-LOG, 2009, apud QUINTANA; BUENO; MELO, 2012, p. 93).

3.6 CÁLCULO DO CUSTO DE DISPOSIÇÃO EM ATERRO SANITÁRIO

Com base nas pesquisas realizadas e orçamentos feitos em empresas que prestam serviços na área de saneamento, chegamos a Equação 5, que abrange os três principais custos envolvidos na disposição em aterro sanitário que são o custo com transporte, custo com o aluguel da caçamba de armazenamento e o custo da disposição nas células do aterro em si.

$$C = (L \times V) + (CT \times n) + A \qquad (5)$$

Em que:

C = Custo total;

L = Quantidade de lodo produzido;

V = Valor da disposição do lodo no aterro;

CT = Custo do transporte por viagem;

n = Número de viagens;

A = Aluguel da caçamba de armazenamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Essa seção da pesquisa teve por finalidade estimar por meio de cálculos matemáticos a quantidade de lodo que cada estação poderá produzir e compará-las ao quantitativo real médio das mesmas, além de expor um breve comparativo entre as duas tecnologias empregadas em relação à produção de lodo de cada uma.

Também foi objetivo dessa pesquisa calcular os custos envolvidos no tratamento e disposição desse material para o uso como fertilizante do solo e avaliar a economia gerada pela substituição da disposição em aterro sanitário pelo uso agrícola. Para melhor observação dos resultados foram adotados somente os valores de produção da ETE Mulembá II, pois a mesma apresenta a maior geração de lodo.

Dessa forma, para melhor entendimento, os resultados e suas discussões foram organizados nessa estrutura. Assim, têm-se os cálculos da produção de lodo de ambas as estações, o comparativo das tecnologias de tratamento empregadas e por fim os custos envolvidos no processo de disposição de lodo, respectivamente.

4.1 CÁLCULO DA PRODUÇÃO DE LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE VALE ENCANTADO

4.1.1 Dados gerais do sistema

a) Dados reais

Tipo de lodo produzido: Lodo secundário;
Desidratação do lodo: Natural (leitos de secagem);
População (hab): 1.025 (atendida) $\longrightarrow$ 6.890 (projeto);
Vazão média afluente (Q): 3,5 $L.s^{-1}$ (atendida) $\longrightarrow$ 9,57$L.s^{-1}$ (projeto);
Concentração de DQO afluente: 470 $gDQO.m^{-3}$;
Teor de sólidos do lodo desidratado: 40%.

b) Dados adotados

Coeficiente de produção de sólidos (Y): 0,18 $kgSS.kgDQO^{-1}$;

Massa específica do lodo efluente (ɻ): 1.020 $kg.m^{-3}$;

Teor de sólidos do lodo efluente: 4%;

Massa específica do lodo desidratado (ɻ): 1.060 $kg.m^{-3}$;

Captura de sólidos na desidratação: 95%.

4.1.2 Lodo gerado no reator

a) Vazão afluente

$Q = 3{,}5\ \mathbf{L.s^{-1}} \times 1\ m^3.\mathbf{10^{-3}L} \times 60\ \mathbf{s.min^{-1}} \times 60\ \mathbf{min.h^{-1}} \times 24\ h.\mathbf{d^{-1}}$

$Q = 302{,}4\ m^3.d^{-1}$

b) Carga de DQO

$\text{Carga de DQO} = Q_{\text{méd afl}} \times \text{Conc DQO}_{\text{afl}}$ (Eq. 1)

$\text{Carga de DQO} = 302{,}4\ \mathbf{m^3}.d^{-1} \times 470\ gDQO.\mathbf{m^{-3}}$

$\text{Carga de DQO} = 142.128\ gDQO.d^{-1}$

$\text{Carga de DQO} = 142{,}128\ kgDQO.d^{-1}$

c) Produção de lodo ou carga de sólidos no reator

$P = Y \times \text{Carga de DQO}$ (Eq. 2)

$P = 0{,}18\ kgSS.\mathbf{kgDQO^{-1}} \times 142{,}128\ \mathbf{kgDQO}.d^{-1}$

$P = 25{,}583\ kgSS.d^{-1}$

d) Vazão de lodo no reator

$$Q = \frac{\text{Carga de SS}}{\text{Sól. Secos} \times ɻ}$$ (Eq. 3)

$$Q = \frac{25{,}583\ \mathbf{kgSS}.d^{-1}}{4.10^{-2} \times 1.020\ \mathbf{kgSS}.m^{-3}}$$

$Q = 0{,}626\ m^3.d^{-1}$

4.1.3 Lodo proveniente da desidratação

Considerando que a captura de sólidos seja igual a 95%, a produção de lodo desidratado se dá em seguida:

a) Carga de sólidos

Carga SS_{efl} = Captura de sólidos x Carga SS_{afl} (6)

Carga SS_{efl}= 0,95 x 25,583 $kgSS.d^{-1}$

Carga SS_{efl} = 24,304$kgSS.d^{-1}$

Carga SS_{efl} = 729,12 $kgSS.mês^{-1}$

b) Vazão de lodo desidratado

$$Q = \frac{\text{Carga de SS}}{\text{Sól. Secos x } \rho} \quad \text{(Eq. 3)}$$

$$Q = \frac{24{,}304\,\mathbf{kgSS}.d^{-1}}{4.10^{-1} \times 1.060\ \mathbf{kgSS}.m^{-3}}$$

$$Q = 0{,}057 m^3.d^{-1}$$

Após os cálculos de estimativa, chegou-se a uma produção mensal de 729,12 kg de lodo o que não difere muito da produção média real que é de 1,19 toneladas, essa diferença é justificável, pois se trata de uma ETE de pequeno porte e fluxo intermitente, o que interfere na precisão dos resultados médios. Outro ponto a ser considerado, é em relação ao teor de sólidos empregado, pois se trata de um valor de projeto (40%) e esse valor é considerado um tanto otimista quando aplicado ao funcionamento real de uma estação.

4.2 CÁLCULO DA PRODUÇÃO DE LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE MULEMBÁ

4.2.1 Dados gerais do sistema

a) Dados de projeto

Tipo de lodo produzido: Lodo secundário;

Desidratação do lodo: Mecanizado (Centrífuga);

População (hab): 73.456 (atendida) $\longrightarrow$ 141.751 (projeto);

Eficiência de remoção dos sólidos voláteis na digestão: 30%;

Eficiência de captura de sólidos no adensador: 85%;

Teor de sólidos do lodo adensado: 3%;

Eficiência de captura de sólidos na desidratação: 95%;

Teor de sólidos do lodo desidratado: 25%.

b) Dados adotados

Relação sólidos voláteis por totais: 65%
Massa específica do lodo efluente (ɟ): 1.002 $kg.m^{-3}$;
Massa específica do lodo efluente na digestão (ɟ): 1007 $kg.m^{-3}$;
Massa específica do lodo efluente no adensador (ɟ): 1030 $kg.m^{-3}$;
Massa específica do lodo efluente na desidratação (ɟ): 1050 $kg.m^{-3}$;
Teor de sólidos do lodo efluente: 1%
Teor de sólidos do lodo digerido: 2%
Coeficiente de produção de sólidos (Y): 0,55 $kgSS.kgDQO^{-1}$.

c) Dados reais

A Tabela 4 traz os valores médios da estação de Mulembá II para vazão atendida, DQO afluente e quantidade de lodo desidratado.

Tabela 4 - Valores médios de funcionamento da ETE Mulembá II

Mulembá II ï 2013			
Data	**Q (atendida)**	**DQO afl.**	**Quant. de lodo***
	L/s	mg/L	ton/mês
Jan	193,70	351,94	23,39
Fev	80,42	274,00	22,44
Mar	141,32	330,00	32,05
Abr	154,48	300,00	71,39
Mai	133,00	387,00	106,34
Jun	162,25	416,44	154,57
Jul	168,03	488,00	36,85
Ago	156,22	403,00	60,20
Set	178,20	373,00	61,58
Média	151,96	369,00	63,00

*Quantidade de lodo seco com teor de umidade de 80%

Fonte: Cesan (2013)

4.2.2 Lodo gerado no reator

a) Vazão afluente

$Q = 151{,}96\ \mathbf{L.s^{-1}} \times 1\ m^3.\mathbf{10^{-3}L} \times 60\ \mathbf{s.min^{-1}} \times 60\ \mathbf{min.h^{-1}} \times 24\ h.\mathbf{d^{-1}}$

$Q = 13.129{,}34\ m^3.d^{-1}$

b) Carga de DQO

Carga de DQO = $Q_{méd\ afl}$ x Conc DQO_{afl} (Eq.1)

Carga de DQO =13.129,34 $\mathbf{m^3}.d^{-1}$ x 369,19 gDQO.$\mathbf{m^{-3}}$

Carga de DQO =4.847.222,51 $gDQO.d^{-1}$

Carga de DQO = 4.847,22 $kgDQO.d^{-1}$

c) Produção de lodo ou carga de sólidos no tanque

P = Y x Carga de DQO (Eq. 2)

P = 0,55 kgSS.$\mathbf{kgDQO^{-1}}$x 4.847,22 **kgDQO**.d^{-1}

P = 2.665,97 $kgSS.d^{-1}$

d) Vazão de lodo no tanque

$$Q = \frac{\text{Carga de SS}}{\text{Sól. Secos x ɟ}} \quad \text{(Eq. 3)}$$

$$Q = \frac{2.665{,}03\ \mathbf{kgSS}.d^{-1}}{1.10^{-2} \times 1.002\ \mathbf{kgSS}.m^{-3}}$$

$Q = 256{,}39\ m^3.d^{-1}$

4.2.3 Lodo proveniente da digestão

a) Relação de sólidos voláteis e fixos

Relação SV/ST adotada: 65%

Remoção: 30% de sólidos voláteis

SV = $ST_{afl.}$ x % de SV (7)

SV = 2.665,97 $kgSS.d^{-1}$x 65%

SV = 1.732,88 $kgSS.d^{-1}$

SF = $ST_{afl.}$ x % de SF (8)

SF = 2.665,97 $kgSS.d^{-1}$ x 35%

SF = 933,09$kgSS.d^{-1}$

b) Remoção de sólidos Voláteis

$SV_{rem.}$ = SV x % remoção (9)

$SV_{rem.}$ = 1.732,88 $kgSS.d^{-1}$ x 30%

$SV_{rem.}$ = 519,86 $kgSS.d^{-1}$

$SV_{afl.}$ = 1.213,02$kgSS.d^{-1}$

c) Sólidos totais a seguir para o adensamento

$ST_{afl.}$ = SV + SF (10)

$ST_{afl.}$ = 1.213,02 $kgSS.d^{-1}$+ 933,09 $kgSS.d^{-1}$

$ST_{afl.}$= 2.146,11 $kgSS.d^{-1}$

d) Vazão excedente para o adensamento

$$Q = \frac{\text{Carga de SS}}{\text{Sól. Secos x } \rho} \quad \text{(Eq. 3)}$$

$$Q = \frac{2.146{,}11\ \mathbf{kgSS}.d^{-1}}{2.10^{-2} \times 1.007\ \mathbf{kgSS}.m^{-3}}$$

Q = 106,56 $m^3.d^{-1}$

4.2.4 Lodo proveniente do adensamento

a) Sólidos Totais a seguir para a desidratação

Eficiência de captura: 85 %

% de sólido secos: 3%

Densidade: 1030 kg/m^3

Carga = 0,85 x 2.146,11 $kgSS.d^{-1}$ (Eq. 6)

Carga = 1.824,20$kgSS.d^{-1}$

b) Vazão excedente para a desidratação

$$Q = \frac{\text{Carga de SS}}{\text{Sól. Secos x } \rho} \quad \text{(Eq. 3)}$$

$$Q = \frac{1824{,}20\ \mathbf{kgSS}.d^{-1}}{3.10^{-2} \times 1.030\ \mathbf{kgSS}.m^{-3}}$$

$Q = 59{,}03\ m^3.d^{-1}$

4.2.5 Lodo proveniente da desidratação

a) Sólidos totais a seguir para a desidratação

Eficiência de captura: 95%

% de sólido secos: 25%

Densidade: 1050 kg/m^3

$Carga = 0{,}95 \times 1.824{,}20 kgSS.d^{-1}$ (Eq. 6)

$Carga = 1.732{,}98\ kgSS.d^{-1}$

b) Vazão de lodo

$$Q = \frac{\text{Carga de SS}}{\text{Sól. Secos x } \rho}$$ (Eq. 3)

$$Q = \frac{1732{,}98\ \mathbf{kgSS}.d^{-1}}{25.10^{-2} \times 1.050\ \mathbf{kgSS}.m^{-3}}$$

$Q = 6{,}60\ m^3.d^{-1}$

Com base nos cálculos realizados, encontrou-se uma produção média mensal de 52 toneladas de lodo desidratado, esse valor difere um pouco da produção média real que chega a 63 toneladas, no entanto, não foi considerado nos cálculos o acréscimo da solução de polímero, pois essa estação ainda se encontra em fase de regularização de funcionamento apresentando dosagens bem diferenciadas. A estação foi ativada em janeiro desse ano e ainda possui valores de produção de lodo máximos e mínimos muito discrepantes o que torna o valor médio pouco confiável. Outro fator que interfere na estimativa de valores são os dados adotados em relação ao percentual de sólidos voláteis presentes no lodo antes da digestão e a massa específica do lodo em cada fase do processo.

4.3 COMPARATIVO DA PRODUÇÃO DE LODO NAS ETEs VALE ENCANTADO E MULEMBÁ

Com base no levantamento bibliográfico é possível notar uma diferença razoável na produção do lodo dos sistemas de tratamento que adotam o processo de lodos ativados em relação ao reator UASB. De Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001, p. 40) obteve-se a Tabela 5.

Tabela 5 - Características do lodo nos sistema de lodos ativados e reator UASB

Tipo de Lodo	Massa de lodo (gSS/hab.dia)	Volume de lodo (L/hab.dia)
Lodo secundário anaeróbio (UASB)	12,0 - 18,0	0,2 - 0,6
Lodo desidratado anaeróbio		
Leito de secagem		0,1 - 0,17
Filtro prensa	38,0 - 50,0	0,11 - 0,2
Centrífuga		0,13 - 0,25
Filtro correia		0,15 - 0,25
Lodo secundário (aer. prol.)	40,0 - 45,0	3,3 - 5,6
Lodo desidratado aeróbio (aer. prol.)		
Leito de secagem		0,11 - 0,17
Filtro prensa	40,0 - 45,0	0,13 - 0,21
Centrífuga		0,19 - 0,29
Filtro correia		0,19 - 0,29

Fonte: Adaptado de Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001, p. 40)

Em Tsutiya et al. (2001, p. 23 e 28) obtêve-se valores bem próximos do já citados, resultando no Tabela 6.

Tabela 6 - Faixas de valores típicos de produção do lodo

Tipo de Lodo	Massa de lodo (gSS/hab.dia)	Volume de lodo (L/hab.dia)
Lodo secundário anaeróbio (UASB)	7,0 - 15,0	0,18 - 1,0
Lodo desidratado anaeróbio	28,0 - 60,0	0,03 - 0,06
Lodo secundário (aer. prol.)	38,0 - 43,0*	5,0 - 12,0
Lodo desidratado aeróbio (aer. prol.)	38,0 - 43,0	0,19 - 0,21

*Base úmida

Fonte: Elaborado a partir de Tsutiya (2001, p. 23 e 28)

Com base nisso, calculou-se os valores per capita do lodo líquido produzido nas estações estudadas, obtendo os resultados a seguir.

a) Produção per capita de Vale Encantado

Produção mássica = Produção / n° de habitantes (11)

Produção mássica =25.583 $gSS.dia^{-1}$ /1025 hab

Produção mássica = 24,96 gSS/hab.dia

Produção volumétrica =Vazão / n° de habitantes (12)

Produção volumétrica = 626 $L.dia^{-1}$ /1025 hab

Produção volumétrica = 0,6 L/hab.dia

b) Produção per capita de Mulembá

Produção mássica = Produção / n° de habitantes (Eq. 11)

Produção mássica = 2.665.970 $gSS.dia^{-1}$ / 73.456 hab

Produção mássica = 36,3 gSS/hab.dia

Produção volumétrica = Vazão / n° de habitantes (Eq. 12)

Produção volumétrica = 256.390 $L.dia^{-1}$ / 73.456 hab

Produção volumétrica = 3,5 L/hab.dia

Como podem ser observados nos cálculos, os valores obtidos estão dentro das faixas apresentadas nas Tabelas 5 e 6, e comprovam que o processo de tratamento anaeróbio produz uma menor quantidade de lodo quando comparado ao sistema de lodos ativados, que adotam a digestão aeróbia, isso de dá pois na digestão anaeróbia há um maior adensamento do lodo e uma menor proliferação dos microrganismos.

4.4 CÁLCULO DO CUSTO DE DISPOSIÇÃO DO LODO DA ETE MULEMBÁ EM ATERRO SANITÁRIO

Para o cálculos do custo de disposição foram levantados os valores do Quadro 5:

Quadro 5 - Custos relacionados à disposição em aterro sanitário

Custos	Unidades	Valores
Volume médio produzido (mensal)	T	59
Custo de disposição	R$/T	120,00
Aluguel da caçamba	R$/mês	300,00
Transporte (capac. 5 T)	R$/viagem	350,00
Número de viagens	viagem	12

Fonte: Marca Ambiental (2013)

Com base nesses valores, obteve-se o seguinte custo total:

$C = (V \times L) + (CT \times n) + A$ (Eq. 6)

$C = (59\ \mathbf{ton} \times 120\ R\$.\mathbf{ton^{-1}}) + (12\ \mathbf{viagem} \times 350\ R\$.\mathbf{viagem^{-1}}) + 300\ R\$.mês^{-1}$

$C = 11.580\ R\$.mês^{-1}$

4.5 CUSTOS DO TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DO LODO NO USO AGRÍCOLA

4.5.1 Custos da higienização do lodo

Como já foi visto, em Santos, A. N. e Santos A. F (2011, p. 16) a dosagem usual de cal virgem necessária para a produção de um biossólido dentro dos parâmetros legais está em, aproximadamente, 30% de CaO em massa seca, assim, considerando o lodo da ETE Mulembá II, que emprega o uso de centrífugas, temos:

Quant. de cal = Carga x % de cal (13)

$Quant.\ de\ cal = 1732,98\ kgSS.d^{-1} \times 0,3$

$Quant.\ de\ cal = 519,89\ kg.d^{-1}$

$Quant.\ de\ cal = 15.597\ kg.mês^{-1}$

De acordo com Lima e Neves (2012, p. 34) o preço da Cal virgem é de R$339,00/ton, assim:

Custo da cal = R$ 5.287,38/mês

4.5.2 Custos com o transporte

O projeto para a implantação da UGL, ainda está em fase de estudo, portanto, os dados utilizados foram obtidos com base em informações fornecidas pela CESAN. Para efeitos de estudo, foram considerados um caminhão com capacidade de 5 ton. Como o objeto de estudo nesse levantamento de custos é a ETE Mulembá II, foi usada a distância de 22 km (distância entre a estação e a UGL)

CT= (Pf x Cap -1) x D (Eq. 4)
CT = (3,79 x 5 -1) x 22
CT = R$ 394,9 /viagem.dia

Considerando o valor de 63 toneladas de lodo, o número de viagens seria de 12 viagens, assim:

CT = 4.738,8/viagem.mês

4.5.3 Custo total do lodo para uso agrícola

Vale ressaltar que nessa pesquisa foram abordados somente os custos relacionados ao tratamento e transporte do lodo até a UGL, no entanto, antes de se optar por esse processo de disposição outros fatores devem ser considerados, como o transporte até o agricultor, os gastos com análises laboratoriais e a própria mão de obra utilizada na unidade. Sendo assim, têm-se como custo total o valor de R$ 10.026,18/mês.

4.5.4 Comparação dos custos envolvidos na destinação final

Ao observar apenas os números calculados nessa pesquisa têm-se a impressão que o uso agrícola tem um valor econômico menor que a disposição em aterro sanitário, no entanto, apenas dois aspectos foram levados em consideração nesse levantamento, o transporte até a unidade de gerenciamento e a higienização, desconsiderando os outros gastos envolvidos nesse processo, o Quadro 6 traz alguns custos levantados pela Cesan a cerca do funcionamento da UGL.

Quadro 6 - Custos de operação da UGL

Itens	Valor (R$/mês)
Mão de Obra	
Operação *Zeladoria*	3.139,78 1.855,32
Monitoramento	
Análises laboratoriais	2.308,33
Sub-total (R$/mês)	7.303,43

Fonte: Cesan, 2013

Com base nesse quadro pode-se perceber que a implantação do reuso do lodo na agricultura, não trata-se apenas de uma opção de destinação final e sim de um novo processo a ser incluído na estrutura operacional da empresa, ou seja, a empresa de saneamento se tornar responsável por todo o processo de geração, disposição e monitoramento desse material disposto. O mesmo traz a Resolução CONAMA 375/06 no artigo 23 da seção X onde afirma que são de responsabilidade do gerador e da UGL o gerenciamento e o monitoramento do uso agrícola do lodo de esgoto ou produto derivado.

No entanto, ao estudarmos o uso agrícola considerando não apenas a viabilidade econômica, como também o ganho ambiental e social e o valor agronômico agregado a esse material, a reciclagem da matéria orgânica dos lodos tratados, não é apenas viável como desejável, desde que realizada de forma segura e coerente.

O principal e inquestionável benefício do uso agrícola de resíduos é a minimização do problema que representa a disposição final da grande quantidade de resíduos gerados pela nossa sociedade e o aumento da longevidade de aterros sanitários e industriais quando se trata de resíduos urbanos e industriais. Da mesma forma, a grande quantidade de resíduos orgânicos gerados nos diversos processos agroindustriais não deve ser desprezada e deve ser adequadamente utilizada para que não cause prejuízos ao ambiente e consequentemente a sociedade.

Inúmeras vantagens estão relacionadas ao uso do lodo de esgoto na agricultura, seu emprego como fertilizante orgânico gera economia de fertilizantes industriais, o que gera também redução de gastos na compra desses insumos e de uso de petróleo na fabricação dos mesmos. A reciclagem desse resíduo visa um desenvolvimento sustentável, pois os resíduos são recursos potenciais e as melhores alternativas de disposição de um subproduto são a minimização de sua produção combinada a sua reciclagem como insumo de novos processos.

Além disso, vários estudos comprovam que a aplicação do lodo no solo traz melhorias nas propriedades físico-químicas e biológicas do solo, estabilizando a estrutura do solo e com isso aumentando a capacidade de retenção de água do solo e de nutrientes minerais. A matéria orgânica do lodo favorece a agregação das partículas, com benefícios sobre a infiltração e retenção de água e a aeração do solo, já a mineralização do lodo fornece nutrientes para a planta e para a flora e fauna do solo cuja atividade influi diretamente na nutrição das plantas. A matéria orgânica e nutrientes do lodo proporcionam um aumento na produtividade das culturas o que traz um aumento nos lucros obtidos com a venda do produto.

Outro aspecto considerado nessa pesquisa foi o fato de que na CESAN, essa alternativa ainda está em fase de implantação, por tanto os custos envolvidos ainda são elevados e alguns deles apenas estimados. Com o decorrer do tempo, a expectativa é que os gastos envolvidos com essa alternativa irão diminuir e serem incorporados ao funcionamento da empresa, um exemplo disso é que o transporte de lodo da estação até UGL assim como o insumo (cal) para seu tratamento será inserido nos serviços de operação das ETEs de Grande Porte. Outra opção é repassar um percentual desses custos aos agricultores através da comercialização desse material.

5 CONCLUSÃO

Esse trabalho se propôs a realizar um estudo comparativo da produção de lodo gerado nas ETEs Mulembá e Vale Encantado, cuja primeira opera pela tecnologia aeróbia de tratamento de Lodos Ativados por aeração prolongada e a segunda pelo processo de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB), sendo ambas as estações de propriedade da CESAN.

Os cálculos de estimativa realizados com base nos exemplos da literatura alcançaram valores aceitáveis quando comparados com os valores reais e as peculiaridades das estações estudadas. Quando comparados entre si esses valores estão dentro da faixa estipulada pela literatura e comprovam que os reatores anaeróbios produzem menos lodo que os reatores aeróbios, esse fato já era esperado pelo fato de que a digestão aeróbia libera maior energia e com isso a um maior crescimento microbiano.

Essa pesquisa também avaliou alguns aspectos dos custos envolvidos na disposição do lodo em aterro sanitário e na utilização agrícola. Como a disposição em aterro é a técnica utilizada pela CESAN hoje para dispor seu lodo, foi possível fazer um levantamento mais preciso dos seus gastos. Para facilitar o entendimento, foi utilizado apenas o valor produzido pela estação de Mulembá II para o cálculo de ambos os custos.

Através das estimativas de custos e considerações a cerca de ambas as alternativas foi possível concluir que, o uso agrícola do lodo é uma opção viável, isso porque, a adoção dessa alternativa e a implantação de uma estrutura de gerenciamento desse material traz uma independência à empresa de saneamento, pois a mesma não ficará restrita ao espaço destinado pelo aterro para a disposição. Outro fator que pesa em favor do uso agrícola é que com o desenvolver do projeto esse biossólido pode ser vendido ao agricultor e se tornar uma renda a mais para a empresa, se tornando uma solução ao invés de um problema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E. F. **Estudo da diversidade microbiana metanogênica em reatores UASB tratando esgoto sanitário.** 2007. 93f. Dissertação (Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) ï Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

ALEM SOBRINHO, P.; JORDÃO, E. P. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: uma análise crítica. In: CHERNICHARO, C. A. L. (coord.) **Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios.** Belo Horizonte: PROSAB, 2001. p.491-513.

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

ANDREOLI, C. V.;LARA, A. I.; FERNANDES, F. (orgs.).**Reciclagem de biossólidos:** transformando problemas em soluções. 2. ed. Curitiba: SANEPAR, FINEP, 2001. 288 p.

ANDREOLI, C. V.VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos:** tratamento e disposição final. Belo Horizonte: DESA; Universidade Federal de Minas Gerais, 2001. 483 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.6)

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de. A disposição do lodo de esgoto em solo agrícola. In.: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de. (Eds.). **Lodo de esgoto:** impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p.25-36.

BERANGER, M. de A. **Avaliação da influência do pH na respiração de lodos ativados.** 2009. 213 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

BRITO, M. F. **Determinação das frações orgânicas de efluentes de reatores UASB.**2006. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) ï Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CANZIANI, J. R. F. et al. Análise Econômica para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto da ETE-Belém. **SANARE,** Curitiba, v. 11, p. 51-58, jan. / jun. 1999.

CARVALHO, K. Q. **Resposta Dinâmica de reator UASB em escala piloto submetido a cargas orgânicas e hidráulicas cíclicas:** modelos matemáticos e resultados experimentais. 2006. 193f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) ï Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores anaeróbios.** Belo Horizonte: DESA; Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. 483 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.5)

CORREIA, J. E. **Caracterização Físico-química e microbiológica do lodo gerado na estação de tratamento de esgoto contorno. Feira de Santana, BA.** 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.

COSTA, A. N. da (org.); COSTA, A. F. S. da. (org.) **Manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto para o estado do Espírito Santo**. Vitória: Incaper, 2011. 126 p.

COSTA, A. N.et al. **Lodo de Esgoto: Utilização Sustentável**. 2. ed. Vitória: DCM; Incaper, 2008.

DAMASCENO, S.; CAMPOS, J. R. **Caracterização de lodo de estação de tratamento de esgotos sanitários para uso agrícola.** 1998. On-line. Disponível em**:** **<**http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/peru/bratar035.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2013

DAVID, A. C**. Secagem térmica de lodos de esgoto. Determinação da umidade de equilíbrio.** 2002. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FRANCISQUETO, L. O. S. **Comportamento de reatores UASB frente a variações horárias de vazão de esgoto sanitário.** 2007. 178f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) ï Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

HAMMER, M. J. **Sistemas de abastecimento de água e esgotos.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979. 563 p.

IMHOFF, K. **Manual de tratamento de águas residuárias**. 26ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1996. 301 p.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 4. ed. Rio de Janeiro, 2005. 932 p.

LIMA, T. M.; NEVES, C. A.R. (coords.) **Sumário Mineral.** Brasília: DNPM/DIPLAM, 2012. 128 p.

PIRES, A. M. M. **Lodo de Esgoto**. 2007.On-line.Disponível em**:** http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/artigos/lodo_de_esgoto.html>. Acesso em: 05 mar. 2013

QUINTANA, N. R. G.; BUENO, O. C.; MELO, W. J. de. Custos de transporte do lodo de esgoto para viabilidade no uso agrícola. **Energia na Agricultura.** Botucatu, v. 27, n. 3, p.90-96, jul. / set. 2012.

RODRIGUES, L. S. et al. Avaliação de desempenho de lagoa de polimento para pós-tratamento de reator anaeróbico de manta de lodo (UASB) no tratamento de águas residuárias de suíno cultura. **Arquivo Brasileiro de Medicina e Veterinária,** Belo Horizonte, v.61, n.6, p. 1428-1433, 2009.

SANTOS, E. S. P. dos. **Pós-tratamento de reatores anaeróbicos por filtros de areia intermitentes.**2011. 41f.Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) ï Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.

Companhia de Saneamento do Paraná. **Manual técnico para a utilização agrícola do lodo de esgoto do Paraná.** Curitiba: SANEPAR, 1997. 96 p.

SANTOS, E. V. M. dos. **Desnitrificação em sistemas de lodo ativado.** 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

TSUTIYA, M. T. et al. (eds.) **Biossólidos na agricultura.** São Paulo: SABESP, 2001. 468 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto.** 3. ed. Belo Horizonte: DESA; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.1)

VON SPERLING, M. **Lagoas de Estabilização.** 2.ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2002. 196p. (Série: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.3).

VON SPERLING, M. **Lodos ativados**. 2. ed. ampl. Belo Horizonte: DESA; Universidade Federal de Minas Gerais, 2002. 428 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.4)