

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

JOICE CORRÊA MENDES

**ESTUDO DA APLICABILIDADE DO LODO DE UMA ETE COMO
FONTE ALTERNATIVA DE NUTRIENTES EM SOLO CONSTRUÍDO**

CRICIÚMA, NOVEMBRO DE 2012

JOICE CORRÊA MENDES

**ESTUDO DA APLICABILIDADE DO LODO DE UMA ETE COMO
FONTE ALTERNATIVA DE NUTRIENTES EM SOLO CONSTRUÍDO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção de grau de Engenheira Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

Orientadora: Prof.^a MSc. Nadja Zim Alexandre

CRICIÚMA, NOVEMBRO DE 2012.

JOICE CORRÊA MENDES

**ESTUDO DA APLICABILIDADE DO LODO DE UMA ETE COMO
FONTE ALTERNATIVA DE NUTRIENTES EM SOLO CONSTRUÍDO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para
obtenção de grau de Engenharia Ambiental no curso de
Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul
Catarinense – UNESC.

Criciúma, novembro 2012

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Nadja Zim Alexandre – Mestra – IPAT/UNESC - Orientadora

Prof.^o Jader Lima Pereira – Mestre – IPAT/UNESC

Prof.^o Marcos Back – Mestre – IPAT/UNESC

Dedico este trabalho à minha estrela, minha vó que tenho certeza que está sempre olhando pra mim e intercedendo. Estará sempre no meu coração vó “Cila”.

E aos meus pais que nunca mediram esforços e que se abstiveram de seus sonhos em nome dos meus.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, Jorge e Roseli pelo amor e apoio incondicional em todos os momentos difíceis que passei durante esse período de graduação.

Às minhas irmãs, Jaine e Julia, pela compreensão e paciência sempre e principalmente durante a minha vida acadêmica.

A minha família e amigos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e durante toda a faculdade me incentivaram.

Ao Ezequiel, pelo carinho e compreensão que sempre me dedicou nas fases mais difíceis do meu caminho acadêmico.

Aos professores de Engenharia Ambiental.

A professora Nadja, por confiar em mim e pela dedicação neste trabalho apesar de todas as dificuldades que encontramos.

A CASAN que oportunizou o estágio e ao Antônio Adílio pela liberdade e apoio nas atividades realizadas.

Aos colegas da faculdade, em especial a minha turma que apesar de todas as nossas diferenças sempre fomos solidários uns aos outros.

E por fim, mas o mais importante: a Deus, por colocar todas essas pessoas na minha vida e deixar meus problemas mais amenos durante toda a dificuldade.

“Se cheguei até aqui foi porque me apoiei nos ombros de gigantes”.

Isaac Newton

RESUMO

O desenvolvimento do saneamento do Brasil é crescente e com isso as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) tem que desenvolver estratégias de disposição final do lodo ambientalmente adequadas. O presente trabalho apresenta um estudo de viabilidade de uso de lodo do Esgoto (ETE) de Gravatal-SC como fonte de nutrientes na construção de solo, onde atualmente para esse fim é utilizada cama de aviário. Buscou-se avaliar o as características físicas, químicas e biológicas do lodo gerado na estação, bem como compará-las aos parâmetros estabelecidos na Resolução CONAMA 375/06. Avaliaram-se as quantidades de nitrogênio, fósforo e potássio necessárias para o plantio de gramíneas de estação quente e eucalipto de acordo com a Comissão de Química e Fertilidade SC/RS, uma vez que são espécies utilizadas em projetos de recuperação de áreas degradadas. Os resultados permitiram avaliar que o uso do lodo gerado na ETE de Gravatal é viável, desde que se tomem cuidados de higienização, podendo neste caso ser utilizado a cal, e um bom substituto para quando houver escassez de cama de aviário na região ou quando a fonte geradora do lodo se encontrar próxima à área em recuperação. É importante ressaltar que o uso de lodo é viável nas condições atuais da ETE, devendo-se realizar novamente o estudo quando houver alterações nas condições de vazão, carga do efluente e tempo de permanência do lodo no leito de secagem

Palavras-chave: nutrientes, área degradada, estabilização.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Esquema de um sistema convencional de tratamento de esgotos. | 17 |
| Figura 2 - Localização do município de Gravatal em Santa Catarina. | 38 |
| Figura 3 - Sistema simplificado do tratamento de esgoto em Gravatal-SC. | 40 |
| Figura 4 - Componentes do pré-tratamento da ETE de Gravatal, onde: A) Identificação; B) Caixa de areia; C) Gradeamento; D) Saída do pré-tratamento | 40 |
| Figura 5 - Reator Anaeróbio, onde A) Identificação; B) Vista superior; C) Vista lateral D) Caixa de distribuição | 41 |
| Figura 6 - Sistema de lodos ativados, onde: A) Identificação; B) Vista dos dois tanques; C) Caixa separadora; D) Vista lateral de um dos tanques | 42 |
| Figura 7 - Leito de secagem, onde: A) Identificação; B) Vista de 1 leito de secagem; C) Aspecto do lodo; D) Calha de entrada | 43 |
| Figura 8 - Composição química do lodo amostrado na ETE Gravatal. | 50 |
| Figura 9 - Lodo é característico de digerido, com cor marrom escura. | 51 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Sistemas de tratamento considerados no modelo tomada de decisão de Oliveira (2004). | 16 |
| Tabela 2 - Produção de lodo de esgoto em sistemas de tratamento de esgotos por processos anaeróbios e aeróbios. | 19 |
| Tabela 3 - Composição química típica de lodos crus e lodos digeridos | 21 |
| Tabela 4 - Concentrações médias de metais pesados em alguns meios. | 24 |
| Tabela 5 - Percentual de redução de alguns patógenos em diferentes tipos de tratamento. | 25 |
| Tabela 6 - Tempo de sobrevivência de alguns microorganismos patogênicos no solo sob temperatura ambiente (20 – 30°C). | 26 |
| Tabela 7 - Comparação média de tipos de fertilizantes orgânicos em relação aos seus nutrientes. | 27 |
| Tabela 8 - Comparação da remoção de microorganismos por diferentes tratamentos com cal. | 32 |
| Tabela 9 - Projeção populacional adotada para o município de Gravatal | 39 |
| Tabela 10 - Classes de lodo de esgoto ou produto derivado – agentes patógenos | 44 |
| Tabela 11 - Metodologias utilizadas nas análises microbiológicas | 44 |
| Tabela 12 - Resultados obtidos com o lodo amostrado | 45 |
| Tabela 13 - Médias dos resultados obtidos em material amostrado no Horizonte B utilizado para construção do solo | 47 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Parâmetros de caracterização do potencial agronômico do lodo | 49 |
| Quadro 2 - Resultados da avaliação microbiológica | 52 |
| Quadro 3 - Características do Horizonte B (IPAT, 2011) | 53 |
| Quadro 4 - Taxa de aplicação de nitrogênio (t/ha) e recomendações com a utilização de lodo. | 55 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| CASAN | Companhia Catarinense de Águas e Saneamento |
| CONAMA | Conselho Nacional de Meio Ambiente |
| CTC | Capacidade de Troca Catiônica |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| ETE | Estação de Tratamento de Esgoto |
| IPAT | Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas |
| K | Potássio |
| N | Nitrogênio |
| NMP | Número Mais Provável |
| P | Fósforo |
| PRAD | Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas |
| PRNT | Poder Relativo de Neutralização Total |
| RAD | Recuperação de Áreas Degradadas |
| SES | Sistema de Esgotamento Sanitário |
| SSV | Sólidos Suspensos Voláteis |
| ST | Sólidos Totais |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 15 |
| 3.1 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO – ETE | 15 |
| 3.2 PRODUÇÃO DE LODO POR DIFERENTES TIPOS DE TRATAMENTO | 19 |
| 3.2.1 <i>Lodos produzidos em processos anaeróbios</i> | 21 |
| 3.2.2 <i>Lodos produzidos em processos aeróbios</i> | 22 |
| 3.3 PRINCIPAIS CONTAMINANTES PRESENTES NO LODO DE ETE | 23 |
| 3.3.1 <i>Metais pesados</i> | 23 |
| 3.3.2 <i>Agentes patogênicos</i> | 25 |
| 3.4 CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO LODO | 27 |
| 3.5 PROCESSAMENTO DO LODO | 28 |
| 3.5.1 <i>Adensamento</i> | 28 |
| 3.5.2 <i>Estabilização</i> | 28 |
| 3.5.3 <i>Condicionamento</i> | 32 |
| 3.5.4 <i>Desaguamento</i> | 33 |
| 3.5.5 <i>Higienização</i> | 33 |
| 3.5.6 <i>Disposição final</i> | 34 |
| 3.5.6.1 <i>Aterro sanitário</i> | 34 |
| 3.5.6.2 <i>Disposição superficial “landfarming”</i> | 35 |
| 3.5.6.3 <i>Incineração</i> | 36 |
| 3.5.6.3 <i>Recuperação de áreas degradadas</i> | 36 |
| 3.5.6.4 <i>Uso agrícola</i> | 37 |
| 4. METODOLOGIA | 38 |
| 4.1. <i>DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – ETE GRAVATAL-SC</i> | 38 |
| 4.2 <i>DESCRIÇÃO DO SES</i> | 39 |
| 4.3 <i>CARACTERIZAÇÃO DO LODO</i> | 43 |
| 4.4 <i>AVALIAÇÃO DE USO DO LODO DA ETE</i> | 46 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 49 |
| 5.1 <i>CLASSIFICAÇÃO MICROBIOLÓGICA</i> | 51 |
| 5.3 <i>UTILIZAÇÃO DO LODO EM PROJETOS DE CONSTRUÇÃO DO SOLO</i> | 52 |
| 5.4 <i>RECOMENDAÇÕES DE CALAGEM</i> | 53 |
| 5.5 <i>RECOMENDAÇÕES PARA GRAMÍNEAS DE ESTAÇÃO QUENTE</i> | 53 |
| 5.6 <i>RECOMENDAÇÕES PARA EUCALIPTO</i> | 54 |
| 5.7 <i>TAXA DE APLICAÇÃO DE LODO</i> | 54 |
| 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 57 |
| REFERÊNCIAS..... | 59 |

1 INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades e a pressão sobre os recursos naturais, e principalmente sobre os recursos hídricos fez aumentar nos últimos anos a busca por alternativas tecnológicas visando o controle da poluição.

No início, preocupava-se mais com o controle da poluição da água, seja em função do lançamento de esgoto doméstico ou dos efluentes industriais, e com o passar do tempo verificou-se que a fase sólida gerada nas estações de tratamento também é relevante sob o ponto de vista do controle da poluição.

Tem se observado nos últimos anos o crescimento, embora tímido, do número de estações de tratamento de esgoto no Brasil. O tratamento por sua vez gera um resíduo que concentra a maior parte dos contaminantes originalmente presentes no esgoto, conhecido como lodo de esgoto ou bio sólido.

A legislação brasileira define as responsabilidades dos geradores quanto ao destino final dos seus produtos e subprodutos, com isso o lodo gerado na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de Gravatal é de responsabilidade da CASAN que atualmente administra a referida estação.

Por suas características, o lodo gerado nas estações de tratamento de esgotos podem ser bons condicionadores para o solo. Seu uso na agricultura é considerado por muitos autores a melhor alternativa de destino final, seja em função da quantidade de nutrientes ou simplesmente pelo teor de matéria orgânica. Além disso, são ressaltadas as propriedades físicas que o lodo estabilizado pode apresentar na re-estruturação do solo.

A alternativa de uso do lodo na agricultura deve ser minuciosamente avaliada por seus possíveis contaminantes biológicos e químicos. É fundamental que se avalie os parâmetros estabelecidos em lei, para que estejam dentro de critérios seguros de utilização. A reciclagem do lodo para fins de cultivo promovem a reciclagem também dos nutrientes, colaborando para o fechamento da ciclagem dos elementos.

As áreas degradadas pela mineração de carvão no sul de Santa Catarina são atualmente um problema ambiental para a região. Por força do Ministério Público e pressão de ambientalistas, estão sendo colocados cada vez mais em prática os projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (RAD). A recuperação destas áreas exige a reconstrução do solo, uma vez que o solo original encontra-se

sob pilhas de estéreis da mineração à céu aberto ou sob montes de rejeito gerados no processo de beneficiamento de carvão, algumas destas com dezenas de metros.

A reconstrução do solo nestas áreas necessita de materiais condicionantes e estruturantes com a finalidade de manter a cobertura vegetal projetada.

Este trabalho pretende avaliar o potencial agronômico do lodo gerado na ETE de Gravatal como fonte de nutrientes para a sua utilização na construção do solo em áreas degradada. Para tanto se faz necessário se realizar as seguintes etapas: a) caracterizar o lodo gerado na ETE; b) classificar o lodo gerado de acordo com a Resolução CONAMA 375/2006; c) apontar alternativas de uso do lodo; d) avaliar o potencial agronômico do lodo em aplicações em áreas degradadas por mineração de carvão; e) estimar a quantidade de lodo a ser utilizado na construção de solo em área degradada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO – ETE

Desde que se tem conhecimento da história das cidades, já se tem conhecimento que as civilizações preocupavam-se com a coleta dos esgotos gerados nas residências. Em 3750 a.C. se tem registros de construções de galerias de esgotos em Nipur (Índia), em decorrência principalmente das grandes epidemias ocorridas oriundas da falta de cuidado com o saneamento (AZEVEDO NETTO, 1984 apud NUVOLARI et al. (2003).

Em 1914 em Salford (Inglaterra) foi concebida a primeira ETE conhecida, com uma vazão de 303 m³/dia. No Brasil, salvo alguns casos isolados o saneamento começou a ter algum avanço a partir da década de 70, em São Paulo (NUVOLARI et al. 2003).

Segundo a CASAN (2012) uma Estação de Tratamento de Esgoto:

“é uma unidade operacional do sistema de esgotamento sanitário que através de processos físicos, químicos ou biológicos removem as cargas poluentes do esgoto, devolvendo ao ambiente o produto final, efluente tratado, em conformidade com os padrões exigidos pela legislação ambiental.”

Em complemento ao conceito de ETE, Nuvolari (2003) afirma ainda que estas tem a finalidade além de reduzir os poluentes do esgoto, acondicionar temporariamente o residual produzido por ele (lodo).

A definição do tipo de tratamento e número de estações necessárias para o lançamento do efluente de esgoto, a premissa básica de avaliação é a remoção de no mínimo 80% da DBO ou, dependendo da concentração dela no efluente deve-se obter um efluente tratado com no máximo 60mg/L de acordo com a Lei 14.675/2009. Mas outros parâmetros também devem ser observados como sólidos suspensos, NMP de coliformes, entre outros. Além de seguir a legislação mais restritiva para o ponto de lançamento (ANDRADE; CAMPOS, 1999).

Andrade; Campos (1999) afirmam que deve-se observar as configurações existentes ou não na cidade onde o sistema de tratamento será implantado, como por exemplo: se já há coleta, a dimensão das canalizações existentes, além de verificar a topografia da cidade, para saber se há necessidade de estações

elevatórias, a fim de bombear o esgoto até a ETE. Por fim, evidentemente os custos de construção e operação são em geral o que definem o sistema a ser implantado em um município.

Existem alguns modelos de “tomada de decisão” que são softwares que levam em consideração os fatores citados anteriormente, além de vazão e população estimada, classificação do corpo receptor, entre outros. Após os cálculos, o programa indica qual o melhor tipo de tratamento (em termos técnicos, portanto, posteriormente deve-se avaliar o econômico) conforme indica a Tabela 1 que expressa o Modelo de Oliveira (2004, apud LEONETI; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2010).

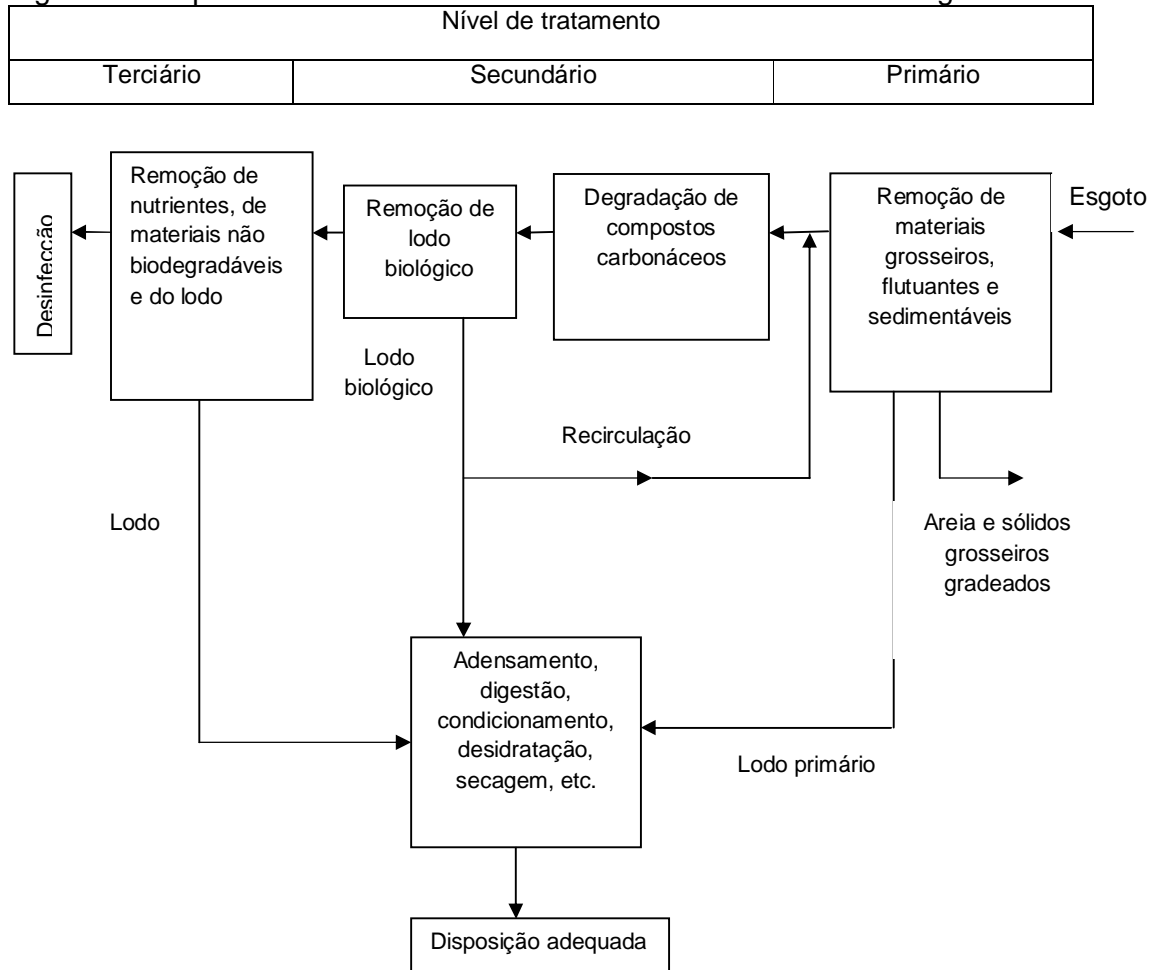
Tabela 1 - Sistemas de tratamento considerados no modelo tomada de decisão de Oliveira (2004).

| Composição dos sistemas | | |
|--------------------------------|--|--------------------------------------|
| Sistemas do modelo | Unidade Anaeróbia (1º processo) | Unidade Aeróbia (2º processo) |
| Sistema A | Reator anaeróbio de manta de lodo | Lodos ativados |
| Sistema B | Reator anaeróbio de manta de lodo | Lagoa Facultativa |
| Sistema C | Reator anaeróbio de manta de lodo | Filtro biológico |
| Sistema D | Reator anaeróbio de manta de lodo | Lagoa aerada e lagoa de decantação |
| Sistema E | Lagoa anaeróbia | Lodos ativados |
| Sistema F | Lagoa anaeróbia | Lagoa facultativa |
| Sistema G | Lagoa anaeróbia | Filtro biológico |
| Sistema H | Lagoa anaeróbia | Lagoa aerada e lagoa de decantação |

Fonte: Oliveira (2004) apud Loneti; Oliveira; Oliveira (2010).

O tratamento de esgoto pode abranger segundo Andrade; Campos (1999), níveis diferentes, que são chamados tecnicamente de tratamento primário, secundário ou terciário conforme o esquema apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema de um sistema convencional de tratamento de esgotos.



Fonte: Andrade; Campos (1999).

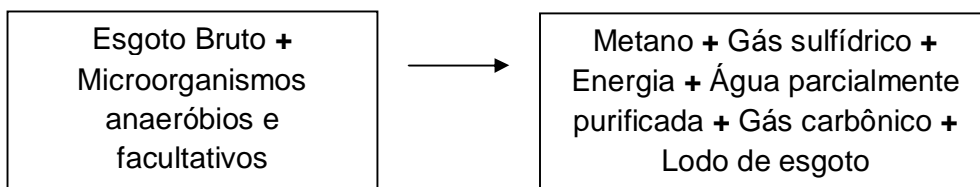
O tratamento primário envolve o gradeamento para a remoção dos sólidos grosseiros como: pedaços de pano, papel, algodão, fraldas descartáveis, cabelo, entre outros materiais que não deveriam ser dispostos no sistema de esgoto, porém acabam sendo lançados nele indevidamente (ARAÚJO, 2003b).

Seguida da grade, tem-se a caixa de areia, ainda no tratamento primário. Nesse compartimento procura-se reter as partículas inorgânicas com diâmetro relativo maiores que 0,2 mm, não sendo desejável que as partículas orgânicas sedimentem neste processo (ARAÚJO, 2003b). No tratamento primário ainda se destacam as peneiras que apresentam aberturas menores que as grades (de 0,25 a 5 mm) e são utilizadas para remoção de materiais fibrosos (ANDRADE; CAMPOS, 1999).

O tratamento secundário por sua vez, tem por objetivo degradar os

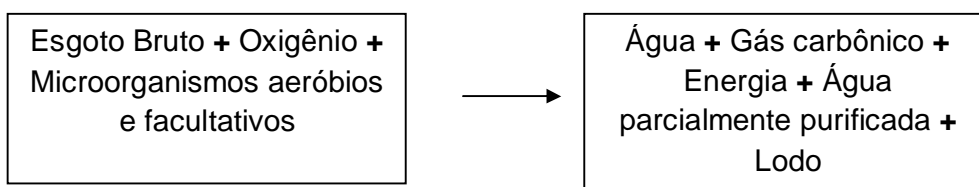
compostos carbonáceos. Segundo Andrade; Campos (1999), quando a degradação ocorre naturalmente, decompõem-se carboidratos, óleos, graxas e proteínas a compostos mais simples como: CO_2 , H_2O , NH_3 , H_2S , entre outros dependendo do processo que ocorre. Os microorganismos que efetuam o tratamento por sua vez se reproduzem aumentando sua massa a mesma proporção em que degradam a matéria orgânica (NUVOLARI, 2003).

A biodegradação anaeróbia, segundo Aisse; Fernandes; Silva (2001, apud ROCHA, 2009) começa a ocorrer quando os microorganismos já consumiram todo o oxigênio presente no esgoto. Pode ser representada esquematicamente como:



Já a degradação aeróbia é em geral mais rápida, mais eficiente e mais fácil de controlar, uma vez que a agitação mecânica atua no crescimento de microorganismos específicos em forma de flocos (CASAN, 2012). O processo de lodos ativados, por exemplo, consome uma razoável quantidade de energia, uma vez que necessita a incorporação do oxigênio em toda a massa líquida. Além de necessitarem de bombas aeradoras e para a circulação de lodo. A eficiência desse processo pode chegar até 98% e necessitam de uma área pequena para a implantação. Por outro lado possuem um custo operacional mais elevado que outros tipos de tratamentos e controle operacional diário (NUVOLARI, 2003).

Os tratamentos aeróbios mais utilizados segundo Aisse; Fernandes; Silva (2001, apud ROCHA, 2009) são as lagoas de estabilização aeróbias e facultativas e sistemas com injeção de ar (lodos ativados convencionais, valos de oxidação, lodos ativados com aeração prolongada, entre outros). A biodegradação aeróbia pode ser equacionada como:



A sedimentação dos sólidos após os diferentes tipos de tratamento é de

suma importância, Araújo (2003a) explica que os microorganismos têm a sua disposição uma considerável quantidade de alimento, consumindo a DBO solúvel e aumentando a biomassa no sistema, portanto a sedimentação aumenta a eficiência global do tratamento. Podem ser utilizados decantadores, onde o lodo gerado é sedimentado por gravidade, o líquido já tratado pode ser encaminhado à desinfecção e o lodo para o adensador e posteriormente ao leito de secagem, lagoas de secagem, filtros prensa, centrífugas ou outro sistemas.

O pós tratamento, ou tratamento terciário, consiste em remover poluentes específicos, ou complementar o tratamento de poluentes não removidos no tratamento secundário, como organismos patogênicos (CASAN, 2012).

3.2 PRODUÇÃO DE LODO POR DIFERENTES TIPOS DE TRATAMENTO

Os resíduos sólidos gerados em uma estação de tratamento de esgotos (ETE) são de um determinado grau de complexidade, uma vez que não se trata apenas de uma característica única e universal. Com a variação dos sistemas de tratamentos entre as ETE's há também diversificação das características dos sólidos gerados durante o processo, isso sem contar o lixo e a areia que são retidos em geral, no pré-tratamento.

Imhoff (1986, apud FERREIRA; ANDREOLI; JURGENSEN, 1999) liga os teores de sólidos e água à quantidade de lodo gerada nos diferentes tipos de tratamento, onde a produção de lodo pode ser variável por habitante, conforme se pode observar na Tabela 2.

Tabela 2 - Produção de lodo de esgoto em sistemas de tratamento de esgotos por processos anaeróbios e aeróbios.

| Tipo de tratamento | Quantidade de lodo produzida (m³/hab./ano) |
|-------------------------------------|--|
| Lagoa facultativa primária | 0,037 |
| Lagoa facultativa | 0,03 - 0,08 |
| Lagoa anaeróbia – facultativa | 0,01 – 0,04 |
| Lagoa aerada facultativa | 0,03 – 0,08 |
| Lodos ativados convencionais | 1,1 -1,5 |
| Lodos ativados (aeração prolongada) | 0,7-1,2 |

| | |
|-------------------------------------|----------|
| Lodos ativados (fluxo intermitente) | 0,7-1,5 |
| Filtro biológico (baixa carga) | 0,4-0,6 |
| Filtro biológico (alta carga) | 1,1-1,5 |
| Biodiscos | 0,07-0,1 |
| Reator anaeróbio de manta de lodo | 0,07-0,1 |
| Fossa séptica – filtro anaeróbio | 0,07-0,1 |

Fonte: Arceivala (1981), EPA (1979,1981,1992), Metcalf & Eddy (1991), Vieira (1993), Sperling (1995) e Nascimento (1997) apud Ferreira; Andreoli; Jurgensen, (1999).

Segundo Andreoli; Sperling; (2001) todos os tratamentos biológicos geram lodo em princípio que, de acordo com o tratamento e fase podem ser identificados em cinco diferentes tipos:

- **Lodo primário:** é gerado nos decantadores primários que recebem o esgoto bruto, e é composto pelos sólidos sedimentáveis presentes no mesmo. Podem apresentar odor forte, principalmente se estiver em condições de elevadas temperaturas.
- **Lodo biológico ou lodo secundário:** este lodo corresponde à biomassa que cresce pelo alimento fornecido pela matéria orgânica do esgoto. São gerados nos reatores aeróbios e com biofilmes. A biomassa tem crescimento contínuo pela alimentação também contínua do esgoto e, para manter o equilíbrio deve-se remover com determinada frequência a massa de sólida que é chamada também de lodos ativados.
- **Lodo misto:** ocorre quando os lodos primário e secundário são enviados para o tratamento juntos.
- **Lodo químico:** estes tipos de lodo ocorrem em sistemas de tratamento que incorporam uma etapa físico-química para melhorar a eficiência do decantador primário e do sistema como um todo. A taxa de decomposição do lodo químico é menor que a taxa do lodo primário, porém pode ocorrer odor nos mesmos.
- **Lodo excedente:** são decorrentes de sistemas que não conseguem armazenar o lodo por todo o tempo de operação da estação (ex.: lagoas facultativas), ou podem ter descartes eventuais (ex.: reatores anaeróbios), ou ainda necessitarem de descarte frequente (ex.: lodos ativados).

Ferreira; Andreoli; Jurgensen (2001) ainda definem **lodo bruto**, como sendo resultado do processo primário de tratamento, e que tem coloração acinzentada, pegajoso e de odor forte. E o **lodo digerido** como um lodo que sofreu um processo de estabilização biológica, com redução de no mínimo 40% dos SSV, possuem cor marrom escura e não tem odor ofensivo.

Deve-se ainda destacar que há diferença entre o lodo gerado nos processos biológicos anaeróbios e aeróbios. Nos sistemas aeróbios, por consequência da baixa carga, a biomassa fica retida mais tempo no sistema. E por fim este lodo fica com menor teor de matéria orgânica não necessitando de digestão posterior, o que também ocorre no lodo biológico anaeróbio, porém nesse tratamento o lodo ainda se constitui de sólidos do esgoto bruto, além de algas mortas (ANDREOLI; SPERLING; 2001).

Metcalf; Eddy (1991) afirmam que é fundamental conhecer a composição físico-química do lodo, incluindo nutrientes para a definição da disposição final. A Tabela 3 apresenta a composição química de diferentes tipos de lodo.

Tabela 3 - Composição química típica de lodos crus e lodos digeridos

| Constituinte | Lodos primários não tratados | | Lodos primários digeridos | | Lodos ativado s |
|---|------------------------------|--------|---------------------------|--------|--------------------|
| | Faixa | Típico | Faixa | Típico | Faixa |
| Sólidos Totais (%ST) | 2,0 – 8,0 | 5,0 | 6,0 – 12,0 | 10,0 | 0,8 – 1,2 |
| Sólidos Voláteis (%ST) | 60 - 80 | 65 | 30 - 60 | 40 | 59 – 88 |
| Proteínas (%ST) | 20 - 30 | 25 | 15 - 20 | 18 | 32 - 41 |
| Nitrogênio (N.%ST) | 1,5 – 4 | 2,5 | 1,6 – 6,0 | 3,0 | 2,4 - 5 |
| Fósforo (P ₂ O ₅ %ST) | 0,8 – 2,8 | 1,6 | 1,5 – 4,0 | 2,5 | 2,8 – 11 |
| Potássio (K ₂ O%ST) | 0 – 1,0 | 0,4 | 0 – 3,0 | 1,0 | 0,5 – 0,7 |
| Celulose (%ST) | 8,0 – 15,0 | 10,0 | 8 – 15,0 | 10 | - |

Fonte: Metcalf; Eddy (1991)

3.2.1 Lodos produzidos em processos anaeróbios

Na geração de lodo em processos anaeróbios, Haandel; Cavalcanti (2001) afirmam que alguns fatores influenciam na fração do efluente que é convertida em lodo estão relacionados a:

Natureza do material orgânico biodegradável do afluente: composição e origem do material: caso haja elevada quantidade de material particulado

há uma tendência maior a ter esse material biodegradável no lodo e conseqüentemente maior geração desse lodo.

Parâmetros ambientais no sistema: onde a temperatura é fator fundamental no funcionamento dos sistemas biológicos, que em geral se desenvolvem entre 30 e 37°C (faixa máxima), sendo possível, porém operar alguns reatores a 18°C. Quando as temperaturas são menores o sistema opera mais lentamente. O pH também deve estar na faixa neutra para não prejudicar a metanogênese.

Idade do lodo: quanto maior é a idade do lodo, mais completa é a eficiência de remoção do material orgânico biodegradável. Porém este fator não está relacionado à grandes quantidades de massa acumulada.

Contato entre o lodo e o material orgânico do efluente: para que o metabolismo bacteriano possa surtir melhor efeito a massa do lodo deve estar em boa intensidade de contato com o esgoto a ser tratado, embora em alguns sistemas esse contato seja limitado (lagoas anaeróbias e tanques sépticos).

Corroborando, Van Haandel (2008 apud ROCHA, 2009) explica que nesses sistemas a eficiência da remoção da matéria orgânica é maior quando a idade do lodo é longa (>100 dias a 25°C), por isso é importante reter o lodo no sistema para aumentar sua eficiência.

A quantidade de biomassa (massa bacteriana) no lodo desse processo é relativamente pequena (se comparado ao processo aeróbio), a maior parte é o lodo inerte (a partir do material orgânico não biodegradável e particulado) (VAN HAANDEL, 2008 apud ROCHA, 2009)

3.2.2 Lodos produzidos em processos aeróbios

Nos tratamentos aeróbios Andreoli; Sperling (2001) afirmam que outros cuidados são necessários, como manter o equilíbrio entre a entrada e saída de massa de sólidos no sistema, além de controlar o tempo de permanência desses sólidos no sistema, uma vez que a permanência seja baixa, os microorganismos conterão maiores teores de sólidos em sua composição e como consequência, maior matéria orgânica na sua composição celular e não estarão estabilizados (digeridos) ao final do processo.

Nesses sistemas segundo Van Haandel (2008 apud ROCHA, 2009) a remoção do material orgânico é eficiente para uma idade curta de lodo, diferente dos sistemas anaeróbios, até 3 dias no pico de eficiência.

Caracterizar a composição do lodo de sistemas aeróbios é em demasia mais complicado que caracterizar os de natureza anaeróbia, segundo Haandel; Cavalcanti (2001) isso se deve a três fatores fundamentais:

1. A quantidade de lodo tende a decair, já que a demanda de oxigênio é alta para a respiração e reprodução dos microorganismos;
2. A instabilidade do lodo relaciona-se com a morte dos microorganismos após o cessar da aeração, por isso necessita-se de colocá-lo em digestores (geralmente anaeróbios) para reduzir seu volume;
3. São produzidos diferentes tipos de lodo: em geral são levados a decantadores primários para diminuir a carga orgânica (lodo primário) e depois para os tratamentos biológicos propriamente ditos (lodo secundário ou biológico).

A aerobiose tende a produzir um lodo mais instável, que deve ser digerido, nesse caso o próprio processo de digestão do lodo (dependendo da idade dele) pode ser auto-suficiente energeticamente. A degradação do lodo pode gerar metano para garantir o funcionamento das bombas aeradoras sem uso de energia externa (HAANDEL; CAVALCANTI, 2001).

3.3 PRINCIPAIS CONTAMINANTES PRESENTES NO LODO DE ETE

A principal preocupação para o estudo de alternativas de disposição dos lodos de ETE são os poluentes que conferem ao lodo riscos sanitários e ambientais. O esgoto produzido por uma população doente provavelmente terá mais patógenos do que o produzido por uma população saudável. Os contaminantes químicos estão ligados ao lançamento de efluentes industriais na rede coletora (SILVA et al. 2001).

3.3.1 Metais pesados

A maioria dos organismos vivos necessita de alguns poucos metais e em doses muito pequenas, são chamados de micronutrientes, como o zinco, magnésio, ferro, entre outros. Já outros metais como o chumbo, mercúrio e cádmio não existem em nenhum organismo de modo natural, por isso a presença deles em qualquer

concentração é prejudicial e tóxica (SILVA et al. 2001).

Silva et al. (1999) afirma que os metais pesados presentes no lodo podem ter três origens distintas:

- *Rejeitos domésticos*: canalizações, as próprias fezes e alguns produtos utilizados para limpeza doméstica;
- *Águas pluviais*: águas de escoamento por superfícies metálicas, ou das próprias ruas que carregam poluentes produzidos por veículos;
- *Efluentes industriais*: é a principal fonte de metais presentes no esgoto contribuindo com certos tipos de cátions, dependendo do tipo de atividade da indústria.

No homem dependendo da quantidade a qual está exposto, os metais podem causar mutagênese nas células, tecidos ou até órgãos, além de limitar a absorção de outros nutrientes. Porém em esgotos domésticos, em geral as concentrações são baixas de modo que não se tem notícias da toxicidade crônica na disposição do lodo (SILVA et al. 2001). Os autores ainda trazem concentrações médias de alguns metais pesados presentes em solos e em alguns resíduos, em geral utilizados como fertilizantes do solo no Brasil, conforme a Tabela 4:

Tabela 4 - Concentrações médias de metais pesados em alguns meios.

| Elemento | Fertilizantes (mg/kg) | | | Esterco Brasil (mg/kg) | |
|----------|--------------------------------|-----------|-------------|------------------------|------|
| | Lodo de esgoto (Europa)(mg/kg) | Fosfatado | Nitrogenado | Suínos | Aves |
| Cádmio | 1 – 3.410 | 0,1 - 170 | 0,05 – 8,5 | 0,58 | 0,33 |
| Chumbo | 29 – 3.600 | 7 - 225 | 2 - 27 | 19,6 | 5,9 |
| Níquel | 6 – 5.300 | 7- 38 | 7 - 34 | 4,0 | 2,6 |
| Zinco | 91 – 49.000 | 50 - 1450 | 1 - 42 | 1670 | 151 |
| Cobre | 50 – 8.000 | 1 - 300 | - | 230 | 72,8 |
| Cromo | 8 – 40.600 | 66 - 2450 | 3,2 - 19 | 19,3 | 15,9 |

Fonte: Canadian Water Guidelines (1993), Helou (2000), WHO (1996) apud Silva et. al. (2001).

Segundo Andreoli (1999), durante o processo de formação do lodo, junto com as bactérias co-precipitam os agentes patogênicos e os metais pesados. Os processos de remoção de metais do lodo em geral são caros e pouco eficientes, por isso as fontes geradoras desse tipo de efluente devem ser identificadas previamente e retiradas do sistema de coleta, para que se possa garantir a qualidade do lodo.

3.3.2 Agentes patogênicos

Entre os agentes patogênicos presentes no lodo pode-se citar os helmintos, protozoários, fungos, vírus e bactérias. Estes agentes podem ser de procedência humana, que indica o nível de saúde da população; de procedência animal cujos dejetos são eliminados pela rede de esgoto; ou pela presença de animais na própria rede coletora (roedores) (SILVA et al. 2001).

Os fatores qualitativos e quantitativos de patógenos presentes no esgoto de uma localidade são definidos segundo Silva et al. (2001) por fatores como:

- Condições sócio econômicas;
- Condições sanitárias;
- Região geográfica;
- Presença de agroindústrias;
- Tipo de tratamento ao qual o esgoto foi submetido.

Com relação à reprodução desses microorganismos após serem lançados na rede de esgoto, por não estarem em seu meio ideal tendem ao decaimento da sua população. Segundo Fernandes; Souza (2001) a diminuição dos patógenos da fase líquida (esgoto) para a fase sólida (lodo) se deve também a adsorção dos flocos e o peso específico mais alto de muitos microorganismos, sedimentando durante o tratamento.

Na Tabela 5 são apresentados dados de remoção de alguns patógenos em alguns sistemas de tratamento.

Tabela 5 - Percentual de redução de alguns patógenos em diferentes tipos de tratamento.

| Tratamento | Vírus entéricos | Bactérias | Cistos de protozoários | Ovos de helmintos |
|--------------------------|------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Decantação primária | 0 – 30 | 50 – 90 | 10 – 50 | 30 – 90 |
| Filtro biológico | 90 – 95 | 90 – 95 | 50 – 90 | 50 – 95 |
| Lodo ativado | 90 - 99 | 90 – 95 | 50 – 80 | 50 – 99 |
| Lagoas de estabilização* | 99,99 - 100 | 99,99 - 100 | 100 | 100 |

Valores dados em percentual (%)

* Três células, com tempo de detenção > 25 dias.

Fonte: EPA (1983 apud FERNANDES; SOUZA, 2001).

A tolerância dos microorganismos aos fatores ambientais não permitem caracterizar os riscos potenciais de transmissão das doenças transmitidas por eles, mas segundo Chagas (2000) é importante conhecer esses para prevenções e métodos de controle. Na Tabela 6 são apresentados o tempo de sobrevivência de alguns microorganismos patogênicos no solo e à temperatura ambiente (20 – 30°C).

Tabela 6 - Tempo de sobrevivência de alguns microorganismos patogênicos no solo sob temperatura ambiente (20 – 30°C).

| Microorganismos | Sobrevivência no solo |
|-------------------------------------|------------------------------|
| Vírus entéricos | |
| Bactérias | |
| Coliformes fecais | < 70 dias (<20) |
| <i>Salmonella sp</i> | <70 dias (<20) |
| <i>Vibrio cholerae</i> | <20 dias (<10) |
| Protozoários | |
| <i>Entamoeba histolytica</i> cistus | <20 dias (<10) |
| Helmintos | |
| <i>Ascaris lumbricoides</i> ovos | meses |
| <i>Necator americanus</i> larvas | <90 dias (<30) |

Fonte: OMS (1989, apud CHAGAS, 2000).

Obs.: Os valores fora dos parênteses referem-se aos máximos obtidos na literatura e os valores dentro dos parênteses aos valores habitualmente verificados.

As diferentes aplicações de lodo digerido são boas alternativas para seu destino final, porém deve-se garantir que o lodo utilizado não esteja contaminado por agentes patogênicos uma vez que, Andreoli; Sperling (2001 p. 97) explicam que “embora a frequência de enfermidades entero bacterianas transmitidas por lodo de esgoto seja baixa, o aumento da utilização de lodo para aplicações no solo podem potencializar o risco”.

Faz-se necessário uma técnica segura de modo que o lodo seja um subproduto da ETE e não um resíduo. Neste sentido a SANEPAR (1997, apud CHAGAS, 2000 p.46) já busca esse entendimento:

O uso seguro do efluente sanitário na agricultura supõe a utilização de uma tecnologia que elimine ou diminua sensivelmente a presença desses microorganismos, aliada ao controle de qualidade de higienização e adequação do tipo de uso agrícola às características biológicas do mesmo.

Com o objetivo de reciclar o lodo de ETE é necessário que se faça um estudo mais amplo e específico, quantitativo e qualitativo, dos riscos associados à contaminação ambiental e humana. A discussão deve ser até que ponto é admissível utilizar o lodo como subproduto sem colocar em risco a saúde pública (ROCHA, 2000).

3.4 CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO LODO

Em geral os teores de nutrientes presentes no lodo são superiores aos teores de nutrientes presentes nos fertilizantes orgânicos utilizados normalmente na agricultura (ILHENFELD; PEGORINI; ANDREOLI, 1999). A Tabela 7 apresenta alguns fertilizantes e seus respectivos valores médios de NPK em cada um deles.

Tabela 7 - Comparação média de tipos de fertilizantes orgânicos em relação aos seus nutrientes.

| Identificação | Água (%) | Matéria | | | |
|----------------------|----------|-----------------|-------|-------|-------|
| | | Orgânica (M.O.) | N (%) | P (%) | K (%) |
| Lodo Aeróbio Calado | 85,0 | 69,4 | 2,50 | 0,90 | 0,20 |
| Lodo Anaeróbio | 65,0 | 36,2 | 1,60 | 0,20 | 0,05 |
| Esterco de Poedeiras | - | - | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| Esterco de Bovinos | 83,5 | 14,6 | 0,30 | 1,17 | 0,10 |
| Esterco de Ovinos | 65,0 | 31,4 | 0,60 | 0,30 | 0,15 |
| Esterco de Suínos | 81,0 | 12,0 | 0,60 | 0,60 | 0,30 |

Fonte: Ilhenfeld; Pegorini; Andreoli (1999).

Se o lodo calado estabilizado tiver um teor de umidade em torno de 50 a 55%, neste caso estará na forma granular, o que facilita a aplicação com equipamentos simples (ILHENFELD; PEGORINI; ANDREOLI, 1999). Porém na prática o que dificulta, segundo os autores, o emprego do lodo em áreas agrícolas

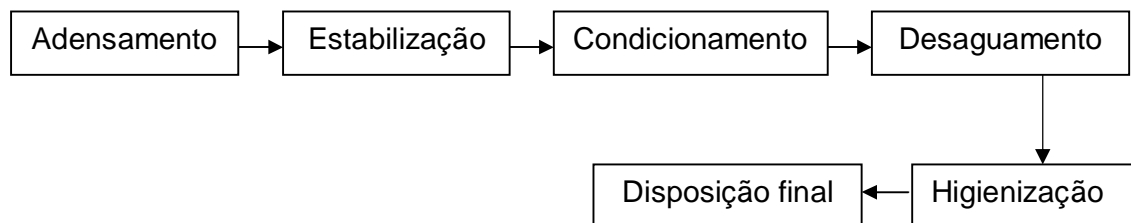
em geral, é o transporte, uma vez que o lodo normalmente está em uma forma mais líquida e necessita de maquinário especial, aumentando o custo do mesmo.

Fernandes (1999) destaca que não são só os nutrientes como NPK presentes no lodo que são importantes para o solo, ele afirma que ao inserir adubo químico alimenta as plantas, porém o lodo alimenta o solo nas suas propriedades globais e com isso aumenta sua produtividade.

3.5 PROCESSAMENTO DO LODO

Independentemente do sistema de tratamento escolhido para o esgoto, a fase de processamento do lodo tem papel importante, uma vez que é nessa fase que é possível reduzir seu volume.

Dependendo das características do lodo gerado e da etapa que ele se encontra no sistema de tratamento tem-se um gerenciamento diferente, porém segundo Andreoli; Sperling (2001) basicamente as etapas são:



3.5.1 Adensamento

O processo de adensamento do lodo segundo Chagas (2000), consiste na transformação da fase líquida no aumento da concentração de sólidos através da remoção fracionada da água que define a umidade. Sua finalidade é reduzir o volume para processar o lodo nas demais operações unitárias pelas quais ainda terá que passar. Esse processo também pode ser chamado de espessadores ou tanques de sedimentação, porém a ABNT recomenda o uso do termo “adensadores”.

O processo de adensamento pode se dar por adensadores de gravidade, por flotação ou por centrifugação (PESSÔA; JORDÃO, 1982).

3.5.2 Estabilização

O processo de estabilização é utilizado principalmente para reduzir o número de microorganismos patogênicos presentes no lodo e estabilizar a fração biodegradável, afim de diminuir o estado de putrefação e conseqüentemente seu odor (LUDUVICE, 2001).

Os principais sistemas de estabilização incluem segundo Ludovice (2001):

- *Estabilização biológica*: digestão anaeróbia ou aeróbia e compostagem;
- *Estabilização química*: adição de produtos químicos;
- *Estabilização térmica*: adição de calor.

A **digestão anaeróbia** para Miki; Sobrinho; Handeel (2006) é um dos sistemas mais utilizados na história do saneamento por ter baixo custo operacional. Os autores ainda explicam que o processo é largamente utilizado em função da estabilização do gás carbônico e geração de metano, podendo este último ser utilizado na ETE pelo seu potencial energético.

Fernandes; Souza (2001 p. 34) confirmam a produção de gases explicando o processo:

“A população microbiana responsável pelo processo pode ser dividida em três grupos: de solubilização, acidogênicas e metanogênicas. As proteínas, os lipídios, os carboidratos e outras moléculas complexas são solubilizadas por hidrólise. Em seguida, esses produtos são convertidos em ácidos orgânicos de cadeias curtas, como o ácido acético, propiônico e láctico. Essas duas fases iniciais são referidas como fase acidogênica. Em seguida, esses ácidos são convertidos em metano, dióxido de carbono e outros gases pelas bactérias metanogênicas.”

No processo anaeróbio o controle dos parâmetros físico-químicos e ambientais é mais fácil operacionalmente (MIKI; SOBRINHO; HANDEEL, 2006).

O sistema de **digestão aeróbia** é normalmente utilizado em ETE's de pequeno porte e são similares ao processo de lodos ativados. Segundo Miki; Sobrinho; Handeel (2006) esse processo tem algumas vantagens em relação ao sistema anaeróbio, citam-se:

- Simplicidade operacional;
- Baixo custo de investimento;
- Lodo digerido apresenta odor menos ofensivo e é biologicamente mais estável;
- Material sobrenadante possui baixa concentração de matéria

orgânica.

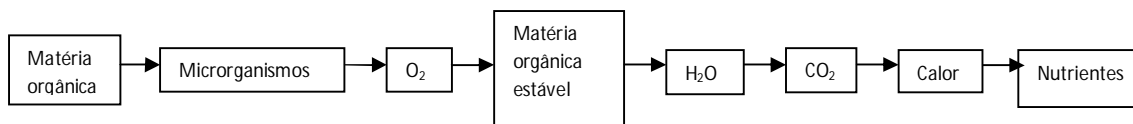
Ludovice (2001 p.148) descreve o processo de reações complexas de maneira simplificada:

“Com o suprimento de substratos interrompido, os microorganismos são forçados a consumir a própria reserva de energia para se manterem vivos. É a chamada fase endógena, onde os tecidos celulares biodegradáveis (75 a 80%) são oxidados aeróbicamente a dióxido de carbono, água e amônia. Com o decorrer da reação a amônia produzida é oxidada a nitrato, gerando íons de hidrogênio na reação.”

Os processos podem ser de fluxo intermitente ou fluxo contínuo, segundo Fernandes; Souza (2001), os autores explicam que os reatores de fluxo intermitente recebem o lodo diretamente do decantador secundário ou do adensador. Após o tempo necessário para a degradação os aeradores são desligados, o lodo sedimenta e o sobrenadante é drenado. Já nos sistemas de fluxo contínuo opera sem parar e os processos de recebimento, aeração, descarga também são contínuos.

Outro processo de estabilização é a **compostagem** que ocorre na fase sólida (FERNANDES; SOUZA, 2001). Segundo Kiehl (2002, p. 1) “a compostagem é um processo controlado de decomposição microbiana de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido”. Corroborando, Bidone (2001) discorre que o processo de compostagem é aeróbio, no qual os resíduos já estabilizados transformam-se de modo a alterar completamente as características iniciais.

O processo de compostagem pode então ser representado pelo esquema mostrado a seguir:



O processo de compostagem para Fernandes; Souza (2001) é definido como sendo uma biooxidação da matéria orgânica, caracterizado por ser exotérmico e liberar CO₂, além de outras substâncias minerais. No processo, os componentes orgânicos passam por fases de transformações que são consideradas pelos autores um processo bioquímico altamente complexo.

Segundo Kiehl (2002), os sistemas podem ocorrer em três processos:

- **Sistema de leiras revolvidas (*windrow*)**, em que as leiras são revolvidas (manual ou mecanicamente) e a aeração se dá pela entrada de ar no composto, além disso, pode-se utilizar injeção de ar sob pressão nas leiras;
- **Sistema de leiras estáticas aeradas (*static pile*)**, onde a massa a ser compostada é colocada em cima de uma superfície perfurada que injeta ou retira ar da massa do composto e, neste caso não há movimento da leira em si;
- **Sistemas fechados ou reatores biológicos (*in-vessel*)**, neste caso a massa de resíduo é colocada num sistema fechado, que permite a avaliação de todos os parâmetros do processo.

Na **estabilização química**, Fernandes; Souza (2001) explicam que são adicionados produtos alcalinos para inibir a atividade biológica e oxidar a matéria orgânica. Em geral os produtos utilizados são cal virgem, CaO, ou a cal hidratada. A definição do processo segundo os autores (p. 48) é simples:

“Consiste em adicionar o cal ao lodo até atingir pH 12 ou superior, cujo efeito é a destruição dos microorganismos patogênicos, diminuição do odor gerado pelo lodo e fixação de metais pesados”.

Ilhenfeld; Andreoli; Lara (1999) avaliam a quantidade de cal a ser utilizada por peso seco do lodo. Segundo os autores em geral são utilizados percentuais de 30 a 50% de cal por peso seco, valores maiores demandariam maior tempo de contato para a desinfecção do lodo, para 50% por exemplo, é utilizado para um tempo de 60 dias de armazenagem.

A eficiência do processo é significativa, Fernandes (1996 apud Fernandes; Souza 2001) mostram resultados de remoção de microorganismos com tratamentos com cal a 30%, 40% e 50% em relação ao peso seco do lodo, conforme a Tabela 8:

Tabela 8 - Comparação da remoção de microorganismos por diferentes tratamentos com cal.

| Cal (%) | Coliformes totais | Coliformes fecais | Salmonellas | Estreptococos | Ovos de helmintos | Cistos de protozoários |
|---------|-------------------|-------------------|-------------|---------------|-------------------|------------------------|
| 30 | 99,40 | 100 | 100 | 92,23 | 75,33 | 100 |
| 40 | 98,14 | 100 | - | 98,71 | 81,00 | 100 |
| 50 | 99,95 | 100 | 100 | 100 | 77,33 | 100 |

Obs.: Valores dados em percentuais de remoção.

Fonte: Fernandes et.al. (1996, apud FERNANDES;SOUZA, 2001).

Os métodos de estabilização com a cal (também chamado de calagem) podem ser: 1) adição de cal antes do processo de desaguamento, denominado pré-tratamento; 2) adição de cal após o processo de desaguamento do lodo, chamado pós-tratamento (METCALF; EDDY, 1991).

A secagem térmica é um dos sistemas de **estabilização térmica** mais utilizada. Ludovice (2001), esse processo transforma o lodo físico-quimicamente, podendo-se produzir inclusive lodo em forma de *pellets* em condições para serem aplicados em uso agrícola ou para aquecimento em caldeiras.

Fernandes; Souza (2001 p. 51) explicam o processo de secagem térmica:

Consiste na elevação da temperatura, o que provoca a evaporação da água. O lodo precisa ser desidratado até apresentar teor de sólidos na faixa de 20% a 45%. Após a secagem, o lodo pode adquirir aspecto granular e apresentar teor de sólidos de 90% a 95%. O processo é eficiente para bloquear a atividade biológica no lodo devido á secagem.

Os processos podem ser diretos ou indiretos. Os indiretos são indicados para obtenção de um produto final com concentração de sólidos de até 85%. Já os processos diretos são para uma obtenção de um produto final de 90% ou mais (LUDUVICE, 2001).

3.5.3 Condicionamento

O condicionamento do lodo envolve tratamento biológico, físico e/ou químico. Alteram as características do lodo e é utilizado para preparar o lodo para o desaguamento (CHAGAS, 2000).

Esse processo pode ocorrer na floculação, coagulação, permitindo: o aumento da carga, captura de sólidos e massa de lodo. Altera as propriedades superficiais do efluente, libera produtos químicos e gera hidrólise (GONÇALVES;

LUDUVICE, SPERLING, 2001).

3.5.4 Desaguamento

O objetivo do desaguamento é reduzir o volume de lodo por meio da redução da umidade.

Segundo Metcalf; Eddy (1991) os principais motivos que levam ao desaguamento são entre outros: diminuir o custo com transporte, facilitar o manuseio do lodo e diminuir o odor e geração de chorume.

Aisse et al. (1999), destaca os dois métodos de desaguamento do lodo que podem ser naturais ou mecânicos. Os processos naturais ocorrem ao ar livre e demandam maior área disponível para disposição do lodo. Nesse método destacam-se:

Leitos de secagem: são fisicamente semelhantes a filtros lentos, tem boa drenagem, e evaporação e geralmente são utilizados em batelada.

Lagoas de secagem: tem finalidades e funcionamento muito semelhantes aos leitos de secagem, porém são de construção mais simples e não prevêm percolação da água.

Disposição de lodo no solo: a técnica prevê a aplicação do lodo no solo como fertilizadores ou condicionadores.

Nos métodos artificiais Aisse et al. (1999) destacam:

Filtros prensa: cujas placas de ferro vão uma contra a outra “prensando” o meio filtrante.

Filtros a vácuo: o lodo é expirado de fora para dentro e fica retido num pano filtro, que envolve um cilindro rotativo.

Centrífugas: processo de separação sólido/líquido forçada por força centrífuga.

3.5.5 Higienização

O processo de higienização do lodo deve garantir um menor grau de patogenicidade ao lodo, não pode ser chamado de um processo de desinfecção, pois não são eliminados totalmente os microorganismos patogênicos do mesmo (PINTO, 2001).

Os métodos de higienização podem ser definidos, segundo Aisse et al. (1999) por: 1) Métodos de via térmica; 2) Via química; 3) Via biológica. Segundo os mesmos autores, as principais tecnologias utilizadas para a higienização de lodo são:

Compostagem: processo aeróbio de decomposição da matéria orgânica, que deve ser realizada por controle de variáveis ambientais como: pH, temperatura, aeração, nutrientes, entre outros. O produto final é um bom condicionador de solos.

Digestão aeróbica autotérmica: segue os princípios do sistema convencional de digestão aeróbia, que opera em fase termofílica.

Calagem ou estabilização alcalina: trata lodos primários e secundários através de cal virgem ou cal hidratada.

3.5.6 Disposição final

A avaliação do tratamento e destino final do lodo de ETE é difícil por envolver aspectos econômicos, técnicos, ambientais e legais. Andreoli (2001) ressaltam que a disposição final do lodo de uma estação de tratamento pode chegar a representar 60% dos custos operacionais da mesma.

Em geral, os projetos das ETE's no Brasil não contemplaram o tratamento dos resíduos gerados, sendo então levados a aterros sanitários como atendimento a legislação vigente, mas não garantindo atendimento aos critérios de sustentabilidade (ROCHA, 2009).

Até 2006 no Brasil não havia diretrizes legais que estabelecessem critérios para disposição final do lodo como subproduto valorado de uma ETE e, não apenas classificados e dispostos como resíduos rejeitos. Em decorrência das características dos lodos, a reutilização em áreas agrícolas é uma das mais difundidas no mundo, e no Brasil em 2006 foi regulamentada pela Resolução CONAMA 375, de 2006 (MATTA, 2011).

A seguir são definidos os principais métodos de disposição final encontrados na literatura.

3.5.6.1 Aterro sanitário

Muitos países europeus já reconheceram que a disposição de lodos oriundos de ETE's não é uma prática considerada sustentável, por seu custo e restrições ambientais (LUDUVICE, 2001).

Segundo a ABNT (NBR 8419) define aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos como:

“técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios da engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume possível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário”.

Na disposição final em aterros sanitários não se tem preocupação em recuperar os nutrientes presentes no lodo, além de requererem adequações a cada aterro específico. Segundo Ludovice (2001), no estado de São Paulo a SABESP definiu que a umidade seja inferior a 60%, e a quantidade de lodo depositado no aterro não pode ser maior que 5% do total dos resíduos sólidos urbanos depositados. Essas medidas foram tomadas para que se diminua a geração de chorume, e facilite a operação e aumente o tempo de vida útil do aterro.

A NBR 10.004 (Resíduos Sólidos) além de definir os resíduos sólidos explica as classificações dos resíduos como a) Classe I: Perigosos; b) Classe II: Não inertes; c) Classe III: Inertes; e ainda cita:

“Ficam incluídos nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamentos de água, aqueles gerados de equipamentos e instalações de controle da poluição, bem como determinados líquidos cujas peculiaridades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água”.

Segundo Malina (1993, apud LUDUVICE, 2001) existem aterros exclusivos para lodos chamando-se “disposição” e aterros de resíduos domiciliares onde o lodo também pode ser disposto chamando-se “co-disposição”, porém são poucas as premissas que os diferenciam, uma vez que a legislação permite tais disposições.

3.5.6.2 Disposição superficial “*landfarming*”

A disposição de lodo no solo é uma técnica conhecida como tratamento

em terra, que consiste na aplicação do resíduo no solo, podendo-se obter o resíduo degradado biológica ou quimicamente, onde se incorporam oxigênio, maximizando a remoção biológica (MATTA, 2011).

Diferentemente dos solos agrícolas, o *landfarming* tem limites superiores de lançamento de contaminantes no solo. Entretanto nessas áreas as restrições ambientais são maiores, pois essas áreas recebem maior intervenção tecnológica e monitoramento contínuo (ANDREOLI, et. al., 2001).

3.5.6.3 Incineração

O processo de estabilização de lodo que propicia o menor volume de lodo para disposição final é a incineração. O volume de cinza gerado é de aproximadamente 4% do volume de lodo desaguado (ANDREOLI, et. al., 2001).

A incineração é um processo simples que destrói as substâncias orgânicas presentes no lodo pela combustão. Também nesse processo são eliminados os patógenos. São resultados da combustão gases como dióxido de carbono, dióxido de enxofre, cinza inerte e vapor d'água (ANDREOLI et. al., 2001).

Esse sistema de tratamento segundo Bettiol; et. al., (2000) é um dos principais utilizados nos Estados Unidos, Europa e Japão, porém o Canadá (que também tem como principal método) passou a desativar seus incineradores por pressão popular.

3.5.6.3 Recuperação de áreas degradadas

“Área degradada” para Skorupa et. al., (2006) “*é aquela que sofreu algum grau de perturbações em sua integridade, sejam elas de natureza física, química ou biológica*”. Esse tipo de degradação segundo os autores está diretamente ligada à atividades antrópicas, como construções de estradas, barragens, atividades de mineração, além de áreas agrícolas mau manejadas.

A deficiência da matéria orgânica, nutrientes e atividade biológica são as principais características das áreas degradadas, segundo Chagas (2000) o lodo de esgoto por suas propriedades físicas, pode melhorar também as características do solo, melhorando a formação de agregados, aumentando a capacidade de infiltração, retenção de água e aeração, por isso um resíduo com grande potencial

de recuperação de solos degradados.

3.5.6.4 Uso agrícola

O uso de lodo de ETE em áreas agricultáveis é uma tendência mundial, uma vez que é um problema ambiental assim como a quantidade de áreas utilizadas para agricultura que são carentes de nutrientes, como o nitrogênio, fósforo e potássio. A técnica então busca solucionar os dois problemas simultaneamente, utilizando-se critérios de segurança, que garantam a saúde dos seres humanos e do meio ambiente (ANDREOLI, 2001).

Gomes et. al., (2001), explicam que o efeito da matéria orgânica no solo com a aplicação de lodo de esgoto, tanto a curto, médio e longo prazos, estão relacionados à produtividade agrícola. Os autores ainda citam como fatores limitantes para a aplicação do lodo como fonte de matéria orgânica e nutrientes no solo agrícola: espessura do solo, profundidade do lençol freático, geologia, declividade, entre outros.

Em 1984 a USEPA CRF 40 *Part 257* “*Critérios para classificação das utilidades e prática da disposição no solo*” que elegeu 200 substâncias que poderiam fazer parte dos biossólidos e serem prejudiciais a saúde humana, as plantas, aos organismos aquáticos e aos animais. Em 1993 a USEPA definiu critérios para aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola, pela regulamentação federal 40 CRF *Part 503* (MATTA, 2011).

No Brasil, Matta (2011) contextualiza que o início das normalizações se deu em São Paulo e no Paraná, a CETESB com a norma técnica P 4230 (1999) elaborada a partir da norma americana. E no âmbito Federal, foi publicada a Resolução Conama nº 375 de 2006 que estabelece os critérios e procedimentos para o uso agrícola do lodo gerado em ETE’s define tal lodo como “*Resíduo gerado nos processos de tratamento de esgoto sanitário*” (BRASIL, 2006a).

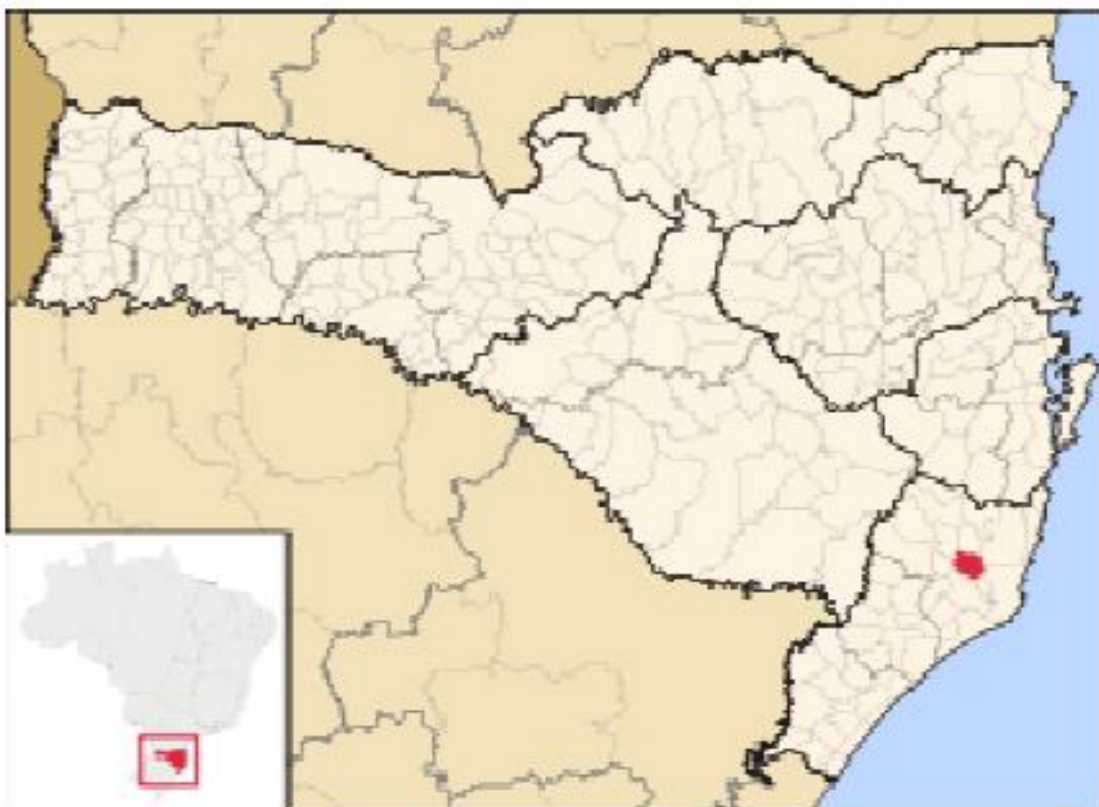
O MAPA regulamenta a produção de fertilizantes orgânicos e considera lodo de esgoto “matéria-prima proveniente do sistema de tratamento de esgotos sanitários, possibilitando a utilização segura na agricultura”. Define parâmetros agronômicos, de metais pesados e patógenos nos fertilizantes, e estão publicados na Instrução Normativa DAS nº 27 de 5 de junho de 2006 (BRASIL, 2006b).

4. METODOLOGIA

4.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – ETE GRAVATAL-SC

A ETE em estudo localiza-se no município de Gravatal, sul de Santa Catarina conforme a Figura 2. O saneamento no município é administrado pela CASAN por convênio firmado em 1983 e cujo vencimento está previsto para 2013. A companhia tem por objetivo coordenar o planejamento e executar, operar e explorar os serviços públicos de esgoto e abastecimento de água.

Figura 2 - Localização do município de Gravatal em Santa Catarina.



Fonte: CASAN, 2011.

Em Gravatal as obras do sistema de coleta e tratamento de esgoto foram divididas em duas etapas: a primeira, chamada SES Gravatal Termas (em funcionamento) que atende aproximadamente 6.100 habitantes e a segunda, chamada SES Gravatal Centro que pretende atender 11450 habitantes fixos e encontra-se em fase de obras.

Para definir o tipo de tratamento a ser adotado e o tamanho da estação levou-se em consideração a população e estimativas de crescimento populacional, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 - Projeção populacional adotada para o município de Gravatal

| Ano | População Residente | Taxa de crescimento | População flutuante | Taxa de crescimento | População total |
|-------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| 2012 | 7553 | 3,39 | 2107 | 2,37 | 9660 |
| 2032 | 14672 | 3,36 | 3140 | 1,92 | 17812 |

Fonte: CASAN (2011).

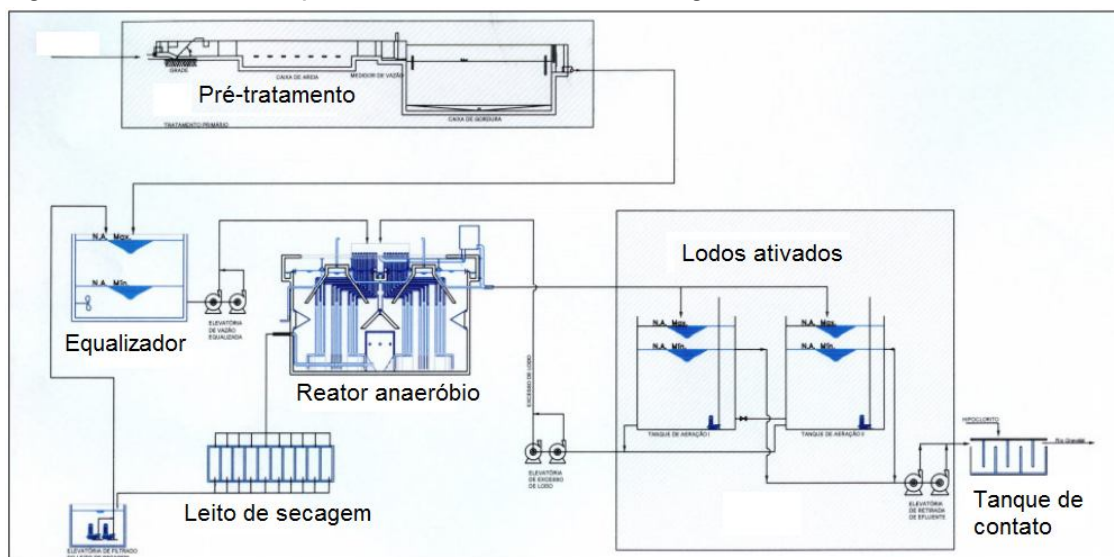
4.2 DESCRIÇÃO DO SES

Atualmente o processo de tratamento de esgoto na ETE de Gravatal conta com o tratamento primário, secundário e terciário. Para os parâmetros de projeto e de acordo com o consumo de água no município, estima-se uma vazão de 150 L/hab.dia, e uma vazão média de 15,59 L/s. O sistema de coleta atualmente conta com 2 estações elevatórias, sendo que na estação de tratamento o processo ocorre na sua maioria por gravidade.

A Figura 3 mostra o fluxograma simplificado do sistema de tratamento de esgoto.

O pré tratamento conta com um sistema de grades e peneiras e uma caixa de areia que segundo Sperling (2005) são importantes ferramentas para remoção de materiais lançados indevidamente na rede coletora (materiais grosseiros) e partículas inorgânicas maiores que 0,2mm. As etapas que compõe o pré-tratamento podem ser observada na Figura 4:

Figura 3 - Sistema simplificado do tratamento de esgoto em Gravatal-SC.



Fonte: CASAN, 2011.

Figura 4 - Componentes do pré-tratamento da ETE de Gravatal, onde: A) Identificação; B) Caixa de areia; C) Gradeamento; D) Saída do pré-tratamento



Fonte: Mendes (2012).

Do pré-tratamento o efluente é conduzido para o tratamento biológico, que segundo Nuvolari (2003) é considerada a fase de tratamento secundário. O

tratamento secundário é composto por um reator tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) traduzindo para o português como Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo, a sigla em inglês segundo Chernicharo (2001) é a mais utilizada quando o processo é empregado. Segundo Rocha (2009 p. 27) “o UASB consiste de um tanque onde os esgotos são introduzidos na parte inferior, passando por meio de um leito de grânulos ou flocos com elevada massa de microorganismos, e vertendo na parte superior do tanque”.

Na ETE de Gravatal o UASB tem um tempo de residência de 8 horas e um volume de total do reator de 900 m³, O mesmo está ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Reator Anaeróbio, onde A) Identificação; B) Vista superior; C) Vista lateral D) Caixa de distribuição



Fonte: Mendes (2012).

A eficiência do UASB é de aproximadamente 72%, necessitando de tratamento complementar, o que na ETE de Gravatal ocorre por processo de lodos ativados de aeração prolongada, que funciona em regime de batelada. Esse processo visa agrupar os microorganismos na forma de flocos e proporcionar

aeração mecânica a esses consumidores de matéria orgânica. Após esta etapa o efluente é levado ao decantador, onde os flocos precipitam e o esgoto tratado é removido (NUVOLARI, 2003).

No processo por batelada as duas etapas ocorrem dentro de um mesmo tanque, em Gravatal, por exemplo, há uma caixa divisora na saída o UASB que encaminha o esgoto para dois tanques de lodos ativados, conforme observa-se na Figura 6.

Figura 6 - Sistema de lodos ativados, onde: A) Identificação; B) Vista dos dois tanques; C) Caixa separadora; D) Vista lateral de um dos tanques



Fonte: Mendes (2012).

Após o tratamento o efluente é encaminhado para o tanque de contato para desinfecção, e o lodo gerado para os leitos de secagem. Os leitos estão ilustrados na Figura 7. Salienta-se que o lodo gerado nos sistema de lodos ativados não é encaminhado para os leitos de secagem. O biossólido gerado nesse processo recircula no processo e posteriormente volta ao início, de modo que o descarte é feito apenas no UASB.

Figura 7 - Leito de secagem, onde: A) Identificação; B) Vista de 1 leito de secagem; C) Aspecto do lodo; D) Calha de entrada



Fonte: Mendes (2012).

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO LODO

A metodologia de amostragem foi realizada com base na NBR 10.007/2004. O leito de secagem foi subdividido em 3 partes, obtendo-se em cada uma desta, uma porção de aproximadamente 2 kg de lodo. Estas foram homogêneas e quarteadas até restar 1 kg de amostra composta, que foi encaminhada aos laboratórios do IPARQUE para caracterização.

O volume coletado foi superior ao requerido pelo laboratório, garantindo um coeficiente de segurança. Respeitou-se também o tempo de armazenamento da amostra de acordo com cada elemento analisado, e algumas exigências feitas pelo CONAMA 375/2006 em seu Anexo IV para a amostragem de lodo de esgoto.

A caracterização do lodo gerado no final do tratamento baseou-se na Resolução CONAMA 375/2006 a fim de avaliar as características e a aplicabilidade do lodo em áreas agricultáveis.

Para a classificação do lodo gerado realizou-se a avaliação patológica onde foram contemplados os parâmetros sugeridos pelo CONAMA 375/2006 apresentados na Tabela 10, exceto parâmetro “vírus” que não foi considerado nesse estudo para classificação do lodo.

Tabela 10 - Classes de lodo de esgoto ou produto derivado – agentes patógenos

| Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado | Concentração de patógenos |
|--|--|
| A | Coliformes termotolerantes <10 ³ NMP /g de ST |
| | Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo /g de ST |
| | <i>Salmonella</i> ausência em 10g de ST |
| | Vírus < 0,25 UFP ou UFF /g de ST |
| B | Coliformes termotolerantes <10 ⁶ NMP /g de ST |
| | Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos /g de ST |

ST: Sólidos Totais
 NMP: Número Mais Provável
 UFF: Unidade Formadora de Foco
 UFP: Unidade Formadora de Placa
 Fonte: CONAMA (2006).

As análises de coliformes termotolerantes e *Salmonella* foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do IALI – Instituto de Alimentos do IPARQUE do Iparque- Unesc. Os ovos viáveis de helmintos foram avaliados no Laboratório de Análise Físico-Química de Alimentos, também do IALI, sendo que este parâmetro não foi quantificado, apenas verificada a presença ou ausência de ovos.

As metodologias utilizadas para a determinação dos parâmetros microbiológicos estão definidas na Tabela 11.

Tabela 11 - Metodologias utilizadas nas análises microbiológicas

| Parâmetro (CONAMA 375/2006) | Metodologia (Utilizada pelo laboratório de análises) |
|-----------------------------|---|
| Coliformes termotolerantes | STANDARD METHODS, 2005, 21 ed. Section 9221, p. 9-48-9-59 |
| <i>Salmonella</i> | ISO 6579/2002 |
| Ovos viáveis de helmintos | Microscopia |

Para a definição das áreas de aplicação do lodo definiu-se a taxa de aplicação máxima em base seca. De acordo com o Art. 17 da Resolução CONAMA 375/2006 deve ser respeitado o seguinte critério: “a aplicação máxima anual de lodo de esgoto ou produto derivado em toneladas por hectare não deverá exceder o

quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para cada a cultura (em kg/ha), segundo a recomendação agronômica oficial do estado, e o teor de nitrogênio disponível no lodo ou produto derivado ($N_{\text{disponível}}$ em kg/t), calculado de acordo com o Anexo III desta resolução”. A equação Equação 1, resume esta recomendação”.

$$\text{Taxa de aplicação} \left(\frac{t}{ha} \right) = \frac{N_{\text{recomendado}} \left(\frac{kg}{ha} \right)}{N_{\text{disponível}} \left(\frac{kg}{t} \right)}$$

Equação 1

Para a caracterização do potencial agronômico do lodo da ETE foram utilizados os parâmetros contidos no CONAMA 375/2006 e as metodologias utilizadas para a determinação foram realizadas de acordo com os Anexos II, III e IV da mesma Resolução. Tais análises foram realizadas no Laboratório de Fertilizantes e Resíduos Sólidos do Iparque – Unesc, com a data de entrega das amostras em 19 de setembro de 2012. Os parâmetros exigidos pela Resolução e a metodologia utilizada para análise estão descritos na Tabela 12:

Tabela 12 - Resultados obtidos com o lodo amostrado

| Parâmetro (CONAMA 375/06) | Metodologia (Utilizada pelo laboratório de análises) |
|--|--|
| Carbono orgânico | Titulométrico – Oxid. – $K_2Cr_2O_7$ |
| A Fósforo total (P_2O_5) | Gravimétrico – Quimociac |
| Fósforo total (P) | |
| Nitrogênio total | Kjeldahl – Liga de Raney |
| pH em água | Potenciométrico |
| Potássio total (K) | Espectrof. Absorção Atômica – Chama |
| Sódio total | |
| Magnésio total | |
| Cálcio total | |
| Enxofre total | Espectrof. Absorção Atômica – Chama |
| Umidade | Gravimétrico |
| Sólidos voláteis e totais | |

Resolução CONAMA 375/2006 recomenda ainda que seja feita uma caracterização química do lodo tomando-se alguns metais como parâmetro, porém essa determinação não foi realizada neste trabalho.

4.4 AVALIAÇÃO DE USO DO LODO DA ETE

Para a avaliação da possibilidade do uso do lodo em projetos de Recuperação de Área Degradada (RAD) fez-se uma pesquisa junto ao Setor de Projetos Ambientais do IPAT com relação ao tipo de material utilizado pelo setor em recomendações para construção de solo em áreas degradadas atividades de mineração de carvão na região da AMREC (Associação de Municípios da Região Carbonífera).

Segundo o IPAT/UNESC (2011 p. 34) o projeto de construção do solo em áreas degradadas *“depende do nível de degradação presente na área, das características dos solos nas áreas de entorno da área degradada, que servem como parâmetro para a recomposição do uso futuro pretendido e da vegetação a ser implantada”*. Além disso, estabelece-se por solo construído em áreas degradadas a camada de material argiloso que não são compactados depositados nas áreas reabilitadas, na qual são colocados corretivos de acidez, condicionantes de fertilidade física e química do solo. Tal solo tem por finalidade dar sustentação química e física a vegetação.

Ainda segundo os estudos realizados pelo IPAT, o material utilizado na construção do solo em áreas degradadas por mineração de carvão é argiloso, proveniente de horizontes pedológicos B (HB) de jazidas de empréstimo da região de entorno à degradação. A este material argiloso há geralmente correção com calcário, fertilizantes químicos (NPK), cama de aviário e turfa (IPAT, 2011).

Em estudos realizados pelo IPAT/UNESC em convênio com a CPRM – Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais, foi caracterizado o Horizonte B nas proximidades de antigas áreas mineradas a céu aberto localizadas em Siderópolis e Treviso (Bloco 1); Lauro Muller (bloco 2) e Urussanga (bloco 3). As médias dos resultados obtidos em cada bloco se encontram na Tabela 13.

Tabela 13 - Médias dos resultados obtidos em material amostrado no Horizonte B utilizado para construção do solo

| Parâmetros | Unidades | Media Bloco | Média Bloco | Média Bloco | Media Final |
|--------------------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| pH em Água | ... | 4,31 | 4,55 | 4,59 | 4,45 |
| Fósforo | ppm | 0,28 | 0,30 | 0,06 | 0,21 |
| Alumínio | cmolc/L | 10,19 | 5,42 | 10,31 | 9,19 |
| Cálcio | cmolc/L | 0,22 | 1,20 | 0,18 | 0,42 |
| Magnésio | cmolc/L | 0,03 | 0,53 | 0,18 | 0,19 |
| Potássio | ppm | 50,84 | 45,64 | 58,04 | 52,09 |
| Sódio | ppm | 10,00 | 8,74 | 8,61 | 9,26 |
| Teor de Argila (Textura) | % | 53,90 | 52,82 | 60,55 | 55,88 |
| Matéria Orgânica (MO) | (%) | 1,97 | 2,42 | 1,52 | 1,92 |
| Soma das Bases (S) | cmolc/L | 0,44 | 1,89 | 0,55 | 0,80 |
| CTC | cmolc/L | 15,65 | 11,92 | 13,50 | 14,10 |
| Saturação de Bases (V) | % | 2,80 | 14,65 | 3,95 | 5,81 |

Fonte: IPAT (2011).

A recuperação do solo se dá em função da determinação de uso futuro da área e da recomposição vegetal a ser implantada (IPAT, 2011).

O Ministério Público Federal determinou critérios a se utilizar nas recuperações de área e definiu que as áreas de preservação permanente deverão ser recuperadas com objetivo de sustentar tal finalidade. No restante o IPAT tem definido como uso futuro: preservação ambiental, expansão industrial, criação de áreas de lazer, instalação de equipamentos públicos, reflorestamento para fins comerciais (desde que não comprometam a camada de impermeabilização), entre outros. O uso futuro das áreas então, seguem os critérios de uso futuro definido pelo MPF.

Para iniciar o estágio de sucessão das espécies vegetais é necessário conhecer o entorno da área com a finalidade de avaliar a sua resiliência que segundo Almeida (2000), com este conhecimento pode-se acelerar o processo de sucessão e atingir o clímax mais rapidamente. Além disso, o autor destaca que as espécies a serem implantadas devem ser: de ocorrência natural na região, ter caráter pioneiro de crescimento rápido (para cessar os processos erosivos), ter alto potencial de dispersão e reciclagem de nutrientes, entre outros.

Nos casos onde o uso futuro da área, não é preservação ambiental ou reflorestamento, as espécies pioneiras geralmente implantadas nos projetos de RAD elaborados pelo IPAT são as gramíneas de estação quente. Nestes casos, o cálculo

da quantidade de fertilizantes químicos deve atender a demanda de tais espécies definida pela Comissão de Fertilidade – RS/SC da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Para os casos onde se prevê o reflorestamento, tanto para fins de preservação ambiental quanto de econômico, a demanda de nutrientes para o crescimento das espécies é obtida também pela Comissão de Fertilidade, porém tomando-se como base o plantio de eucalipto.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da avaliação físico-química, que determina o potencial agronômico do lodo, segundo a Resolução CONAMA 375/06 está no Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros de caracterização do potencial agronômico do lodo

| Parâmetros | Resultados |
|---|------------|
| Carbono orgânico (C.O.) (%) | 23,7 |
| Nitrogênio Total (NT) (%) | 2,5 |
| Fósforo Disponível Total (P ₂ O ₅) (%) | 1,2 |
| Fósforo Total (P) (%) | 0,5 |
| Potássio Total (K) (%) | 0,23 |
| Relação C/N | 9/1 |
| Enxofre Total (S) (%) | 0,9 |
| pH em água (1:5) ⁽¹⁾ | 5,5 |
| pH em água (1:10) ⁽¹⁾ | 4,5 |
| Cálcio Total (Ca) (%) | 0,36 |
| Magnésio Total (Mg) (%) | 0,26 |
| Sódio Total (Na) (%) | 0,05 |
| Sólidos Totais (ST) (%) | 47,50 |
| Sólidos Fixos (SF) (%ST) ⁽²⁾ | 28,55 |
| Sólidos Voláteis (SV) (%ST) ⁽²⁾ | 18,95 |
| Umidade a 65°C (%) | 51,70 |
| Umidade a 105°C (%) | 52,50 |

Observações:

- A digestão da amostra para a determinação dos metais foi baseado no método SW 846-3050.
- Resultados expressos na base seca a 65°C, com exceção do pH.
- ⁽¹⁾⁽²⁾ ensaios realizados com a amostra in natura.
- (%) porcentagem mássica.

Os resultados analíticos demonstram que o lodo gerado na ETE de Gravatal, apresenta 52,5% de umidade e 47,5% de matéria sólida. Deste total, aproximadamente 60% constitui-se de matéria fixa, ou seja, de origem mineral.

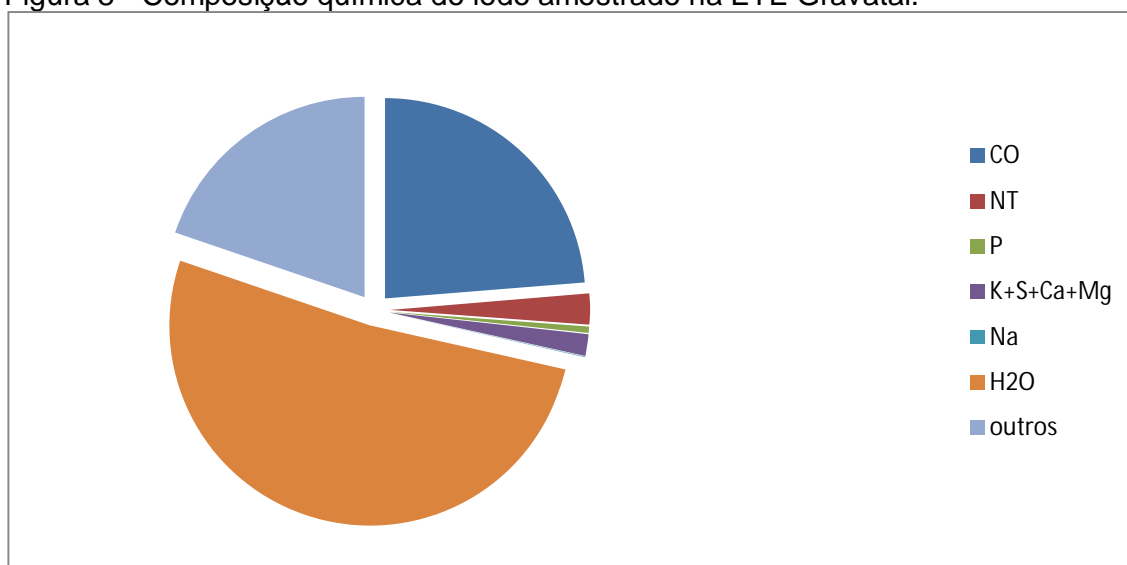
Com relação à composição química do lodo, sobressai-se o teor de matéria orgânica e de nitrogênio, e com quantidades menores que 1% para fósforo total, potássio, enxofre, cálcio e magnésio.

Com os resultados encontrados na análise pode-se observar que os quantitativos são semelhantes aos encontrados por Ilhenfeld; Pegorini; Andreoli (1999) que encontram-se na Tabela 7. Os resultados de carbono orgânico confere

ao lodo uma quantidade de 40,76% de matéria orgânica, aproximando-se do valor encontrado pelos autores que é de 36,2% para lodo anaeróbio. Para nitrogênio o valor é exatamente o mesmo (2,5%) tanto no lodo da ETE de Gravatal quanto nos resultados dos autores. Para P e K os valores são próximos aos resultados encontrados na literatura.

A quantidade de sódio encontra-se na ordem de 0,5 g/kg de lodo, podendo se tornar um problema em função do aumento do teor de sais no solo. A Figura 8 mostra a composição química do lodo amostrado na ETE de Gravatal, lembrando que a análise é realizada em base seca à 65°C.

Figura 8 - Composição química do lodo amostrado na ETE Gravatal.



O lodo amostrado apresenta características de acordo com o que descrevem Ferreira; Andreoli; Jurgensen (2001), com reduzido teor de SSV, com coloração marrom escura e sem odor ofensivo, demonstrando que sofreu um processo de estabilização biológica.

No caso do lodo da CASAN de Gravatal, não há um processo específico de estabilização, porém a relação SV/ST que avalia o grau de mineralização (estabilização) do lodo é de 0,4. A Resolução CONAMA 375/06 estabelece que este valor seja de no máximo 0,7 estando, portanto, dentro do parâmetro permitido. As características do material amostrado enquadram-se na descrição dos autores de tom marrom escura (conforme a Figura 9) e sem odor ofensivo.

Figura 9 - Lodo é característico de digerido, com cor marrom escura.



Fonte: Mendes, 2012.

Com os resultados obtidos ainda pode-se observar que a relação C/N é de 9,5 e de acordo com Kiehl (2002) este valor significa a estabilização do lodo (como se o mesmo estivesse passado por um processo de compostagem), ou seja, já se tem a mineralização dos compostos existentes no mesmo. A possível causa para que não seja necessária uma estabilização do lodo após o seu desaguamento é que a ETE de Gravatal atualmente não está operando com 100% da sua capacidade e a quantidade de leitos de secagem prontos é para a operação máxima, por isso o lodo atualmente tem um tempo de permanência alto nos leitos. Para se ter uma ideia, a ETE de Gravatal está operando desde junho de 2009 e ainda não se encaminhou nenhuma quantidade de lodo para aterro sanitário.

A utilização de lodo de esgoto na construção do solo em áreas degradadas pode ser uma boa alternativa como substituto ou complemento à cama de aviário, atualmente já utilizada, pois segundo Fernandes (1999), o sólido organizado em agregados por suas características físicas facilita a penetração das raízes, percolação e armazenagem de água no solo.

5.1 CLASSIFICAÇÃO MICROBIOLÓGICA

A avaliação microbiológica realizada para a determinação das classes do lodo de acordo com a Resolução CONAMA 375/06. Tais características conferem ao lodo além da classe, os seus critérios de aplicação e áreas passíveis à aplicação do mesmo. Os resultados da avaliação microbiológica estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Resultados da avaliação microbiológica

| Parâmetro (CONAMA 375/2006) | Resultados |
|-----------------------------|-----------------------|
| Coliformes termotolerantes | 1,1 x 10 ⁵ |
| <i>Salmonella</i> | Ausente |
| Ovos viáveis de helmintos | Presente |

Os resultados avaliados microbiologicamente indicam que o lodo gerado na ETE de Gravatal, de acordo com a Resolução CONAMA 375/06 é *Classe B*, portanto não é passível de utilização em áreas agricultáveis pois, de acordo com a mesma Resolução a utilização de tal classe está vetada desde agosto de 2011.

Porém é importante ressaltar que após o desaguamento do lodo a CASAN realiza o processo chamado por Metcalf; Eddy (1991) de pós-tratamento. Tal ação pretende elevar o pH até 12 ou mais para a destruição ou diminuição significativa dos patógenos, antes de encaminhar o lodo para aterro sanitário. Tal ação pode tornar o lodo Classe B em Classe A, uma vez que ocorrerá a diminuição da concentração de microorganismos no lodo e, conseqüentemente novo enquadramento do mesmo.

5.3 UTILIZAÇÃO DO LODO EM PROJETOS DE CONSTRUÇÃO DO SOLO

Em função das características do lodo, com elevado teor de matéria orgânica e nutrientes importantes para o desenvolvimento de plantas e propriedades físicas que condicionam o solo, avaliou-se a possibilidade do mesmo ter potencial para uso em projetos de recuperação de áreas degradadas como alternativa para insumos normalmente utilizados na construção do mesmo.

Para isso, tomaram-se por base as características do Horizonte B, substrato utilizado para construção de solo (IPAT, 2011).

A classificação do substrato (Horizonte B) foi realizada de acordo com a Comissão de Química e Fertilidade SC-RS (2004), que considera a interpretação dos resultados de teor de argila fundamental para a interpretação dos teores de

fósforo, já o teor de matéria orgânica como indicador de disponibilidade de nitrogênio, e a CTC para interpretação de potássio, além de orientar o manejo e adubação do solo. O enquadramento dos resultados da análise do solo está expresso no Quadro 3 .

Quadro 3 - Características do Horizonte B (IPAT, 2011)

| Parâmetro | Resultado | Faixa | Interpretação |
|-------------------------|-------------|--------------|---------------|
| Matéria Orgânica (M.O.) | 1,92 (%) | ≤ 2,5 | Baixo |
| Argila | 55,88(%) | 41-60 | Classe 2 |
| Fósforo (P) | 0,21 (ppm) | Classe 2 ≤ 3 | Muito baixo |
| Potássio (K)* | 52,09 (ppm) | 41-60 | Médio |

*O enquadramento de Potássio (K) foi realizado de acordo com a CTC, que no resultado da análise foi de 14,1cmol/L (faixa de 5,1 – 15).

5.4 RECOMENDAÇÕES DE CALAGEM

As recomendações de adição de calcário do solo utilizado como base para os cálculos deste trabalho (resultados na Tabela 13), estão de acordo com a recomendação da Comissão de Química e Fertilidade SC-RS (2004). Utilizando-se o índice SMP, avaliou-se que são necessárias (tanto para o plantio de eucalipto quanto para gramíneas de estação quente) 15 t de calcário/ha.

Com a utilização do lodo para corrigir as quantidades de NPK consequentemente se estará diminuindo a quantidade de calcário a se utilizar para corrigir a acidez do solo já que no pós-tratamento do lodo a cal é utilizada para a eliminação de patógenos e pode alterar também a quantidade de calcário a ser utilizada pois segundo Fernandes (1999) a alta PRNT do cal utilizada no lodo proporciona uma rápida reação de neutralização do solo.

5.5 RECOMENDAÇÕES PARA GRAMÍNEAS DE ESTAÇÃO QUENTE

Nitrogênio: a aplicação deve ser de no mínimo 200 kg de N/ha, sendo que 20kg devem ser aplicados no plantio o restante deve ser dividido de duas a quatro vezes. No caso da aplicação do lodo devem ser aplicados 8 toneladas/ha, sendo 800 kg no plantio e o restante dividido em quatro vezes.

Fósforo: a aplicação de fósforo para o tipo de solo apresentado no Quadro 3, deve ser de 120 kg de P_2O_5 /ha no primeiro cultivo ou ano, e de 100 kg de P_2O_5 /ha no segundo cultivo ou ano. Para corresponder essa quantidade de fósforo, a aplicação de lodo no primeiro ano ou cultivo deve ser de 24 t/ha e de 20 t/ha no segundo ao ou cultivo. Para as espécies anuais, deve-se fazer a adubação na época da semeadura; para as perenes, deve-se fazer no início da primavera.

Potássio: a aplicação de potássio para o tipo de solo apresentado deve ser de 80 kg de K_2O /ha no primeiro ano ou cultivo e de 60 kg de K_2O /ha no segundo ano ou cultivo. No caso de substituição pelo lodo, a aplicação no primeiro ano ou cultivo deve ser de 34,8 t/ha e de 26,1 t/ha no segundo ano ou cultivo. A recomendação para espécies anuais e perenes é a mesma do fósforo.

5.6 RECOMENDAÇÕES PARA EUCALIPTO

Nitrogênio: a aplicação deve ser de 30 kg de N/ha no plantio e de 20 kg de N/ha na fase de cobertura. No caso da utilização do lodo é necessária uma aplicação de 1,2 t/ha no plantio e de 0,8 t/ha na cobertura.

Fósforo: a recomendação de fósforo no cultivo de eucalipto é de 120 kg de P_2O_5 /ha. No caso da utilização do lodo esse número sobe para 24 t/ha.

Potássio: no caso do potássio deve-se levar em consideração a fase de plantio, cobertura e reposição. Na fase de plantio a recomendação é de 20 kg de K_2O /ha, na cobertura cai para 10 kg de K_2O /ha e na reposição não se recomenda adubação. No caso do uso do lodo nas fases de plantio e cobertura esses números são respectivamente: 8,7 t/ha e 4,34 t/ha.

No plantio a adubação deve ser feita em sulcos ou em covas, no primeiro caso deve-se espalhar no fundo do sulco de plantio; no segundo deve-se colocar no fundo também, misturando-se com a terra para evitar danos às raízes.

A adubação de cobertura não é comum, porém complementa a de plantio, deve ser realizada de três a seis meses após o plantio, distribuindo o adubo ao lado das plantas em faixas ou em coroamento, cobrindo-o com terra no fim da aplicação.

5.7 TAXA DE APLICAÇÃO DE LODO

O cálculo da taxa de aplicação do lodo de esgotos, obtida de acordo com a Resolução CONAMA 375/06 bem como a recomendação de nitrogênio para cada cultura em análise, estão representados na Quadro 4.

Quadro 4 - Taxa de aplicação de nitrogênio (t/ha) e recomendações com a utilização de lodo.

| Cultura | Taxa de aplicação (t/ha) | Recomendação de nitrogênio com a utilização de lodo |
|-----------------------------|---------------------------------|--|
| Gramíneas de estação quente | 20 (t/ha) | 8 (t/ha) |
| Eucalipto | 5 (t/ha) | 2 (t/ha) |

Com as taxas de aplicação obtidas observa-se que é possível utilizar o lodo da ETE de Gravatal como fonte de nutrientes, no que diz respeito a estar legalmente aplicável, uma vez que na cultura de gramíneas de estação quente a demanda de nitrogênio é de 8 t/ha e a taxa de aplicação do lodo é de 20 t/ha, havendo uma sobra de 12 t/ha.

As quantidades são significativas se considerarmos a aplicação de fertilizantes químicos. Porém comparando a cama de aviário que é utilizada atualmente como fonte de nutrientes, a quantidade de lodo é inferior. Em um projeto de RAD em 2011 o IPAT sugeriu uma quantidade de 51,7 m³/ha de cama de aviário que, quando seca corresponde a aproximadamente 31 t/ha, o que torna o uso do lodo da ETE de Gravatal atrativo para ser utilizado em substituição à cama de aviário.

Apesar de a taxa de aplicação suprir a necessidade de nitrogênio para as culturas sugeridas, com tal quantidade não serão supridas as quantidades necessárias de fósforo e potássio, que demandariam de uma quantidade superior de lodo. Neste caso a falta desses nutrientes poderão ser supridas com fertilizantes químicos.

Do ponto de vista de quantidade sugerida pelo CONAMA 375/06 no cultivo de eucalipto também é possível utilizar o lodo da ETE de Gravatal, uma vez que a Taxa de aplicação é maior que a quantidade recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade SC-RS.

Para garantir que a aplicação do lodo não excederá o limite imposto pela legislação, seria necessária a avaliação dos metais, o que não foi realizado neste trabalho, porém pelas características do município de Gravatal acredita-se que não haja alterações significativas na quantidade dos metais uma vez que a economia local é baseada em fontes termais de água, não havendo indústrias geradoras de efluentes industriais que tenham ligação na rede coletora.

ILHENFELD; PEGORINI; ANDREOLI (1999) afirmam que o uso de lodo em solos degradados é uma boa alternativa uma vez que os solos degradados são geralmente ácidos a cal inserida no processo de higienização promove a estabilização dos mesmos quando o lodo é incorporado. Além disso, o autor cita que o fornecimento de nutrientes nas formas orgânicas tem efeito prolongado se comparado ao uso de fertilizantes químicos.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O lodo da estação de tratamento de esgoto de Gravatal amostrado no leito de secagem apresentou boa relação de C/N demonstrando se encontrar estabilizado mesmo antes de passar por processo específico de digestão.

Esta condição demonstra que a utilização do lodo é viável, desde que atendidas as recomendações da Resolução do CONAMA 375/06. O presente estudo demonstrou que as condições físico-químicas se encontram em conformidade com as diretrizes da resolução; enquanto que a microbiológica demonstra ser necessário um processo de higienização previamente ao uso deste material. Esta condição se faz necessário para garantir a segurança sanitária do ambiente.

Alerta-se ainda para a necessidade de monitorar as concentrações de metais pesados presentes no lodo, conforme recomenda o CONAMA 375/06, porém para o caso em estudo, espera-se que os valores sejam pouco significativos devido as características socioeconômicas do município de Gravatal.

O lodo de esgoto da estação se mostra como uma boa alternativa na construção de solos nas áreas degradadas, sobretudo naquelas que se constituem no passivo ambiental da mineração de carvão. Nestes casos, poderá ser utilizado em substituição à cama de aviário ou em associação com a mesma, uma vez que suas características são similares em composição de matéria orgânica, nutrientes e aparência. De qualquer forma, a viabilidade do uso do lodo dependerá da logística, ou seja, da forma com este será transportado, da distância de transporte, entre outros.

A aplicação do lodo em construção do solo não deve ser vista apenas como uma substituição aos fertilizantes químicos, mas também como um condicionante adicional, capaz de atuar nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

É necessário que se observe as áreas passíveis de aplicação conforme estabelecido pelo CONAMA 375/06, como zonas de amortecimento de unidades de conservação, distâncias mínimas de 15 metros de vias públicas e áreas onde o nível freático seja superior a 1,5 m na cota mais baixa do terreno, e as zonas de restrição descritas no artigo 15, seção V da referida resolução.

A utilização também se torna viável, pois a taxa de aplicação calculada foi inferior as quantidades recomendadas para cada cultura em estudo. Esta taxa

representa a quantidade de nitrogênio máxima a ser aplicada anualmente em toneladas por hectare. O estudo demonstrou que a aplicação do lodo da ETE de Gravatal em culturas de eucalipto e gramíneas de estação quente a taxa de aplicação está dentro dos requisitos estabelecidos pela Resolução CONAMA 375/06.

As recomendações do uso do lodo como fonte de N, P e K são estabelecidas para as condições atuais da ETE. Com a conclusão das obras da segunda etapa, aumento de população ou mudanças nas características do esgoto a ser tratado, devem-se reavaliar as condições de estabilidade do lodo.

REFERÊNCIAS

AISSE, Miguel M. *et.al.*; *Tratamento e Destino Final do Lodo Gerado em Reatores Anaeróbios*. in: CAMPOS, José R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 271-298

ALMEIDA, D. S. **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**. Ilhéus: Editus, 2000. 130p.

ANDREOLI, C. V. et al. (Org.). **Uso e manejo de lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro: Abes, 1999. 97 p. Projeto PROSAB.

ANDREOLI, Cleverson (Org.). **Biossólidos: Alternativas de uso de resíduos de saneamento**. Rio de Janeiro: Abes, 2006.

ANDREOLI, Cleverson V. SPERLING, Von. **Lodo de esgoto: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Ufmg, 2001.

ANDREOLI, Cleverson Vitório (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Curitiba: FINEP, 2001 257 p.

ARAÚJO, Roberto de. As unidades do sistema, in: NUVOLARI, Ariovaldo (Coord.). **Esgoto sanitário : coleta transporte tratamento e reúso agrícola**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003b. p. 43-73.

ARAÚJO, Roberto de. O sistema de esgoto sanitário, in: NUVOLARI, Ariovaldo (Coord.). **Esgoto sanitário : coleta transporte tratamento e reúso agrícola**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003a. p. 37-39.

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

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 1007– **Amostragem de resíduos**. Rio de Janeiro: ABNT; 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8419 – **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: ABNT; 1992

BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A., ed. **Impacto Ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade (Coord.). **Reaproveitamento de materiais provenientes de coletas especiais**. Rio de Janeiro: RiMA, 2001. 218 p.

BRASIL, Ministério da Agricultura. **Instrução Normativa DAS nº 27 de 5 de junho de 2006b**. Disponível em: www.agricultura.gov.br/legislação-sanidade-fertilizante. Acesso em: 05 de setembro de 2012.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006a**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>>. Acesso em 10 de outubro de 2012.

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

CASAN, Companhia Catarinense de Águas e Saneamento. **ETE- Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários**. Florianópolis, 2012. Disponível em: <<http://novo.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/ete-estacao-de-tratamento-de-esgotos-sanitarios#600>>. Acesso em: 05 de setembro de 2012.

CASAN, Companhia Catarinense de Águas e Saneamento. **Relatório nº 3 – Projeto Final de Engenharia**. Projeto Final de Engenharia do Sistema de Esgoto Sanitário da Cidade de Gravatal. Florianópolis, 2011. 322 p.

Chagas, Welington Ferreira. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da ilha do governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro**. [Mestrado] Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública; 2000. 89 p.

CHERNICHARO, Carlos Augusto Lemos PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO (Coordenação). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Prosab, 2001. 544 p

FERNANDES, Fernando; SOUZA, Silvia G. Estabilização de lodo de esgoto. in: ANDREOLI, Cleverson Vitório (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Curitiba: FINEP, 2001.p. 29-55

FERNANDES, Fernando; Universidade Estadual de Londrina; Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro: ABES/RJ, 1999. 84 p

FERREIRA, A. C. ANDREOLI, C. V. JURGENSEN, A. Eficiência dos Tratamentos, in: ANDREOLI, Cleverson Vitório (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Curitiba: FINEP, 2001 257 p.

FERREIRA, Andreia C.; et. al.. Produção e Características dos Biossólidos, in: ANDREOLI, Cleverson Vitório (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Curitiba: FINEP, 2001 257 p.

GOMES, Luciana P. et. al. *Critérios para Seleção de áreas para a reciclagem Agrícola de Lodos de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs)*. in: ANDREOLI, Cleverson Vitório (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Curitiba: FINEP, 2001. p. 165-186

GONÇALVES, Ricardo Franci; LUDUVICE, Maurício; SPERLING, Marcos von. Remoção da umidade de lodos de esgotos. in: ANDREOLI, Cleverson V. et al. **Lodo de esgoto: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Ufmg, 2001.

HAANDEL, Adrianus van.; CAVALCANTI, Paula F. F. in ANDREOLI, Cleverson Vitorio (Coor.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Curitiba: FINEP, 2001 257 p.

ILHENFELD, Ricardo G.K.; ANDREOLI, Cleverson V.; LARA, Aderlene I. Higienização de lodo de esgoto. in: ANDREOLI, C. V. et al. (Org.). **Uso e manejo de lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro: Abes, 1999. 97 p. Projeto PROSAB.p.40-61.

ILHENFELD, Ricardo. PEGORINI, Eduardo. ANDREOLI, Cleverson. Fatores limitantes. in: 1999) ANDREOLI, C. V. et al. (Org.). **Uso e manejo de lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro: Abes, 1999. 97 p. Projeto PROSAB.p.37-45

IPAT – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – Universidade do Extremo Sul Catarinense. **PROJETO EXECUTIVO ÁREA III- RIO PIO**. Planos De Recuperação De Áreas Degradadas Pela Mineração Do Carvão, No Estado De Santa Catarina, Correspondentes Às Áreas Da Ex-Treviso S.A, De Responsabilidade Da União. Criciúma, 2011. 156 p.

KIEHL, Edmar José. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. Piracicaba, SP: Do autor, 2002. 171 p.

LEONETI, Alexandre B. OLIVEIRA, Sonia V.W.B .OLIVEIRA, Marcio M.B. **O equilíbrio de Nash como uma solução para o conflito entre eficiência e o custo na escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário com auxílio de um modelo de tomada de decisão**. Ribeirão Preto: FEARP/USP, 2010. 64 p.

LEONETI, Alexandre Bevilacqua; OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de and OLIVEIRA, Marcio Mattos Borges de. **O equilíbrio de Nash como uma solução para o conflito entre eficiência e custo na escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário com o auxílio de um modelo de tomada de decisão**. *Eng. Sanit. Ambient.* [online]. 2010, vol.15, n.1, pp. 53-64. ISSN 1413-4152.

LUDUVICE, Maurício. Processos de estabilização. in: ANDREOLI, Cleverson V. et al. **Lodo de esgoto: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Ufmg, 2001.p. 123-157

MATTA, Marcus E.M. **Índice de perigo para subsidiar a aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola**. [Doutorado]. São Paulo: USP, 2011. 101 p.

METCALF & EDDY.,Inc. **Wasterwater Engeneering Treatment, Disposal and Reuse** . 3ed. New York: McGraw – Hill, 1991, 3ed., 1334 p.

MIKI, Marcelo K.; SOBRINHO, Pedro A.; HAANDEL, Adrianus C. van; Tratamento da fase Sólida em Estações de Tratamento de Esgotos – Condicionamento,

Desaguamento Mecanizado e Secagem Térmica do Lodo. in: ANDREOLI, Cleverson (Org.). **Biossólidos: Alternativas de uso de resíduos de saneamento**. Rio de Janeiro: Abes, 2006.

NUVOLARI, Ariovaldo (Coord.). . **Esgoto sanitário : coleta transporte tratamento e reúso agrícola**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. 520 p

PESSÔA, Constantino Arruda; JORDÃO, Eduardo Pacheco,. . **Tratamento de esgotos domésticos**. 2. ed Rio de Janeiro: ABES, 1982. v.1 ISBN 8570220189 (v.1)

PINTO, Marcelo T.; Higienização de lodos. in: ANDREOLI, Cleverson V. et al. **Lodo de esgoto: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Ufmg, 2001.p. 261-296

ROCHA, Ana Lucia C.L.**Higienização de lodo anaeróbio de esgoto por meio alcalino. Estudo de Caso da ETE Lages – Aparecida de Goiânia – GO**. [Mestrado]. Universidade Federal de Goiás. 2009; 118p.

SANTA CATARINA. **Lei nº 14.675 de 2009**; Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências.92p. Disponível em; < http://www.sc.gov.br/downloads/Lei_14675.pdf>. Acesso em 10 outubro de 2012.

SILVA, Sandra M. C. P. da et. al. Principais contaminantes do lodo. in: ANDREOLI, Cleverson V.(Coord.) **Lodo de esgoto: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Ufmg, 2001. p. 69- 121.

SKORUPA, Ladislau A. *et. al.*; Uso de Lodo de Esgoto na Recuperação de Áreas Degradadas. in: ANDREOLI, Cleverson (Org.). **Biossólidos: Alternativas de uso de resíduos de saneamento**. Rio de Janeiro: Abes, 2006.p.159-204

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

SPERLING, Marcos von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2.ed Belo Horizonte: DESA, 2005. 243 p.