



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

RANGEL COELHO DOS SANTOS

LODO DE ESGOTO, UMA DISPOSIÇÃO ECOLÓGICAMENTE CORRETA: ESTUDO
DE CASO

Palmas-TO
2017/2



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

RANGEL COELHO DOS SANTOS

LODO DE ESGOTO, UMA DISPOSIÇÃO ECOLOGICAMENTE CORRETA: ESTUDO DE CASO.

Monografia apresentada como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Doutor José Geraldo Delvaux Silva.

Palmas-TO
2017

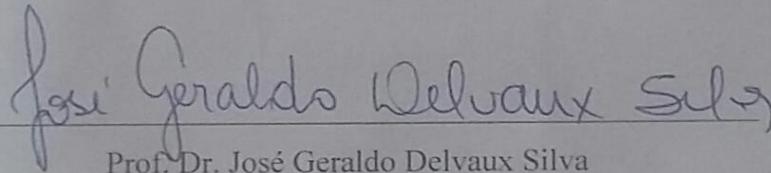
RANGEL COELHO DOS SANTOS

LODO DE ESGOTO, UMA DISPOSIÇÃO ECOLÓGICAMENTE CORRETA:
ESTUDO DE CASO.

Monografia apresentada como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Doutor José Geraldo Delvaux Silva.

Aprovada em 13 de novembro de 2017.

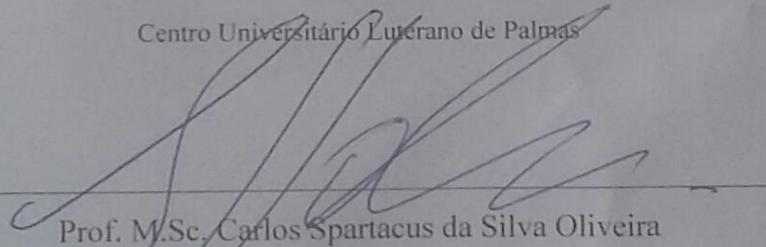
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Geraldo Delvaux Silva

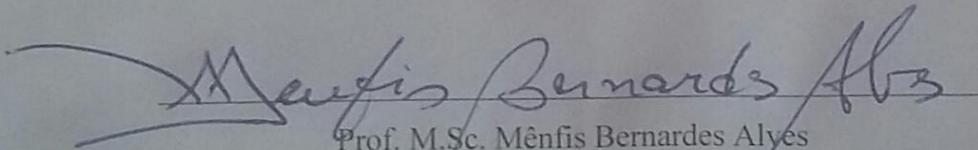
Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M.Sc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira

Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M.Sc. Mênfis Bernardes Alyes

Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas-TO
2017/2

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. José Geraldo Delvaux, orientador deste trabalho, pela ideia inicial, incentivo, auxílio às atividades, dedicação e apoio.

Agradeço ao Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA), pela excelência do ensino.

Agradeço aos meus companheiros de faculdade, grandes amigos que contribuíram com união e camaradagem ao longo da faculdade.

Agradeço especialmente ao meu pai por todo apoio dado e a minha mãe que mesmo não estando presente, me deu forças para continuar lutando até o fim.

Agradeço a toda minha família, por todo o apoio que me deram, por terem me ajudado emocionalmente e fisicamente, e por se fazerem presente ao meu lado da forma que puderam.

RESUMO

SANTOS, Rangel Coelho, **LODO DE ESGOTO, UMA DISPOSIÇÃO ECOLÓGICAMENTE CORRETA: ESTUDO DE CASO**. Trabalho de conclusão de curso. 2017/2. Curso de Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de Palmas. Palmas-TO. Professor Orientador Doutor José Geraldo Delvaux.

O ciclo do lodo é um dos maiores desafios enfrentados pelos projetistas da área de saneamento, desde a sua geração, passando pelo tratamento, armazenamento e transporte até a disposição final. O lodo deve ser levado em consideração no projeto de uma estação de tratamento de esgoto. Este que quando utilizado de forma útil é conhecido como biossólido, é responsável por graves problemas ambientais, sanitários e econômicos. A gestão desse biossólido é uma necessidade para a estação de tratamento de esgoto, no intuito de aliar, o fornecimento de bens e serviços sustentáveis e satisfazer as necessidades humanas, promovendo a redução de impactos ambientais e de consumo de recursos naturais. É necessário o desenvolvimento de alternativas seguras e factíveis para que este produto não venha a ser um novo problema ambiental, mas sim que se obtenha vantagens ambientais de sua disposição. As alternativas mais usuais para o aproveitamento ou disposição final do lodo de esgoto são: disposição em aterro sanitário; reuso industrial; incineração; recuperação de solos; "landfarming" e uso agrícola e florestal. Este trabalho tem a finalidade de abordar formas de disposição final do lodo de esgoto, apresentar as características químicas do lodo, quantificar a contribuição de nutrientes do lodo da ETE Vila União, em um solo de uma área experimental no município de Palmas. O lodo gerado na ETE Vila União, mostrou-se que a quantidade de metal no lodo é abaixo do limite estabelecido pela CETESB. O cálculo da quantidade de nutrientes para ser aplicado em um Latossolo Vermelho Amarelo resultou no valor de 4,83 t/ha de lodo de esgoto. Já na utilização para fabricação do bloco cerâmico, as análises feitas mostraram que os blocos tiveram melhores resultados com a adição de até 10% de lodo seco. E mesmo assim influenciam na resistência final do mesmo.

Palavras-chave: Disposição final, Lodo, Esgoto, Metal pesado.

ABSTRACT

SANTOS, Rangel Coelho, **ESGOTO LODGE, AN ECOLOGICALLY CORRECT DISPOSAL: CASE STUDY**. Completion of course work. 2017/2. Course of Civil Engineering. Lutheran University Center of Palmas. Palmas-TO. Advisor Professor Dr. José Geraldo Delvaux.

The sludge cycle is one of the major challenges faced by sanitation designers, from their generation, through treatment, storage and transportation to final disposal. Sludge should be taken into account in the design of a sewage treatment plant. This which when used in a useful way is known as biosolid, is responsible for serious environmental, sanitary and economic problems. The management of this biosolid is a necessity for the sewage treatment plant, in order to ally, supply sustainable goods and services and meet human needs, promoting the reduction of environmental impacts and consumption of natural resources. It is necessary to develop safe and feasible alternatives so that this product does not become a new environmental problem, but rather obtain environmental advantages from its disposal. The most usual alternatives for the sewage sludge use or disposal are: landfill disposal; industrial reuse; incineration; soil recovery; landfarming and agricultural and forestry use. The purpose of this study was to study the final disposal of sewage sludge, to present the chemical characteristics of the sludge, and to quantify the nutrient contribution of the sludge from Vila União ETE in a soil in an experimental area in the municipality of Palmas. The sludge generated in Vila União ETE showed that the amount of metal in the sludge is below the limit established by CETESB. The calculation of the amount of nutrients to be applied in a Red Yellow Latosol resulted in the value of 4.83 t / ha of sewage sludge. In the use for the manufacture of the ceramic block, the analyzes showed that the blocks had better results with the addition of up to 10% of dry sludge. And yet they influence the final resistance of the same.

Keywords: Final Disposal, Sludge, Sewage, Heavy Metal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquemática do percurso do esgoto (site.sabesp.com.br).	21
Figura 2 - Distribuição aproximada dos sólidos do esgoto bruto (em concentração). Fonte: adaptado de Von Sperling (1996).	25
Figura 3 – Resumo do Tratamento de Esgoto (Site:sabesp.com.br).	31
Figura 4 – Principais processos de estabilização de lodos (Site:sabesp.com.br).	34
Figura 5 – Esquema de um aterro sanitário (Site:caroldaemon.blogspot.com.br).	40
Figura 6 - Localização da ETE (Google Eart, 2017 online).	44
Figura 7 - Ilustração forno micro-ondas Digestor MARS. (Site:labexata.com.br)	46
Figura 8 - Ilustração do espectrômetro utilizado para quantificação de metais. (Site:labexata.com.br).....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Utilização típica dos principais métodos de adensamento do lodo.	32
Tabela 2 - Principais Alternativas de Disposição Final do Lodo.	37
Tabela 3 - Concentrações limites de metais no lodo.	47
Tabela 4 - Cargas cumulativas máximas permissíveis de metais pela aplicação de lodo em solos agrícolas.....	48
Tabela 5 - Proporções de Lodo a serem analisadas	49
Tabela 6 - Concentração dos principais nutrientes gerados pela ETE Norte.	53
Tabela 7 - Concentração dos metais pesados gerado pela ETE Norte.	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA	-	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	-	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	-	Demanda Química de Oxigênio
FUNASA	-	Fundação Nacional de Saúde
ETE	-	Estação de Tratamento de Esgoto
NBR	-	Norma Brasileira
OD	-	Oxigênio Dissolvido

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

Ag	- Prata
As	- Arsênio
B	- Boro
Ca	- Cálcio
Cd	- Cádmio
Co	- Cobalto
Cl	- Cloro
Cr	- Crômio
Cu	- Cobre
F	- Flúor
ha	- Hectare
Hg	- Mercúrio
HNO ₃	- Ácido Nítrico
K	- Potássio
Mg	- Magnésio
Mn	- Manganês
Mo	- Molibdênio
N	- Nitrogênio
Na	- Sódio
Ni	- Níquel
P	- Fósforo
Pb	- Chumbo
pH	- Potencial Hidrogeniônico
S	- Enxofre
Sb	- Antimônio
Se	- Selênio
Si	- Silício
t	- Tonelada
Zn	- Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Problema.....	15
1.2. Hipótese.....	16
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo Geral	17
1.3.2. Objetivos Específicos	17
1.4. Justificativa.....	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1. Esgoto sanitário	19
2.2. Tratamento do esgoto sanitário	20
2.2.1. Tratamento preliminar	22
2.2.2. Tratamento primário	23
2.2.3. Tratamento secundário	23
2.2.4. Tratamento terciário	24
2.3. Características do esgoto.....	24
2.3.1. Características físicas	26
2.3.2. Características químicas	26
2.3.3. Características biológicas	26
2.4. Tipos de sólidos gerados no tratamento de esgoto.....	26
2.5. Lodo de esgoto	28
2.5.1. Geração do lodo de esgoto	29
2.5.2. Principais contaminantes do lodo	30
2.5.3. Etapas do tratamento do lodo	30
2.5.3.1. Adensamento	32
2.5.3.2. Estabilização	33
2.5.3.3. Condicionamento	34
2.5.3.4. Desaguamento ou desidratação	34
2.5.3.5. Higienização	35
2.6. Legislação aplicada ao uso agrícola do lodo de esgoto.....	36
2.7. Alternativas de disposição final do lodo de esgoto	37
2.7.1. Incineração	38
2.7.2. Landfarming	39

2.7.3. Aterro sanitário	39
2.7.4. Utilização na agricultura	40
2.7.4.1. Recuperação de áreas degradadas	41
2.7.4.2. Reciclagem agrícola	42
2.7.5. Indústria Cerâmica	43
3. METODOLOGIA	44
3.1. Coleta e preparo das amostra	45
3.1.1. Coleta	45
3.1.2. Preparo das amostras	45
3.2. Análise de metais pesados	45
3.3. Determinações de nutrientes (N, P, K)	45
3.4. Análise de substâncias inorgânicas	46
3.5. Lodo a ser incorporado no solo	47
3.5.1. Quanto a composição do lodo	47
3.5.2. Taxa de aplicação em função dos nutrientes disponível	48
3.5.3. Taxa de aplicação em função de outros nutrientes	48
3.5.4. Limites de acumulação de metais no solo	48
3.6. Possível aproveitamento do lodo da ETE em blocos cerâmicos	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Disposição final do lodo	51
4.1.1 Reciclagem agrícola	51
4.1.3 Indústria Cerâmica	52
4.2 Aplicação do lodo da ETE-Vila União em um latossolo vermelho	53
4.2.1 Taxa de lodo a ser aplicada com base nos macronutrientes (N, P, K)	53
4.2.2 Metais pesados	55
5. CONCLUSÃO	57
6. REFERÊNCIAS	59

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional aliado à urbanização de forma desordenada e sem a preocupação com o ambiente urbano e o desenvolvimento econômico são causas incontestáveis no crescimento na produção de resíduos. No Brasil a gestão dos resíduos gerados apresenta dificuldades quanto à disposição deste material, coleta informal e insuficiência do sistema de coleta pública. O lodo de esgoto refere-se a um produto inevitável do tratamento de águas residuárias, sendo que sua disposição de forma inadequada é um problema que acomete várias partes do mundo.

O aumento da procura pela sociedade por melhores condições do ambiente tem solicitado das empresas a definição de políticas ambientais mais avançadas, que geralmente se iniciam pelo tratamento de efluentes líquidos. Esse tratamento gera um resíduo sólido, rico em matéria orgânica e nutriente, denominado lodo de esgoto. A falha no planejamento e o descontrole na ocupação dos espaços, muitas vezes ligadas a aspectos econômicos, causam efeitos negativos principalmente nos processos relacionados a saneamento básico, como o abastecimento e fornecimento de água, limpeza urbana em geral e o tratamento e transporte de esgoto.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2014), no Brasil, em média 60% dos esgotos não são tratados, onde apenas 48,6% da população têm acesso à coleta de esgoto, por consequência mais de 100 milhões de brasileiros não tem acesso a este serviço. Entretanto, cerca de 3,5 milhões de brasileiros, nas 100 maiores cidades do país, despejam esgoto irregularmente, mesmo tendo redes coletoras disponíveis. Em termos de volume, as capitais brasileiras lançam em torno de 1,2 bilhão de metro cúbico de esgoto na natureza durante um ano.

A disposição adequada dos esgotos é essencial para assegurar a saúde pública e preservar o meio ambiente. Diversas são as consequências que o mau gerenciamento do esgoto pode ocasionar, dentre elas, destaca-se: a veiculação de doenças, assoreamento, desequilíbrios ecológicos, elevação do custo sobre o tratamento de água, entre outros. A solução encontrada nos dias de hoje, é a implantação de uma estação de tratamento de esgoto (ETE), que tem como principal objetivo remover os poluentes residentes nas águas sem afetar sua qualidade. Segundo Campos (1999, p. 6), de modo geral, os esgotos sanitários são compostos de 98% de água, e a outra parcela corresponde aos sólidos, sendo que, a maior parte destes sólidos se transforma em lodo. Apesar da quantidade de lodo gerada por uma ETE parecer irrisória (1 a 2 % do volume), o gerenciamento é extremamente complexo e corresponde a um custo em torno de 20 a 60% do

total gasto com a operação da ETE (VON SPERLING, 2001 p. 14). Esse lodo de esgoto gerado é um desafio para o saneamento, principalmente das grandes cidades, já que necessita de tratamento específico e de aterros adequados para o seu descarte.

O gerenciamento do lodo de esgoto proveniente das estações de tratamento é uma atividade de grande complexidade e alto custo que, se for mal executada, pode comprometer os benefícios ambientais e sanitários esperados destes sistemas (LUDUVICE, 2001).

Diante dessa problemática e da crescente necessidade da sociedade para manter e melhorar as condições ambientais é inevitável que sejam tomadas providências cabíveis em relação ao destino desses resíduos.

Assim, o presente trabalho consiste em caracterizar o lodo de esgoto visando à utilização na agricultura, possibilitando rotas alternativas para seu destino final, que não seja o aterro sanitário, visto que esta prática estará comprometida de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

1.1. Problema

O lodo coletado da Estação de Tratamento de Esgoto da Vila União, Palmas-TO poderá ser reaproveitado na cultura de forragens sem causar danos e contaminação ao ambiente ou utilizado na indústria cerâmica na fabricação de blocos de alvenaria?

Muitas vezes o resíduo gerado por esta estação de tratamento de efluente (ETE) é descartado de forma que degrade o meio ambiente e colocando em risco a saúde pública, esse resíduo é um lodo rico em matéria orgânica e nutrientes, portanto havendo uma necessidade de uma adequação final deste material, e assim essa prática seja monitorada para que seja avaliado o teor de nutrientes lançados no solo, assim como a possível presença de patógenos no material.

Sendo assim a incorporação desse material para a revitalização de uma praça, jardim, ou até mesmo na agricultura, contribui de forma eficaz, e traz resultados satisfatórios aos solos que receberão o paisagismo e também um retorno econômico positivo nas lavouras. Conseqüentemente eliminará uma grande preocupação dos responsáveis pela destinação deste lodo que é gerado.

1.2. Hipótese

A utilização do lodo de estação de tratamento de esgoto é ambientalmente correto e economicamente viável, uma vez que é constituído de nutrientes que poderão ser utilizado pelas plantas e assim minimizando o consumo de fertilizantes químicos que são de elevado custo.

Através desse reuso também são melhoradas as condições físicas do solo, visto que na composição do lodo são encontrados teores relativamente altos de matéria orgânica.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Apresentar um estudo de caso e propor uma alternativa de disposição do lodo gerado por uma estação de tratamento de esgoto, apresentando alternativas que minimizem os problemas causados a comunidade e ao meio ambiente.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Estudar os conceitos sobre lodo gerado por uma ETE e sua destinação final;
- Apresentar as características químicas do lodo;
- Quantificar os nutrientes e metais pesados do lodo da ETE Norte em Palmas TO;
- Analisar a possibilidade da aplicação do lodo em um determinado solo de Cerrado em Palmas-TO;
- Analisar possíveis destinação do lodo na indústria cerâmica.

1.4. Justificativa

O aumento significativo de esgoto não tratado é cada vez mais frequente na zona urbana em todo o Brasil, esse processo ocorre em virtude do crescimento desordenado das cidades e da falha no planejamento por parte dos gestores públicos. Para minimizar esses efeitos os profissionais que atuam no setor de saneamento geralmente propõem medidas como tratamento e gerenciamento eficaz dos efluentes. Como uma possível solução para uma destinação mais sustentável a esta matéria orgânica gerada a partir do tratamento de esgoto, a utilização na agricultura é uma das soluções a ser adotada. O lodo de esgoto, além de melhorar a produção agrícola, ainda tem o potencial de recuperar áreas degradadas de solo, que estejam sofrendo de erosão e outros problemas similares.

Uma das destinações finais é o uso deste resíduo para a recuperação de solos para o desenvolvimento das atividades agrícolas, considerando que o lodo é rico em matéria orgânica. Pois o tratamento de forma controlada e a disposição final de resíduos gerado por uma estação de tratamento de efluente (ETE) diminui o impacto ambiental provocado e garante uma sustentabilidade com a sua reutilização em outras atividades, como por exemplo, reuso industrial (inserido no processo produtivo de agregados leves, cimento Portland e produtos de cerâmica vermelha) e reciclagem agrícola (recuperação de solos com possibilidades de retorno econômico positivo para a atividade agrícola). Neste caso, o trabalho em questão dará ênfase na aplicação do lodo gerado por uma ETE em um determinado solo da região de Palmas-TO.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Esgoto sanitário

Esgoto é o conjunto de todos os resíduos líquidos provenientes de indústrias, hospitais e domicílios que necessitam de tratamento adequado para que sejam removidas suas impurezas e assim possam ser devolvidos à natureza sem causar danos ambientais e à saúde humana (FARIA, 2009).

A maior parte da água tratada que abastece uma residência voltará deste imóvel na forma de esgoto. O esgoto é uma mistura de água e matéria orgânica (fezes, urina e água do serviço doméstico), 99,9 % do volume do esgoto pode ser água e 0,1% ou mais, pode ser de matéria orgânica e o objetivo principal do tratamento de esgoto é desfazer essa mistura (NUVOLARI, 2011; VON SPERLING, 2005).

Nas áreas urbanas as principais fontes de poluição das águas são os esgotos, que quase sempre são lançados diretamente nos rios e lagos. Colaborando com a degradação intensa dos corpos hídricos, os esgotos de diversas cidades brasileiras vêm sendo tratados em estações de tratamento de esgoto (ETEs), que atuam com diferentes sistemas tecnológicos. Nestes sistemas de tratamento de águas residuárias, a água retorna aos mananciais com bom grau de pureza. Contudo, ocorre a geração de um resíduo semissólido, pastoso e de natureza predominantemente orgânica, denominado de lodo de esgoto (ANDRADE, 1999). A destinação deste lodo residual que é gerado nas ETEs é um grande problema ambiental para as empresas de saneamento, tanto públicas como privadas. De acordo com a definição da norma brasileira (NBR-9648, ABNT 1986), o esgoto sanitário é o "despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária".

Conforme a FUNASA (2007), existem quatro tipos de esgotos:

- Esgotos domésticos: incluem as águas contendo matéria fecal e as águas servidas, resultantes de banho e de lavagem de utensílios e roupas;
- Esgotos industriais: compreendem os resíduos orgânicos, de indústria de alimentos, matadouros; As águas residuárias agressivas, procedentes de indústrias de metais; As águas residuárias procedentes de indústrias de cerâmica, água de refrigeração, etc;
- Águas pluviais: são as águas oriundas das chuvas;
- Água de infiltração: são as águas do subsolo que se introduzem na rede.

No âmbito de qualificar esses resíduos para que possam ser inseridos novamente no meio ambiente de maneira não agressiva e degradante os esgotos passam por um processo de tratamento. O que ocorre é a captação e destinação desse esgoto para estações de tratamento, onde ocorre um processo de desinfecção ao qual posteriormente permite e dá condições de retornarem aos corpos hídricos receptores em características aceitáveis de pureza e que não agredirá o meio ambiente de maneira degradativa.

2.2. Tratamento do esgoto sanitário

O tratamento de esgoto é uma medida de saneamento básico que tem por objetivo acelerar o processo de purificação da água poluída antes de ser despejada no meio ambiente ou até mesmo reutilizada. A origem dessa água poluída se dá através da rede de esgoto onde são coletadas de residências, comércios e indústrias. As unidades de tratamento são conhecidas como ETE (Estação de Tratamento de Esgoto), onde a água suja passa por vários tipos de tratamentos.

De maneira geral, a produção de esgoto corresponde aproximadamente ao consumo de água. No entanto, a fração de esgoto que adentra a rede coletora pode variar devido a vários fatores como ligações clandestinas na rede de esgoto e infiltração (NUVOLARI, 2011; VON SPERLING, 2005).

No Brasil, a falta de planejamento e competência dos órgãos responsáveis, na maioria das vezes por parte das autoridades públicas, favorece diretamente para o crescimento urbano desordenado em todo o país. Conseqüentemente com o aumento populacional descontrolado, faz com que as principais grandes áreas da Engenharia Civil (construção urbana, estruturas e fundações, infraestrutura, geotecnia, hidráulica e recursos hídricos, saneamento e transportes) sejam afetadas. Dentre estas, o setor de saneamento é um dos que mais enfrenta dificuldade diante desse cenário.

De acordo com Campos (1999), de todo esgoto gerado pela população brasileira, apenas 10% é submetido às ETEs, isto significa que a maior parte do esgoto gerado pela população não tem tratamento, disposição adequada e uma destinação final correta. Da fração sujeita à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), há ainda uma parcela onde não é realizado o gerenciamento dos resíduos gerados no processo de tratamento, bem como, outros itens imprescindíveis para a garantia de efeitos benéficos no âmbito social, ambiental, político e econômico.

Existem vários métodos de Tratamento de Esgoto Sanitário e a escolha do processo ideal baseia-se principalmente no nível de eficiência na qual deseja-se a qualidade do efluente final,

na área disponível para sua implantação do sistema, no custo e na dificuldade de implantação e operação de cada processo, nas condicionantes ambientais relativas à locação da unidade, na produção e disposição final do resíduo sólido que é o lodo de esgoto.

Todo o esgoto gerado por uma cidade percorre todo um trajeto até chegar nas Estações de Tratamento de Esgoto, para que posteriormente essas águas residuárias possam retornar ao sistema hídrico local. A imagem a seguir a Figura 1, ilustra exatamente a esquematização de um exemplo do percurso do esgoto gerado por uma cidade até a ETE.

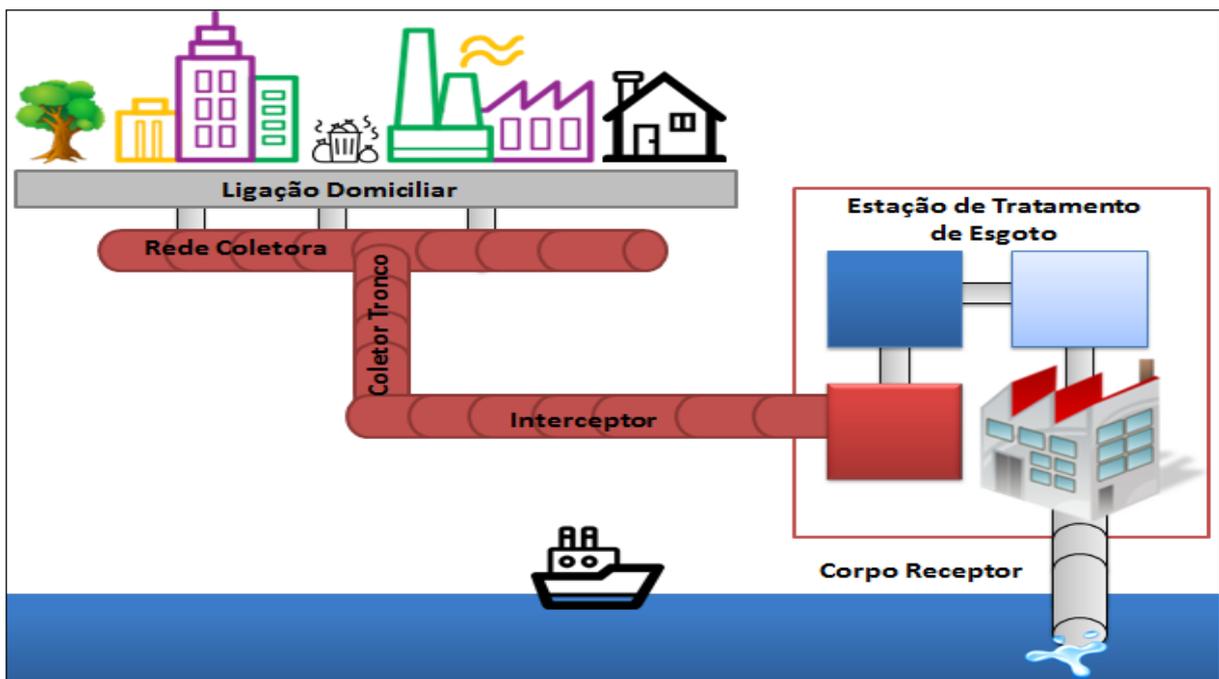


Figura 1 – Esquematização do percurso do esgoto (site.sabesp.com.br).

De acordo com a Figura 1, as casas, edifícios comerciais e residenciais e as indústrias que compõem uma cidade, são as principais fontes geradoras de esgoto. Estas edificações distribuem suas águas residuais por meio de ligações hidráulicas, normalmente de tubos de cloreto de polivinila (PVC), na qual, estas formam as redes coletoras. Estas redes são conectadas aos coletores-tronco (canalização de maior diâmetro, que atende as contribuições de vários coletores de esgoto, conduzindo-os a um interceptor), que recebem os esgotos de diversas redes coletoras. Dos coletores-tronco, os esgotos vão para os interceptores, que são tubulações maiores, normalmente próximas aos rios. De lá, o destino será uma Estação de Tratamento, que tem a missão de devolver a água, em boas condições, ao meio ambiente, ou reutilizá-la para fins não potáveis (SABESP, 2017, online).

As águas residuárias tratadas de forma incorreta pode afetar diretamente na qualidade das águas dos corpos hídricos, comprometer a saúde dos seres humanos e causar danos ao meio ambiente.

Conforme afirma Nuvolari (2011), o tratamento do esgoto visa à prevenção, o controle e a erradicação de doenças de veiculação hídrica, além de favorecer a melhoria da qualidade de vida da população, através da eliminação de odores e de fatores que prejudicam o aspecto visual e a estética das águas naturais.

O método de tratamento dos esgotos é formado por uma série de operações unitárias que são empregadas para a remoção de substâncias indesejáveis, ou para a transformação destas substâncias em outras de forma aceitável (JORDÃO; PESSOA, 2005). Segundo Von Sperling (2005), ele é classificado através dos níveis preliminar, primário, secundário e eventualmente terciário.

2.2.1. Tratamento preliminar

Remoção dos materiais sólidos e da areia para proteger as demais unidades de tratamento na sequência, os dispositivos de transporte como as bombas e tubulações e os corpos receptores. A remoção da areia previne, ainda, o desgaste nos equipamentos e tubulações e facilita o transporte dos líquidos. É feita com o uso de grades que impedem a passagem de pedaços madeiras, papéis, plásticos, etc; caixas de areia, para a retenção e retirada deste material; e os tanques de flutuação para remoção de graxas e óleos em casos de esgoto industrial.

Von Sperling (1996) define este tratamento como sendo a remoção da areia, ou seja, a sedimentação de partículas inorgânicas de maiores dimensões. Destina-se à preparação das águas de esgoto para uma disposição ou tratamento subsequente. As unidades preliminares podem compreender (MARÇAL, 2004):

- Grades ou desintegradores;
- Caixas de areia ou desarenadores;
- Tanques de remoção de óleos e graxas;
- Aeração preliminar;
- Tratamento dos gases.

2.2.2. Tratamento primário

Nessa etapa os esgotos ainda contém diversos tipos de sólidos em suspensão não grosseiros cuja a retirada deste material pode ser feita em unidades de sedimentação, reduzindo a matéria orgânica contida neste efluente. Os sólidos sedimentáveis e flutuantes são retirados através de mecanismos físicos. Os esgotos fluem vagarosamente, permitindo que os sólidos em suspensão de maior densidade sedimentem gradativamente no fundo dos tanques, formando o lodo primário bruto. Os materiais como óleos e graxas, por terem menor densidade, flutuam e são removidos na superfície.

Este tratamento é definido por Campos (1999) como a remoção de sólidos grosseiros, por meio de grades, geralmente, e a sedimentação ou flotação de materiais constituídos principalmente de partículas em suspensão. Já na visão de Von Sperling (1996), pode ser definido como sendo a decantação primária, ou seja, sedimentação dos sólidos em suspensão do esgoto bruto, que por sua vez podem ser feito por meio de tanques convencionais, com remoção frequente de lodo e fossas sépticas.

Além das operações preliminares podem-se incluir (MARÇAL, 2004):

- Decantação primária;
- Precipitação química;
- Digestão dos lodos;
- Disposição sobre o terreno, incineração ou afastamento dos lodos resultantes;
- Desinfecção;
- Filtros grosseiros.

2.2.3. Tratamento secundário

Nesta parte do tratamento, faz-se a remoção de sólidos e de matéria orgânica não sedimentável e, provavelmente, nutrientes como nitrogênio e fósforo. Após as fases primária e secundária a eliminação de DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) deve atingir 90%. É a etapa de retirada biológica dos poluentes e sua eficiência permite produzir um efluente em conformidade com o padrão de lançamento previsto na legislação ambiental. Basicamente, são reproduzidos os fenômenos naturais de estabilização da matéria orgânica que ocorrem no corpo receptor, sendo que a diferença está na maior velocidade do processo, na necessidade de utilização de uma área menor e na evolução do tratamento em condições controladas.

Campos (1999) descreve este tratamento como sendo a degradação biológica de compostos carbonáceos. Quando é feita essa degradação, naturalmente ocorre a decomposição

de carboidratos, óleos e graxas. Esta Decantação final (remoção dos sólidos biológicos), pode ser feita por meio de decantadores secundários nos sistema de lodos ativados, decantadores finais nos sistemas de filtros biológicos, decantadores finais nos sistemas de reatores anaeróbios de manta de lodo e lagoas de sedimentação (VON SPERLING 1996). De forma resumida o efluente passa pelo filtro biológico onde ocorre o tratamento secundário. São aqueles que apresentam tratamento biológico (MARÇAL, 2004):

- Filtração biológica aeróbia;
- Filtração biológica anaeróbia;
- Lodos ativados;
- Reatores anaeróbios.

2.2.4. Tratamento terciário

Consiste na remoção de poluentes tóxicos ou não biodegradáveis ou eliminação adicional de poluentes não degradados na fase secundária.

Para Campos (1999), o tratamento terciário visa reduzir os teores de nitrogênio e fósforo, para o lançamento final do esgoto no corpo receptor, assim sendo, minimizando o processo de eutrofização de corpos hídricos.

2.3. Características do esgoto

Os esgotos são classificados em dois grupos principais: os esgotos sanitários e os industriais. Os primeiros são constituídos essencialmente de despejos domésticos, uma parcela de águas pluviais, águas de infiltração, e eventualmente uma parcela não significativa de despejos industriais, tendo características bem definidas.

Segundo Von Sperling (2005) no tratamento preliminar os principais parâmetros relativos a esgotos predominantemente domésticos a merecerem destaque especial em face de sua importância são: sólidos; indicadores de matéria orgânica; nitrogênio; fósforo e indicadores de contaminação fecal.

Os sólidos são todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, e podem ser classificadas de acordo com seu tamanho, suas características químicas e sua decantabilidade. Na classificação por tamanho, os sólidos podem apresentar-se como em suspensão (particulados) e dissolvidos (solúveis). Em relação às características químicas, os sólidos são submetidos a uma temperatura elevada, oxidando a fração orgânica (volatilizada), permanecendo após a combustão apenas a fração inerte a não oxidada. Determina-se, assim, os

sólidos voláteis que é a matéria orgânica e os sólidos fixos que é a matéria inorgânica. Já os sólidos sedimentáveis são capazes de sedimentar no período de 1 hora, e a fração que não se sedimentar representa os sólidos não sedimentáveis (VON SPERLING, 2001).

Campos (1999) descreve que, de modo geral, os esgotos sanitários são compostos de 98% de água, e dentro desta porção de água há contaminantes, dentre eles destacam-se: sólidos suspensos, compostos orgânicos (proteínas: 40% a 60%; carboidratos: 25% a 50% e óleos e graxas: 10%), nutrientes (nitrogênio e fósforo), metais, sólidos dissolvidos inorgânicos, sólidos inertes (não sofrem nenhuma alteração física ou química quando dispostos no solo ou na água).

A matéria orgânica presente nos esgotos é uma característica de primordial importância, sendo a causadora do principal problema de poluição para os corpos d'água: há consumo de oxigênio dissolvido pelos micro-organismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. As substâncias orgânicas presentes nos esgotos são constituídas principalmente por proteínas (40 a 60%), carboidratos (25 a 50%), gorduras e óleos (10%) e uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas (típicos de despejos industriais) etc. (JORDÃO E PESSOA, 1995).

A Figura 2 demonstra a disposição típica, entre os inúmeros tipos de sólidos presentes no esgoto bruto (VON SPERLING, 1996).

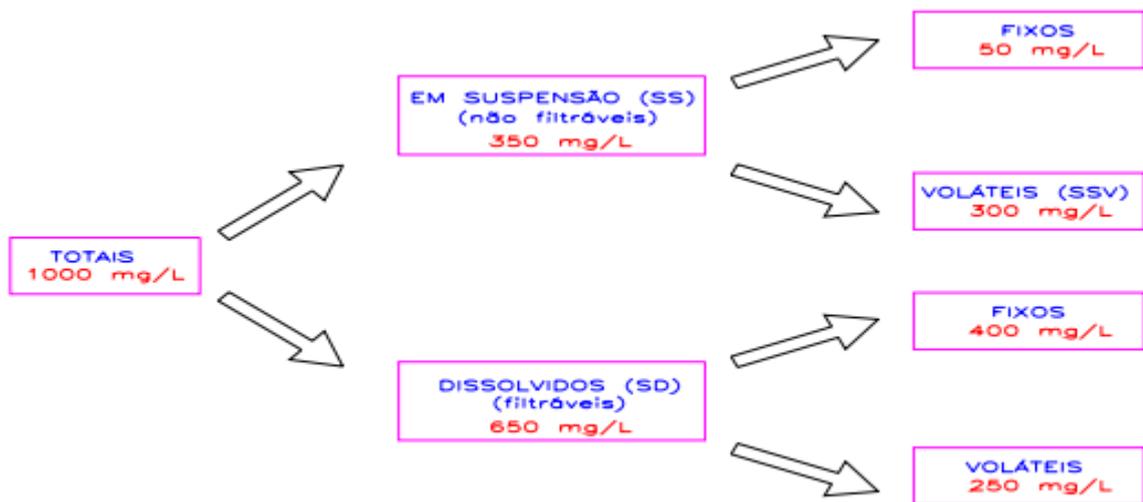


Figura 2 - Distribuição aproximada dos sólidos do esgoto bruto (em concentração). Fonte: adaptado de Von Sperling (1996).

Conforme Von Sperling (1996), no projeto de uma estação de tratamento de esgotos (ETE), normalmente não há o interesse em se determinar os diversos compostos dos quais a água residuária é constituída, devido a necessidade de análises que devem ser realizadas em

laboratório. Tornando assim, mais aconselhável a utilização de critérios indiretos que deduzam as características do poluidor em questão. Esses critérios são divididos em três classes: físicos, químicos e biológicos.

2.3.1. Características físicas

As principais características físicas que representam o estado em que se encontram águas residuárias são:

- Temperatura;
- Odores;
- Cor e turbidez;
- Variação de vazão.

2.3.2. Características químicas

Jordão e Pessoa (1995) afirmam que os esgotos podem ser classificados em dois grandes grupos, que são eles:

- Matéria orgânica;
- Matéria inorgânica.

2.3.3. Características biológicas

Segundo a FUNASA (2004), as principais características biológicas do esgoto são:

- Microrganismos;
- Indicadores de poluição.

2.4. Tipos de sólidos gerados no tratamento de esgoto

Embora o lodo biológico normalmente seja o maior e mais importante componente, outros tipos de sólidos são retidos em diferentes operações nos sistemas de tratamento. Estes sólidos se compõem dos seguintes tipos (SOBRINHO, 2006):

- Material gradeado ou sólidos grosseiros. Consiste no material que não deveria estar na água residuária, mas foi colocado por imperícia ou negligência. O material deve ser retido no tratamento preliminar de gradeamento, de modo a não provocar danos nos equipamentos mecânicos de bombeamento e pontes giratórias de decantadores, obstruções em tubulações, etc. Normalmente a disposição final do material gradeado é

o aterro sanitário. No caso de esgoto bruto pode-se esperar em torno de 30 a 90 L de sólidos grosseiros por 1000 m por 1000 m³ de esgoto;

- Sólidos inorgânicos como areia e silte. Este material é removido aproveitando-se a diferença de densidade (areia 2,65 kg/L, orgânicos 1 a 1,1 kg/m³), o que permite a separação por sedimentação simples em uma caixa de areia ou usando um ciclone. A sua remoção se torna importante por duas razões: (1) se a areia for acumulada no sistema de tratamento, o assoreamento poderá, rapidamente, provocar sérios problemas operacionais e eventualmente inviabilizar seu funcionamento. E (2) o material é extremamente abrasivo, sendo necessário a sua remoção de modo a não provocar desgastes nos equipamentos mecânicos. Normalmente, a disposição final de aterro é feita em aterro sanitário. Em esgoto bruto espera-se na faixa de 20 a 60 L de areia por 1000m³, dependendo de vários fatores, entre eles a qualidade de rede de esgoto (introdução de água pluvial com arraste de sólidos das ruas);
- Material flutuante ou espuma, que se compõe de materiais com densidade menor que a água como óleos, graxas, plásticos, papel, resíduos de alimentos, etc. Este material é retirado através de raspagem superficial dos decantadores e da superfície de câmaras de gás de reatores anaeróbicos e é encaminhado por bombas para bombas outros métodos de tratamento ou disposição como aterro sanitário, digestor anaeróbico, etc. A quantidade de material flutuante é pequena (3 a 12 kg/1.000 m³ de esgoto), mas pode ter um efeito negativo sobre o funcionamento de processos biológicos, notadamente a digestão anaeróbia;
- Lodo, termo utilizado para designar os sólidos gerados durante o processo de tratamento de esgoto. Distingue-se, lodo primário (material sedimentável no esgoto bruto gerado nos processos de tratamento primário e lodo secundário, produzido nos sistemas de lodo biológico. Estes materiais têm alto teor de material orgânico, nitrogênio e fósforo e, a princípio, podem ser utilizados como fertilizantes na agricultura após tratamento adequado. Nas próximas seções se mostra que a massa de lodo volátil (a fração orgânica do lodo) produzida é em torno de 0,1 a 0,3 (sistemas aeróbios) kg de lodo por kg de DQO em esgoto bruto. A fração inorgânica produzida de lodo (sólidos fixos) é na faixa de 0,05 kg de lodo por kg de DQO aplicada no caso de esgoto bruto.

O lodo primário e secundário são os principais e mais problemáticos subprodutos gerados nas estações de tratamento de esgoto. Devido ao seu grande volume de produção, difícil

tratamento e disposição final, o lodo de esgoto constitui em um complexo problema enfrentado pela Engenharia Sanitária (DUARTE, 2008).

2.5. Lodo de esgoto

Toda ETE tem como um de seus resultados, após o tratamento do esgoto, a água tratada, mas também é gerado um grande volume de Lodo. O gerenciamento deste sólido proveniente do processo é uma etapa bastante complexa, pois envolve principalmente a parte financeira, ambiental e sanitária. Spellman (1997) apud Vesilind (1980), aponta que o gerenciamento do lodo gerado por uma ETE representa, aproximadamente, 40% dos custos de implantação, 50% dos custos de operação e 90% dos problemas operacionais. Porém estas estatísticas apresentadas pelo autor (Vesilind 1980) foram levantadas há mais de 3 décadas, isto significa que estes dados possam ter sofrido uma alteração bastante significativa, tendo em vista que as fiscalização e exigências intensificaram conforme as mudanças nas leis e normativas.

Os lodos gerados nos decantadores das ETEs são resultados dos processos e operação de coagulação/floculação e sedimentação das partículas presentes na água bruta. Essas partículas sofrem ação de reações químicas e operação física de formação de flocos que se tornam propícios para a operação de sedimentação ou de flotação. O material removido da água bruta é retido em tanques por um certo tempo e disposto, quase sempre, em cursos d'água.

De modo geral, os lodos são produtos resultantes da coagulação dos constituintes orgânicos e inorgânicos, dissolvidos e suspensos na água bruta, com composição físico-química similar a dos produtos utilizados no processo, principalmente na fase de coagulação, correção de pH e abrandamento para remoção da dureza. No entanto, um dos maiores problemas é o desconhecimento das características dos sólidos presentes no lodo

Von Sperling (2001) define Lodo como sendo um subproduto sólido do tratamento de esgoto, nos processos biológicos é denominado de biossólido. Andreoli (2006) utiliza o termo "lodo" para designar os sólidos gerados durante o processo de tratamento de esgoto.

Usualmente, o tratamento do lodo, após a sua geração, inclui uma ou mais das seguintes etapas: adensamento, estabilização, condicionamento, desidratação e disposição final.

A presente seção abordará conceitos referentes à geração de lodo, bem como suas características, os tipos de tratamentos, a legislação para destinação do lodo e, por fim, as possibilidades de destinação.

2.5.1. Geração do lodo de esgoto

Segundo Andreoli (2006), o lodo biológico normalmente representa o maior e mais importante componente, porém os outros tipos de lodos são retidos em diferentes operações nos sistemas de tratamentos. Estes lodos de acordo com Von Sperling (2001) se compõem dos seguintes tipos:

- Lodo Primário: é gerado a partir dos tanques sépticos e decantadores primários. Os sólidos removidos por sedimentação nos decantadores primários constituem o lodo primário. Normalmente este lodo exala um forte odor, principalmente se ficar armazenado por muito tempo nos decantadores primários. Lodo primário removido em tanques sépticos permanece um tempo elevado o suficiente para apresentar suas digestões anaeróbias, em condições controladas (tanques fechados).
- Lodo biológico aeróbio (não estabilizado): originado dos lodos ativados convencionalmente e reatores aeróbios. Este lodo compreende a biomassa de microrganismos aeróbios gerados à custa da remoção da matéria orgânica (alimentos) dos esgotos.
- Lodo biológico aeróbio (estabilizado): origem – lodos ativados (aeração prolongada) e reatores aeróbios com biofilmes. Este lodo biológico é também constituído por microrganismos aeróbios que crescem e se multiplicam por meio da matéria orgânica dos esgotos brutos. No entanto, nos sistemas de baixa carga, a disponibilidade de alimento é menor, fazendo com que a biomassa fique mais tempo no sistema. Este lodo não requer uma etapa de digestão posterior, diferente do não estabilizado que necessita de uma etapa separada, posterior, de digestão.
- Lodo biológico anaeróbio: origem – lagoas de estabilização e reatores anaeróbios. Nos reatores anaeróbios e no lodo de fundo de lagoas de estabilização predominam condições anaeróbias. A biomassa também cresce e se multiplica à custa de matéria orgânica. Nestes processos de tratamento, usualmente a biomassa fica retida um longo prazo, a partir disto ocorre a digestão anaeróbia do próprio material celular. Já nas lagoas de estabilização, o lodo é constituído ainda de sólidos do esgoto bruto sedimentados, bem como de algas mortas. Este lodo não requer uma etapa de digestão posterior.
- Lodo químico: originado a partir de decantadores primários com precipitação química e lodos ativados com precipitação química de fósforo. Este lodo é usualmente resultante da precipitação química com sais metálicos ou com cal. A taxa de decomposição do lodo químico nos tanques é menor que a do lodo primário.

2.5.2. Principais contaminantes do lodo

Alguns componentes das águas residuárias, ao passarem pelo sistema de tratamento, concentram-se em proporções variáveis no lodo. Vários componentes orgânicos e minerais conferem características fertilizantes ao lodo. Da mesma forma, outros componentes, pelo seu risco sanitário e ambiental, são indesejáveis. Estes componentes podem ser classificados em:

- Metais pesados
- Poluentes orgânicos variados
- Microorganismos patogênicos

De acordo com Von Sperling (2001) a presença dessas substâncias no lodo é relativo, pois está diretamente ligada às características do esgoto bruto e do sistema de tratamento utilizado.

Alguns autores definem os metais pesados como elementos químicos cujos átomos apresentam como principal característica a capacidade de perder elétrons e formar, conseqüentemente, cátions. Estes elementos são encontrados naturalmente no solo em concentrações variáveis, porém são inferiores àquelas consideradas tóxicas para diferentes organismos vivos. Os principais elementos enquadrados neste conceito são: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, e Zn.

2.5.3. Etapas do tratamento do lodo

Von Sperling (2001), afirma que podemos resumir as etapas do tratamento e gerenciamento do lodo em seis:

- Adensamento ou espessamento: remoção de umidade (redução de volume);
- Estabilização: remoção da matéria orgânica (redução de sólidos voláteis);
- Desaguamento ou desidratação: remoção de umidade (redução de volume);
- Higienização: remoção de organismos patogênicos;
- Disposição final: destinação final dos subprodutos (foco do trabalho);

A Figura 3, mostra o resumo de como funciona cada etapa, onde posteriormente será aprofundado cada etapa do tratamento.



Figura 3 – Resumo do Tratamento de Esgoto (Site:sabesp.com.br).

Para se expressar as características, bem como para se calcular a produção de lodo em massa e em volume, torna-se essencial o entendimento de certas relações fundamentais. Von Sperling (2001) explica que a relação entre o teor de sólidos secos e de umidade em um lodo se dá da seguinte forma:

$$\text{Umidade (\%)} = 100 - \text{Sólidos secos (\%)}$$

Contextualizando a situação, um lodo com um teor de sólidos secos de 2,0% possui uma umidade de 98%, logo para cada 100 kg de lodo, 98 kg são de água e 2 kg são de sólidos. A umidade influencia nas propriedades mecânicas do lodo, isto significa que para cada tipo de umidade irá variar o manuseio e a disposição final do lodo. Diante estes fatos, temos as seguintes relações entre a umidade e as propriedades mecânicas:

- Umidade de 100% a 75%: lodo fluido;
- Umidade de 75% a 65%: torta semi-sólida;
- Umidade de 65% a 40%: sólido duro;
- Umidade de 40% a 15%: lodo em grânulos;
- Umidade de 15% a 0%: lodo desintegrado em pó fino.

Á água no lodo pode ser dividida em quatro classes distintas conforme a facilidade de separação (VON SPERLING, 2001 apud VAN HAANDEL 1994):

- Água livre: removida por gravidade (adensamento e/ou flotação);

- Água adsorvida: removida por força mecânica ou pelo uso de flocculante;
- Água capilar: mantém-se adsorvida à fase sólida por força capilar, diferenciando-se da água adsorvida pela necessidade de uma força maior para sua separação;
- Água celular: removida através de uma mudança no estado de agregação da água, ou seja, através do congelamento ou evaporação.

2.5.3.1. Adensamento

O adensamento é o mais utilizado nos métodos de tratamento primário, lodos ativados e filtros biológicos percoladores, tendo importantes implicações no dimensionamento e na operação dos digestores. Esta fase do tratamento implica na remoção de umidade (redução de volume), pois quando o lodo é gerado ainda possui uma grande quantidade de água. Logo este processo irá reduzir o volume de água por meios de processo físicos.

Os principais processos empregados para realizar o adensamento do lodo são (VON SPERLING, 2001):

- Adensadores por gravidade;
- Flotadores por ar dissolvido;
- Centrifugas

Outros processos mecanizados, utilizados para o desaguamento de lodos, podem ser também adaptados para a realização do adensamento. A Tabela 3 apresenta a utilização típica destes processos (VON SPERLING, 2001)

Tabela 1 – Utilização típica dos principais métodos de adensamento do lodo.

Método de adensamento	Tipo de lodo	Comentário
Gravidade	Primário	Frequentemente utilizado, com ótimos resultados.
	Lodo ativado	Utilização menos frequente, devido ao reduzido incremento no teor de sólidos.
	Lodo misto (lodo primário e lodo ativado)	Frequentemente utilizado.
	Lodo misto (lodo primário e lodo de reator aeróbio com biofilme)	Frequentemente utilizado

Flotação por ar dissolvido	Lodo misto (lodo primário e lodo ativado) Lodo ativado	Utilização menos frequente, já que os resultados são similares aos de adensadores por gravidade. Frequentemente utilizado, com resultados bem superiores aos do adensamento por gravidade.
Centrifugas	Lodo ativado	Utilização crescente
Prensa desaguadoras (filtro prensa de correias)	Lodo ativado	Utilização crescente.

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (1991) e Jordão e Pessôa (1995).

2.5.3.2. Estabilização

O lodo de esgotos em seu estado natural (lodo bruto) é rico em organismos patogênicos, facilmente putrescível e rapidamente desenvolve odores ofensivos. Os processos de estabilização foram desenvolvidos com o objetivo de estabilizar a fração biodegradável da matéria orgânica presente no lodo, reduzindo o risco de putrefação, bem como diminuir a concentração de patógenos.

O processo de Estabilização se resume na remoção de matéria orgânica (redução de sólidos voláteis). O lodo em seu estado natural é composto de diversos metais pesados, poluentes orgânicos variados e microrganismos patogênicos, além dos danos que estes componentes podem causar ao ser humano, eles também produzem odores, que por sua vez são também são ofensivos.

Os processos de estabilização são classificados em:

- Estabilização biológica: utiliza bactérias específicas para promover a estabilização da fração biodegradável da matéria orgânica;
- Estabilização química: a estabilização é atingida mediante a oxidação química da matéria orgânica;
- Estabilização térmica: obtida a partir da ação do calor sobre a fração volátil em recipientes hermeticamente fechados.

Von Sperling (2001) explica que este processo pode ser dividido em três sub-processos, conforme pode ser observado a seguir na Figura 4:

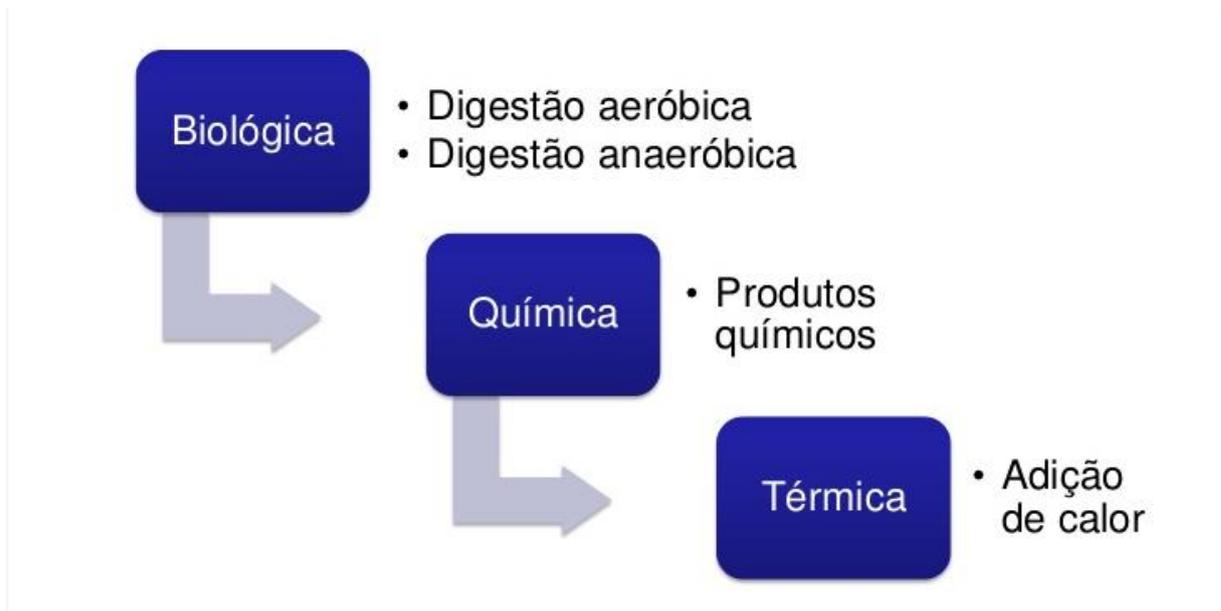


Figura 4 – Principais processos de estabilização de lodos (Site:sabesp.com.br).

2.5.3.3. Condicionamento

O condicionamento de lodo é uma etapa prévia ao desaguamento e influencia diretamente a eficiência dos processos mecanizados. É um processo composto por uma etapa de coagulação seguida de outra de floculação. A coagulação tem a função de desestabilizar as partículas por meio da diminuição das forças eletrostáticas de repulsão entre elas. A floculação permite a aglomeração dos coloides e dos sólidos finos por meio de baixos valores de gradientes de agitação (GONÇALVES et al., 2001).

No condicionamento são adicionados produtos químicos tais como a cal, o cloreto férrico ou polieletrólitos, visando facilitar a separação líquido-sólido, resultando em um acréscimo bastante significativo na redução do volume do lodo (JORDÃO & PESSOA, 2009)

2.5.3.4. Desaguamento ou desidratação

Em algumas referências ao termo desaguamento também pode ser trocado por desidratação e secagem. Dessa forma esses termos são também considerados equivalentes.

A desidratação de lodo é uma operação unitária que reduz o volume do lodo em excesso por meio da redução de seu teor de umidade. A capacidade de desidratação varia com o tipo de lodo. Um lodo ativado, por exemplo, é mais difícil de ser desaguado do que um lodo primário digerido anaerobicamente. Essa variação na capacidade de desidratação está diretamente ligada

ao tipo de sólido e à forma pela qual a água está ligada às partículas do lodo (ANDREOLI et al., 2001).

Os motivos que justificam esta redução de volume são. (METCALF & EDDY, 1991 apud MANZOCHI, 2008): (1) Custos de transporte para o local de disposição final tornam-se significativamente menores devido a redução de volume de lodo; (2) O lodo desaguado é normalmente mais fácil de ser manipulado que o lodo adensado ou líquido; (3) O desaguamento, isto é, a redução do conteúdo de umidade do lodo, permite incineração mais eficiente, se for o caso; (4) Redução de agentes aditivos, caso a compostagem seja utilizada posteriormente como opção de reuso do lodo desaguado; (5) Diminui a produção de chorume caso a disposição final seja em aterro sanitário; (6) Garante uma certa redução na geração de mau odores, ou o torna menos ofensivo.

Fazem parte do processo de desaguamento por método natural os leitos de secagem e as lagoas de secagem de lodo. Filtros (prensa e esteira) e centrifugas são exemplos de métodos mecânicos, e produzem a chamada torta de lodo, onde a concentração de sólidos totais fica em torno de 20 a 30% (JORDÃO e PESSÔA, 1995).

Os principais processos utilizados para o desaguamento de lodos segundo Von Sperling (2001):

- Leitos de Secagem;
- Lagoas de Lodos;
- Centrifugas;
- Filtros a Vácuo;
- Prensas Desaguadoras;
- Filtros Prensa.

2.5.3.5. Higienização

O objetivo de se introduzir um processo de higienização de lodos na estação de tratamento de esgotos é se assegurar um nível de patogenicidade no lodo que, ao ser disposto no solo, não venha a causar riscos à saúde da população, aos trabalhadores que vão manuseá-lo e impactos negativos ao meio ambiente. Portanto, a necessidade de se implantar um sistema de higienização complementar de lodos dependerá da alternativa de disposição final que será utilizada.

Segundo Von Sperling (2001), é importante salientar que o processo não é uma “desinfecção”, uma vez que não são desativados totalmente todos os microrganismos patogênicos presentes no lodo.

De acordo com Manzochi (2008) existem diferentes métodos para higienização do lodo da ETE:

- Higienização Biológica;
- Higienização Química;
- Higienização Física;
- Caleação;
- Tratamento Térmico;
- Compostagem.

2.6. Legislação aplicada ao uso agrícola do lodo de esgoto

Desde que o lodo de esgoto começou a ser usado na agricultura em escala mais intensa, a ausência de normas para o seu uso correto passou a ser uma preocupação, devido, principalmente, a presença de patógenos e metais pesados (TSUTIYA, 2001). Nesse contexto, o gerenciamento do destino dos biossólidos deve ser apoiado num programa de monitoramento de sua qualidade para garantir a segurança ambiental e sanitária (SANTOS, 2001).

A NBR 10.004:2004 inclui em sua definição de resíduos sólidos os ‘lodos provenientes de sistemas de tratamento de água’, assim devem estar em consonância com a PNRS. A lei 12.305/2010 define e diferencia destinação e disposição final:

- “VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;
- VIII - disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos”.

A Lei 12305/2010 considera o reuso e reciclagem como prioridades na gestão de resíduos. Em contrapartida, o lodo não é um rejeito e portanto não deveria ser disposto em

aterro, como é comum observar na maiorias das ETEs que possuem algum tipo de sistema de desaguamento para este resíduo.

Atualmente, a resolução federal vigente no Brasil é a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA Nº 375, de 29 de agosto de 2006, que estabelece critérios e procedimentos para o uso agrícola, de lodo de esgoto gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, visando benefícios à agricultura e evitando riscos à saúde pública e ao ambiente. Estabelece, ainda, que a caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado a ser aplicado deve incluir os seguintes aspectos: potencial agrônômico, substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas, indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos e a estabilidade.

2.7. Alternativas de disposição final do lodo de esgoto

Como já mencionado anteriormente, existe uma preocupação crescente com relação à disposição do lodo de ETEs, em decorrência da ampliação dos sistemas de tratamento e das leis ambientais, que a cada dia tornam-se mais exigentes. Por apresentar em sua composição germes patogênicos, metais pesados e outros compostos tóxicos, mesmo após o processo de tratamento. Este resíduo quando disposto de maneira inadequada, pode trazer danos ao meio ambiente e à saúde humana.

O lodo de esgoto é considerado a fase sólida das ETEs, e esta geração significativa vêm ganhando destaque nas ações de controle da poluição ambiental, entre várias etapas que contemplam todo o processo do tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgoto, o condicionamento e a destinação ocupam uma colocação bastante preocupante. Na tabela a seguir (Tabela 2) Von Sperling (2001) apresenta as principais opções para disposição final do lodo gerado pela ETE.

Tabela 2 - Principais Alternativas de Disposição Final do Lodo.

Alternativa	Resumo da Aplicação
Incineração	Processo de Decomposição térmica via oxidação, onde os sólidos voláteis do lodo são queimados na presença de oxigênio.
Landfarming	Áreas de disposição de resíduos onde o substrato orgânico do resíduo é degradado biologicamente na camada superior do solo

Aterro Sanitário	Disposição de resíduos em valas ou trincheiras, compactadas e recobertas com solo até seu total preenchimento.
Reciclagem Agrícola	Disposição do lodo em solos agrícolas em associação ao plantio de culturas
Indústria Cerâmica	A reutilização dos resíduos de ETE pode ser realizada com a incorporação de lodo em matriz de cerâmica vermelha.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2001)

A Tabela 2 relaciona os principais aspectos positivos e negativos associados a cada uma destas modalidades de disposição.

2.7.1. Incineração

A incineração é o processo de estabilização de lodo que propicia a maior redução no volume para disposição final. O volume cinza residual é normalmente inferior a 4% do volume do lodo desaguado alimentado ao incinerador. A incineração de lodo implica na destruição das substâncias orgânicas presentes no lodo através de combustão, obtida na presença de excesso de oxigênio. Toda a matéria orgânica é destruída, incluindo organismos patogênicos.

Conforme VON SPERLING (2001), existem dois tipos de incineradores atualmente em uso no tratamento de lodo e esgotos:

- Incinerador de múltiplas câmaras: é subdividido em três zonas de combustão distintas – a superior onde ocorre a remoção final da umidade, a intermediária onde ocorre a combustão propriamente dita e a terceira e inferior, também conhecida como zona de resfriamento.
- Incinerador de leito fluidizado: consiste de um vaso cilíndrico de câmara única com paredes refratárias. O leito fluidizado de areia, em contato com o lodo desaguado, retém as partículas orgânicas até a completa combustão das mesmas.

Devido este método ser totalmente prejudicial ao meio ambiente, por causada emissão de gases poluentes, é imprescindível a utilização de incineradores que utilizem sistemas de filtro, onde estes filtros tem o objetivo de diminuir significativamente a emissão de poluentes na atmosfera. Porém, a implantação e operação deste processo requer um alto custo, e nas grandes metrópoles é restrito o seu uso (VON SPERLING, 2001). Outro problema se torna na disposição das cinzas geradas por este processo.

2.7.2. Landfarming

Este método utiliza o acondicionamento do lodo no solo como sistema de tratamento. O solo primeiramente é impermeabilizado e posteriormente recebe elevadas doses de lodo durante vários anos. A finalidade é a biodegradação dos restos orgânicos e fixação de metais na camada superficial do solo.

A proporção feita para quantificar as doses de aplicação varia de 60-70 t/ano em base seca para as áreas que não tem impermeabilização da camada inferior a 300-600 t/ ano / há, levando em consideração que o processo será feito dentro de critérios de landfarming, com impermeabilização da camada de solo a 60-80 cm de profundidade. No momento em que o lodo é disposto uniformemente sobre o solo ele deve ser incorporado superficialmente para facilitar os processos de biodegradação e minimizar o problema de odor e eventual atração de moscas (FERREIRA; ANDREOLI, 1999).

Esta opção é somente para disposição no solo, sem a possibilidade do solo ser aproveitado para a agricultura devido às doses elevadas de lodo. Portanto não há apreensão em reciclar os nutrientes do lodo, apenas decompor a matéria orgânica no solo.

As vantagens do landfarming são (DUARTE, 2008):

- Alternativa de baixo custo se bem instalada e monitorada;
- Inócua ao meio ambiente;
- Simples execução.

As desvantagens apontadas pelo autor são:

- Acumulação de metais pesados e compostos de difícil degeneração;
- Possibilidade de contaminação do lençol freático;
- Liberação de odores e atração de vetores;
- Dificuldade de reintegração da área após desativação.

2.7.3. Aterro sanitário

De acordo com Tartari (2008), a disposição do lodo em aterros é uma alternativa segura para a saúde pública e ambiental, quando corretamente projetado e operado, considerando que essa disposição implica em custos de transporte e disposição. Silva (2009) explica que a disposição de lodo de ETEs em aterro sanitário é viável enquanto outras opções melhores não são encontradas. No entanto para que isso ocorra há a necessidade de remover a água livre que compõe o resíduo, o que pode ser feito através de meios naturais ou mecânicos, como já

comentado anteriormente. Segundo Richter (2001), a disposição do lodo de ETE em aterros sanitários deve ser a última alternativa a ser considerada.

Segundo Von Sperling (2001), a utilização de aterro sanitário requer uma adequação entre as características do lodo e as do próprio aterro, logo existem essas duas modalidades de disposição consideradas:

- Aterro sanitário exclusivo: é necessário o recobrimento diário e desejável a desidratação prévia do lodo, para melhorar as condições de operação.
- Co-disposição com resíduos sólidos urbanos: o lodo deve ser estabilizado e desaguado previamente a um teor de pelo menos 15% de sólidos, ou o volume de lodo líquido aterrado deve ser rigidamente limitado segundo a capacidade de absorção.

Na Figura 5, retrata como funciona um aterro sanitário solução. A técnica que incorpora todas as recomendações das boas técnicas e práticas de geotecnia ambiental atualmente incorporadas nas engenharias sanitária e ambiental.

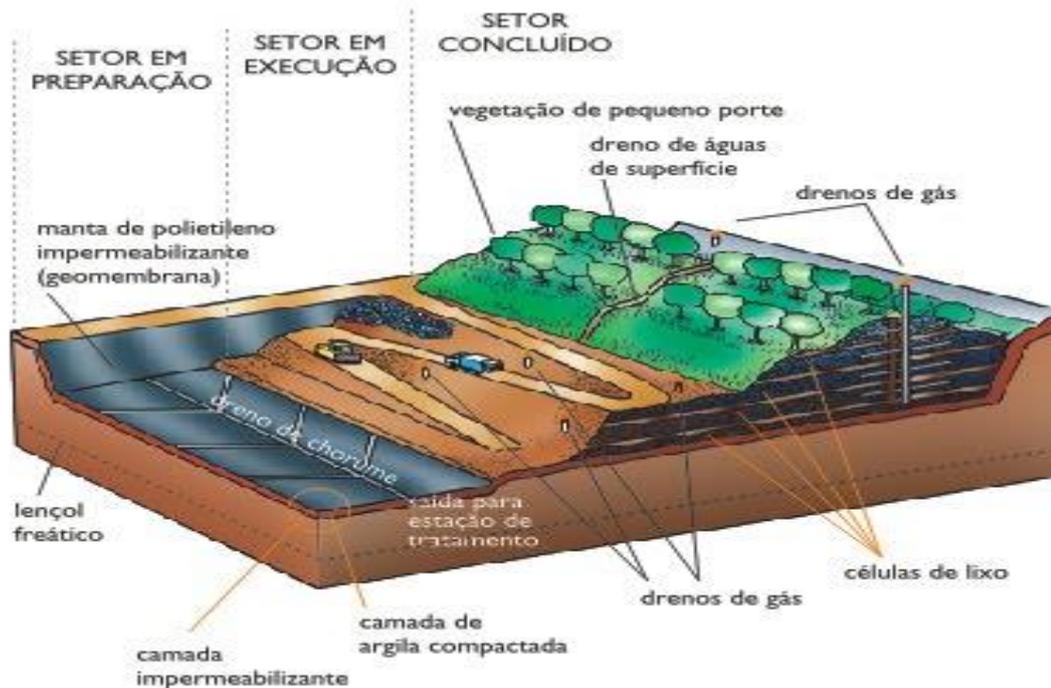


Figura 5 – Esquema de um aterro sanitário (Site:caroldaemon.blogspot.com.br).

2.7.4. Utilização na agricultura

A aplicação do lodo pode alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Algumas destas alterações são benéficas, enquanto outras são indesejadas. Os impactos

positivos estão relacionados aos efeitos da matéria orgânica sobre as propriedades físicas e químicas do solo e sobre a atividade microbiana e dos nutrientes adicionados ao solo.

As diferentes práticas de disposição de lodo de esgoto no solo podem ser divididas em uso benéfico, quando a aplicação beneficiar-se das propriedades do produto como fertilizante (fornecendo macro e micro nutrientes) e condicionador (melhorando as características químicas e físicas) dos solos; e descarte, quando as práticas utilizam-no como substrato para decomposição do resíduo ou como local de estocagem e descarte (ANDREOLI, et al., 2001).

De acordo com Tsutiya e Hirata (2001), nos solos onde são cultivadas plantas cítricas como limão e laranja, normalmente existem deficiências de ferro, que pode ser suprido através da aplicação no solo de lodos das ETEs, se a estação de tratamento utilizar como coagulante o sulfato de ferro, pois o ferro é vital para o desenvolvimento das culturas de cítricos.

Visto os elementos que compõem o biossólido gerado pela ETE, Lara (1999), apresenta os principais impactos ambientais relacionados a disposição do lodo de esgoto no solo:

- Impactos positivos: (1) a reciclagem de resíduos, onde estes são considerados recursos em potencias; (2) efeitos benéficos sobre as propriedades físico-química e biológicas do solo, estabilização da estrutura com aumento da capacidade de retenção de água do solo e de nutrientes minerais; (3) aumento da produtividade agrícola, causado pelo incremento de matéria orgânica e dos nutrientes presentes no lodo; (4) benefícios econômicos, pois o aumento da produtividade colabora no aumento dos lucros obtidos com venda dos produtos;
- Impactos negativos: (1) acúmulo de elementos tóxicos, principalmente metais pesados, poluentes orgânicos e patógenos; (2) lixiviação de compostos resultantes da decomposição do lodo no solo, principalmente nitratos; (3) contaminação de áreas adjacentes e corpos hídricos devido ao transporte por escoamento superficial do material; (4) odores e atração de vetores.

Dependendo da modalidade de disposição, a intensidade destes impactos poderá ser maior ou menor. Os seguintes itens tratam especificamente das modalidades de disposição no solo: recuperação de áreas degradadas e reciclagem agrícola (VON SPERLING, 2001).

2.7.4.1. Recuperação de áreas degradadas

No uso para recuperação de áreas degradadas, sejam aqueles resultados do manejo agrícola inadequado ou de atividade extrativa, são utilizadas grandes dosagens de lodo,

potencializando o porte de maiores quantidades de elementos indesejáveis, proporcionalmente à composição do lodo. O desequilíbrio entre os nutrientes do solo e a lixiviação do nitrogênio também devem ser cuidadosamente observados, pois são problemas frequentes com o uso de grandes dosagens de lodo.

Estes solos normalmente apresentam-se fisicamente desestruturados, com mistura de porções superficiais e subsuperficiais, estando ainda diretamente expostos às variações climáticas, potencializando os riscos de erosão e lixiviação (VON SPERLING, 2001).

A aplicação de lodos em áreas degradadas traz benefícios às propriedades físicas do solo, pois este desempenha o papel de condicionador do solo melhorando a formação de agregados, a infiltração, a retenção de água e a areação do solo. Como a área degradada se caracteriza por não fornecer condições de desenvolvimento e fixação da vegetação em função da falta de matéria orgânica, de nutrientes e da atividade biológica, a adição de lodo apresenta uma série de vantagens que fornecem a recuperação e o reaparecimento da vegetação (TSUTIYA, 2000).

Segundo Bezerra (2006), o procedimento para recuperação dessas áreas é lento e está relacionado à capacidade de restabelecimento do solo. O lodo tem sido utilizado, largamente, como condicionador de solo (melhorando as capacidades químicas e físicas) e fertilizantes (suprindo as deficiências de macro e micro nutrientes para recuperação destas áreas).

De acordo com Von Sperling (2001), na recuperação de áreas degradadas, a seleção do local requer cuidados para se evitar os processos erosivos, os quais podem potencializar os impactos desta alternativa em função das altas doses de lodo geralmente utilizadas.

2.7.4.2. Reciclagem agrícola

O lodo proveniente das ETEs, processado de modo a permitir o seu manuseio de forma segura na sua utilização da agricultura, é denominado de bioestabilizado. Para sua disposição final devem ser consideradas os seguintes aspectos principais: produção, qualidade (presença de metais pesados e microrganismos patogênicos) e grau de umidade.

A magnitude dos impactos da reciclagem agrícola do lodo de esgoto é diretamente relacionada à qualidade do lodo, às características da área de aplicação, às taxas de aplicação e às culturas selecionadas. Os principais impactos da reciclagem agrícola são associados aos riscos de contaminação por elementos tóxicos e à presença de patógenos, ambos comprometendo a saúde pública, animal e vegetal e a qualidade do ambiente.

Os nutrientes encontrados em maior quantidade são o nitrogênio e o fósforo. Os elementos cálcio e magnésio são encontrados em pequenas quantidades salvo naqueles bio-sólido higienizados através da caleação, onde são adicionadas grandes quantidades destes elementos. O potássio está presente em quantidades muito modestas, porém encontra-se em forma prontamente assimilável pelas plantas e normalmente é suplementado por fertilizantes químicos nos solos adubados com lodo (VON SPERLING et. al., 2001).

2.7.5. Indústria Cerâmica

Os lodos podem ser empregados como matéria-prima da indústria cerâmica, que usam fornos atuando em elevadas temperaturas, que reduz significativamente os riscos sanitários (ARAÚJO et al., 2005, p. 2). O lodo faz a substituição das argilas que procedem na fabricação de blocos cerâmicos, usados na construção civil em geral.

A reutilização dos resíduos de ETA pode ser realizada com a incorporação de lodo em matriz de cerâmica vermelha. Através desta mistura confeccionam-se corpos de prova para realização de diversos ensaios, com o objetivo de estabelecer misturas que possibilitem a reutilização deste lodo na matriz de blocos cerâmicos para a indústria da construção civil.

No Brasil há enormes jazidas de argilas, com importância em diversas áreas, principalmente na indústria de cerâmica vermelha. Este tipo de indústria abrange a fabricação de produtos à base de argilas. Produtos tais como, tijolos, blocos cerâmicos, lajotas e telhas são destinadas à indústria de construção civil, compreendendo hoje cerca de 13.000 pequenas e médias unidades produtivas dispersas em todo o país.

Araújo et al. (2005, p. 2) expõe as vantagens do uso do lodo na cerâmica:

- Destinação ambientalmente eficaz para lodos que não apresentam tratamento sanitário apropriado para outros tipos de aproveitamento;
- Ampliação da vida útil das jazidas de argila;
- Menor gasto de energia, transporte e fabricação e menos utilização dos recursos naturais.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, apresenta-se a metodologia que foi utilizada no desenvolvimento da pesquisa para atingir os objetivos delineados. Nas pesquisas bibliográficas, foram encontrados diversos estudos sobre disposição final de resíduos gerado na ETE.

Para a inicialização do projeto, procurou-se estudar os conceitos envolvidos (tratamento de esgoto da ETE, lodo de esgoto gerado pela ETE e suas propriedades físico-químicas e microbiológicas, a legislação para destinação do lodo e as formas de destinação final do lodo), a fim de obter embasamento teórico para apresentar as características químicas do lodo que será coletado (ETE Norte);

Na busca da melhor forma de disposição do lodo, foram levadas em considerações as características do resíduo.

A ETE Norte está localizada na Região Norte da cidade de Palmas – TO, próximo à Quadra 409 Norte, conforme a Figura 6 abaixo.



Figura 6 - Localização da ETE Norte (Google Eart, 2017 online).

3.1. Coleta e preparo das amostra

3.1.1. Coleta

As amostras de lodo desidratado foram coletadas na ETE Norte (Estação de Tratamento de Esgoto) de Palmas-TO, localizada próximo à Praia das Arnos, esta ETE é considerada a maior estação de tratamento de esgoto do Estado do Tocantins (MENDONÇA, 2013).

Foram coletadas quantidades suficientes para a realização dos ensaios, a amostra foi retirada logo após passagem do detrito pela centrífuga, na saída da rosca transportadora, aparelho que despeja o lodo desidratado nos dispositivos de armazenagem do resíduo, antes da sua disposição final, sendo este denominado como torta ou bolo de lodo.

3.1.2. Preparo das amostras

As amostras de lodo de esgoto foram secas a 60°C até peso constante. Logo após a secagem a amostra foi triturada, peneirada em peneira de malha quadrada de 1,0 mm e armazenada em frasco de vidro ou plástico (CONAMA, 2003).

3.2. Análise de metais pesados

Do ponto de vista ambiental, o metal pesado é aquele que, em determinadas concentrações e tempo de exposição, oferece risco à saúde humana e ao ambiente, prejudicando a atividade dos organismos vivos.

Para o Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Pb, Cr, Ni, Ca, Mg foi empregado o método Espectrometria de absorção atômica (AAS). Os resultados foram expressos em mg do parâmetro por kg de lodo em base seca.

Os metais das amostras foram dissolvidos em solução de ácido forte após destruição da matéria orgânica e determinada por espectrômetro de absorção atômica.

3.3. Determinações de nutrientes (N, P, K)

Para o N, foi empregado o método do ácido salicílico, utilizando-se o digestor-destilador tipo Kjeldahl, e sua determinação foi feita por titulação com NaOH. A determinação do K se fez através da fotometria de chama. Já a determinação do P foi realizada pelo método colorimétrico.

3.4. Análise de substâncias inorgânicas

Para a caracterização do lodo de esgoto quanto à presença de substâncias inorgânicas, foi determinada, de acordo com os Anexos II e IV da Resolução CONAMA N° 375 de 2006, as seguintes substâncias: Arsênio (As), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Selênio (Se) e Zinco (Zn).

O método utilizou a digestão com água régia invertida (3 HNO₃: 1 HCl), que consiste em digerir 1g da amostra em 10 mL de água régia invertida, seguida pelo aquecimento em Digestor MARS como mostra a Figura 7. Posteriormente, espera-se a amostra esfriar para realizar as diluições necessárias.



Figura 7 - Ilustração forno micro-ondas Digestor MARS. (Site:labexata.com.br)

Por fim, as concentrações totais dos metais extraídos da amostra foram determinadas por meio de espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), utilizando-se de um espectrômetro de marca Perkin Elmer, modelo Optima 4300 DV com visão dupla conforme Figura 8 abaixo.



Figura 8 - Ilustração do espectrômetro utilizado para quantificação de metais.
(Site:labexata.com.br)

A amostra foi introduzida por um nebulizador de fluxo cruzado com uma câmara de spray de dupla passagem.

3.5. Lodo a ser incorporado no solo

Para fins experimentais foi utilizada uma análise física e química de um solo, classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), no qual foram feitos os cálculos dos principais nutrientes que foram incorporados, assim como a dose máxima permitida a ser aplicada, em função da concentração desses nutrientes no material.

3.5.1. Quanto a composição do lodo

De acordo com a CETESB (1999), os lodos que contenham metais em concentrações superiores aos limites estabelecidos na Tabela 3, não são aceitáveis para a aplicação em solo agrícola.

Tabela 3 - Concentrações limites de metais no lodo.

Metal	Concentração máxima permitida no lodo (base seca) mg/kg
Arsênio	75
Cádmio	85
Cobre	4300
Chumbo	840
Mercúrio	57

Molibdênio	75
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	7500

Fonte: Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo (CETESB 1999)

Então foram calculados as concentrações desses metais acima relacionados, para o estudo da possibilidade do uso do lodo.

3.5.2. Taxa de aplicação em função dos nutrientes disponível

A aplicação de lodo em toneladas por hectare não deverá exceder o quociente entre a quantidade de nutriente recomendada para a cultura (em kg/ha) e o teor de nutriente disponível no lodo (NDisp em kg/toneladas) (CONAMA, 2006).

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{\text{N recomendado (kg/ha)}}{\text{Ndisp (kg/t)}}$$

Para verificar a quantidade de nutriente recomendada para a cultura, sugere-se consultar o Boletim Técnico nº 100 (Raij et alii, 1996) do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas).

3.5.3. Taxa de aplicação em função de outros nutrientes

Desde que devidamente justificado, outros nutrientes, eventualmente presentes no lodo, poderão ser utilizados para a definição da taxa de aplicação.

3.5.4. Limites de acumulação de metais no solo

Para a aplicação do lodo foram respeitados os limites apresentados na Tabela 4. A carga acumulada deve ser calculada com base na soma das cargas, considerando o teor de metal no lodo e as taxas de cada aplicação (CETESB, 1999).

Tabela 4 - Cargas cumulativas máximas permissíveis de metais pela aplicação de lodo em solos agrícolas.

Metal	Carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo (kg/ha)
Arsênio	41
Cádmio	39

Cobre	1500
Chumbo	300
Mercúrio	17
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Fonte: Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo (CETESB 1999)

Deverão ser respeitados os limites de concentração de metais no solo, a serem definidos pelo Órgão de Controle Ambiental, observando-se os resultados analíticos do solo superficial (camada 0-20 cm) antes da programação de novas aplicações. Para o caso do cromo deverá ser respeitado, preliminarmente, o limite de 500 mg/kg de solo CETESB (1999, p. 8) apud Eikmann e Kloke (1993) até definição dos limites citados.

3.6. Possível aproveitamento do lodo da ETE em blocos cerâmicos

Foram feitas pesquisas bibliográficas que tratam da utilização do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto em blocos cerâmicos. Conforme estudos realizados por Silva (2014), teve como foco a fabricação de 25 blocos cerâmicos de oito furos, nas dimensões 9x19x29cm (largura, altura e comprimento respectivamente), com a incorporação de lodo para análise de suas características físicas e mecânicas.

As proporções que foram estudadas e tidas como referência trabalhos já realizados sobre o assunto, são as que seguem na Tabela 5 abaixo:

Tabela 5 - Proporções de Lodo a serem analisadas

Proporção	Nomeação Adotada	Porcentagem de Lodo Acrescentada (%)
1	PI	0
2	PII	2
3	PIII	4
4	PIV	6
5	PV	8
6	PVI	10
7	PVII	12
8	PVIII	14
9	PIX	16
10	PX	18

Foram realizadas pesquisas bibliográficas através de trabalhos já realizados sobre o assunto (artigos, teses, sites, normas e das legislações ambientais vigente no país). Sendo que

atualmente só temos a resolução do CONAMA nº 375/2006, que autoriza o uso do lodo para fins agrícolas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Disposição final do lodo

Na literatura pesquisada foram encontradas diversas formas de reuso do lodo de esgoto, dentre essas alternativas as que mais se destacaram foram a Reciclagem Agrícola, Landfarming, Reuso Industrial.

4.1.1 Reciclagem agrícola

Foi constatado que o uso do lodo em diversas formas de plantio é satisfatório, não só do ponto de vista ambiental, mas também priorizando o lado econômico e melhoramento do solo.

Andreolli et al. (1998) coloca que as culturas mais indicadas são do tipo gramíneas, principalmente aquelas de grande cultivo como milho, trigo, sorgo e cana de açúcar. Além de responderem prontamente a aplicação do lodo por absorverem diretamente o nitrogênio captado pelas raízes, seu controle fitossanitário e colheita são realizados mecanicamente, sendo o produto final normalmente industrializado o que reduz a quase zero o risco de qualquer tipo de contaminação.

Partindo pela reciclagem agrícola, em experimento com a cultura de milho. Moraes (2007) observou que, após a colheita, parcelas que receberam lodo de esgoto caledo apresentaram aumentos significativos nos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , pH e C orgânico. Estes que são nutrientes importantes e necessários ao bom desenvolvimento das plantas, confirmando o lado positivo da utilização, nutrientes estes que posteriormente irão se traduzir em aumento de produtividade.

Dentro do espaço experimental avaliado, todos os tratamentos que utilizaram o lodo de esgoto mostraram boa produtividade. Isso indica que o lodo de esgoto mantém a produtividade do milho em níveis satisfatórios sem a necessidade de outro insumo, evidenciando seu efeito residual.

Faustino et al. (2005), avaliaram a viabilidade do lodo como componente do substrato para produção de mudas de *Senna siamea Lam.* Dos cinco tratamentos empregados com diferentes proporções de lodo, o melhor crescimento das mudas desta espécie foi obtido com substrato contendo 50% de lodo + 50% de solo, seguido do tratamento composto de 25% de lodo + 25% de pó de coco + 50% de solo. Os autores concluíram em seu estudo que o uso de lodo da estação de tratamento de água como componente de substratos para produção de mudas pode ser uma alternativa viável para sua disposição final e constitui uma ferramenta a ser

utilizada pelas prefeituras, na produção de mudas para arborização urbana e recuperação de áreas degradadas.

Apesar do fornecimento do biossólido ser gratuito, os usuários pagam pelo transporte do material, o qual, só é viável até determinada distância. Segundo Silva et al. (2002), a distância máxima viável ao seu uso será de 122 km, pelo alto valor do frete. Mas essa distância depende da região em que está localizada, sendo necessário comparar o valor de um fertilizante com o frete para transportar o lodo.

A matéria orgânica contida no lodo de esgoto aumenta o conteúdo de húmus, este que atua como um cimento que faz a união entre as partículas de solo, formando agregados. São importantes porque tornam o solo mais poroso, melhorando e aumentando a infiltração da água da chuva e da irrigação no perfil, e conseqüentemente, reduzindo a quantidade da água que vai com a enxurrada. Os agregados estáveis também aumentam a resistência do solo ao impacto das gotas de chuva. Como resultado, ele estará mais resistente aos processos erosivos (TSUTIYA et al., 2001; CARVALHO, 2001; MELO et al., 2001).

4.1.3 Indústria Cerâmica

Na utilização do lodo de esgoto em blocos cerâmicos a grande intenção é dar um destino ao resíduo afim de diminuir seus impactos ambientais, apesar de que também traz benefícios econômicos. De acordo com Duarte (2008) a adição de lodo acarreta perda significativa da massa dos tijolos e a absorção de água dos tijolos está significativa e diretamente ligada ao aumento da dosagem de lodo: tijolos fabricados com lodo, em todas as dosagens, absorvem mais água do que o tijolo feito em processos normais. Como destaque é citada a dosagem de 25%, que absorve em média, 160% a mais de água na sua etapa de fabricação em comparação com tijolo sem adição, porém, permaneceu dentro de uma faixa aceitável para tijolos cerâmicos.

Por fim, é de grande importância ressaltar que a resistência à compressão é significativamente diminuída com a adição de lodo: tijolos com 5% de lodo perdem, em média, cerca de 45% da resistência obtida pelo tijolo sem o resíduo; os tijolos fabricados com 15 e 20% perdem na faixa de 70% da resistência máxima. As dosagens mais altas, de 25 e 30%, acarretam um perda de cerca de 90% da resistência. Desta forma Duarte (2008, p. 101) aconselha que seja agrupado no máximo 20% de lodo na massa cerâmica, principalmente pela redução da resistência.

De acordo com Araújo (2008), do ponto de vista ambiental, é seguro afirmar que a incorporação do lodo a massa para fabricação de cerâmica vermelha é completamente viável e resolve o problema de disposição inadequada do lodo da estação de tratamento de água.

Tijolos ecológicos correspondem a uma inovação na área de materiais de construção, sendo estes materiais capazes de provocar uma revolução nas estruturas de alvenaria. Essas peças visam a sustentabilidade e a preocupação com a preservação do meio ambiente. Um dos grandes atrativos dos tijolos ecológicos são os seus baixos índices de poluição, pois não utilizam argila pura, que é extraída do fundo de várias encostas de rios, impactando a vegetação ao seu redor.

4.2 Aplicação do lodo da ETE-Vila União em um latossolo vermelho

4.2.1 Taxa de lodo a ser aplicada com base nos macronutrientes (N, P, K)

O interesse agrícola pelo lodo de esgoto está associado principalmente ao seu teor de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e ao conteúdo de matéria orgânica (ANDREOLLI, 1999). Como os lodos são pobres em potássio, há necessidade de se adicionar esse elemento ao solo na forma de adubos minerais (BETTIOL & CAMARGO, 2006).

Na Tabela 6, temos a concentração dos principais nutrientes gerado pela estação de tratamento de água, localizada na cidade de Palmas – TO.

Tabela 6 - Concentração dos principais nutrientes gerados pela ETE Norte.

AMOSTRA	N(%)	P(%)	K(%)
LODO	2,43	1,01	0,88

Para encontrar a taxa de aplicação máxima anual de lodo da estação de tratamento de água, analisamos a quantidade recomendada de nutriente para um latossolo vermelho localizado na cidade de Palmas – TO. Segundo Raij et al. (1996), a quantidade necessária nesse local de Nitrogênio (N), Potássio (K) e Fósforo (P), são respectivamente 150,00 kg/ha, 58,80 kg/ha e 48,80 kg/ha.

Portanto utilizando a seguinte fórmula para calcular a taxa de aplicação máxima de nitrogênio:

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{N \text{ recomendado (kg/ha)}}{N \text{ Disp (kg/t)}}$$

Portanto:

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{150 \text{ (kg/ha)}}{24,3 \text{ (kg/t)}}$$

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = 6,17$$

Aplicando a mesma fórmula para o Potássio:

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{58,80 \text{ (kg/ha)}}{8,8 \text{ (kg/t)}}$$

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = 6,68$$

Aplicando a mesma fórmula para o Fósforo:

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{48,80 \text{ (kg/ha)}}{10,1 \text{ (kg/t)}}$$

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = 4,83$$

Analisando todos os resultados obtidos e de acordo com a Resolução CONAMA nº 375/2006, recomenda que deverá ser adotado, para a taxa de aplicação máxima em base seca, o menor valor calculado onde a aplicação máxima anual de lodo de esgoto e produtos derivados em toneladas por hectare não deverá exceder o quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (em kg/ha).

Assim, tendo como base os resultados obtidos a cima, se aplicar uma dosagem superior a 4,83 t/ha, ocasionará uma quantidade excessiva de Fósforo, podendo então comprometer a dinâmica de Fósforo no solo.

Neste caso será adotado a dosagem de 4,83 tonelada de lodo por hectare, aonde para esta aplicação teremos a quantidade de:

Nitrogênio:

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{48,30 \text{ (kg/ha)}}{24,3 \text{ (kg/t)}}$$

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = 1,99$$

Potássio:

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{48,30 \text{ (kg/ha)}}{8,8 \text{ (kg/t)}}$$

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = 5,49$$

4.2.2 Metais pesados

A presença de metais pesados em lodos da estação de tratamento de água é uma das principais preocupações quando se pretende utilizar o biossólido para fins agrícolas e florestais. Os metais pesados além de exercerem efeitos negativos sobre o crescimento das plantas, também afetam os processos biogeoquímicos que ocorrem no solo. A decomposição do material orgânico adicionado ao solo, a mineralização do nitrogênio e a nitrificação podem ser inibidos em locais contaminados por metais pesados. (MATIAZZO & ANDRADE, 2000, citado por PEREZ, 2008).

Na Tabela 7, temos a concentração dos principais nutrientes gerado pela estação de tratamento de água, localizada na cidade de Palmas – TO.

Tabela 7 - Concentração dos metais pesados gerado pela ETE Norte.

Amostra	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	B (mg/kg)	Mn (mg/kg)
Lodo	261,33	446,67	5160,67	26,67	594,67

Após quantificar o lodo necessário para que ocorra a incorporação dos nutrientes no solo, é necessário verificar se a quantidade de lodo não excedesse o limite permitido de metais pesados, conforme apresentado na Tabela 4 (CETESB 1999).

Cobre (Cu): Máximo de 75,00 kg/ha, na amostra tem-se 261,33 mg/kg.

Calculando:

$$\frac{261,33 \times 10^{-6} \text{ kg}}{x} = \frac{1 \text{ kg}}{4830 \text{ kg/ha}}$$

$$X = 1,26 \text{ kg/ha}$$

-Zinco (Zn): Máximo de 140kg/ha, na amostra tem-se 446,67 mg/kg.

Calculando:

$$\frac{446,67 \times 10^{-6} \text{ kg}}{x} = \frac{1 \text{ kg}}{4830 \text{ kg/ha}}$$

$$X = 2,16 \text{ kg/ha}$$

-Ferro (Fe): na amostra tem-se 5160,67 mg/kg.

Calculando:

$$\frac{5160,67 \times 10^{-6} \text{ kg}}{x} = \frac{1 \text{ kg}}{4830 \text{ kg/ha}}$$

$$X = 24,93 \text{ kg/ha}$$

-Boro (B): na amostra tem-se 26,67 mg/kg.

Calculando:

$$\frac{26,67 \times 10^{-6} \text{ kg}}{x} = \frac{1 \text{ kg}}{4830 \text{ kg/ha}}$$

$$X = 0,13 \text{ kg/ha}$$

-Manganês (Mn): na amostra tem-se 594,67 mg/kg.

Calculando:

$$\frac{594,67 \times 10^{-6} \text{ kg}}{x} = \frac{1 \text{ kg}}{4830 \text{ kg/ha}}$$

$$X = 2,87 \text{ kg/ha}$$

Ao analisar os resultados obtidos, pode-se observar que as quantidades de metais pesados não excederam o máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 375/2006.

5. CONCLUSÃO

A destinação correta do lodo proveniente das ETE's ainda é uma prática pouco comum em nosso país, o que acaba por anular parte dos efeitos benéficos gerados no processo de tratamento de esgoto.

O desenvolvimento de uma alternativa, um procedimento, que comporte valores ambientalmente corretos e que agregue valor econômico a este resíduo mostra-se altamente promissor em um mundo onde cada vez mais ETE's têm que funcionar a para garantir a qualidade de vida oferecida pelos serviços de saneamento básico.

A partir do desenvolvimento do trabalho foi possível notar que o lodo de esgoto gerado na ETE Vila União, apresenta concentrações de metais pesados inferiores ao estabelecido pelo CETESB. Este baixa nível de concentrações de metais, se dá pelo fato de não existir contribuição de indústrias no esgoto tratado.

Assim, conforme apresentado nos resultados, a quantidade máxima de lodo gerado na ETE Vila União que pode ser disposto no solo é de 4,83 t/ha. Desta forma, ao utilizar como parâmetro a quantidade máxima de 4,83 t/ha que advêm do limite máximo de fósforo por hectare, faz com que seja necessária a complementação de Nitrogênio e Potássio com produtos químicos.

Foi constatado que este lodo é rico em matéria orgânica, contém em sua composição alguns dos macro e micronutrientes necessários às plantas, e por isso tem potencial para melhorar a produtividade de diversas culturas. Com isso, esse material é uma opção interessante, um complemento capaz de reduzir a utilização de fertilizantes industriais e diminuir custos de adubação. Cabe ressaltar também que a incorporação de lodo nos solos se mostrou o manejo economicamente mais vantajoso, quando comparado as demais alternativas de disposição.

Contudo, sua reciclagem agrícola deve obedecer às regras que definem as exigências de qualidade do material, além de outros aspectos, tais como: limitações ambientais e edáficas, taxa de aplicação e cultura agrícola recomendada.

Já nas adições de lodo na confecção dos blocos cerâmicos, verificou-se que contribuem para queda do desempenho dos mesmos frente as bibliografias e ensaios já realizados que foram analisados, sendo observados melhores resultados com a adição crescente de até 10% de lodo seco em massa cerâmica. A utilização de lodo na indústria de produtos cerâmicos mostrou-se viável tecnicamente, no limite de 15% da massa cerâmica. No caso da ETE esteja localizada a

uma distância inferior a região de extração de insumos argilosos (argila gorda), é possível que também se justifique a viabilidade econômica desta utilização.

Sob o ponto de vista ambiental a utilização de lodo em escala industrial poderia evitar a disposição deste tipo de resíduo em corpos receptores que causam assoreamento dos rios, impacto no crescimento de plantas aquáticas, alteração das propriedades físico-químicas da água.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, L. O **Tratamento de esgoto**. Disponível em <<http://www.infoescola.com/meio-ambiente/tratamento-de-esgoto/>>. Acessado em 23 de Fevereiro de 2017.

ANDRADE, C. A. **Nitratos e metais pesados no solo e em plantas de Eucalyptus grandis após aplicação de biossólido da ETE de Barueri**. 1999. 65p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.

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

ANDREOLI, Cleverson V.. (Coordenador). **Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento**. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES,2006. 417 p.

BRASIL. **Decreto 7.404**, de 23 de dezembro de 2010. Brasília: Governo Federal, 2010

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Governo Federal, 2010

BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A. C. L.; PEREZ D. V.; ANDRADE, A. G.; MENEGUELLI, N. A. **Lodo de esgoto em revegetação de área degradada**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, n.3, mar. 2006, p.476.

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

CASTRO, A. L. F. G; SILVA, R. S; SCALIZE, P. S **Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014**. 2015. 66 p.

CETESB. **Aplicação de lodos sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação**: manual técnico. Norma Técnica CETESB P4.230, São Paulo, 1999. 33 p.

CONAMA. Conselho do Meio Ambiente do Distrito Federal. **RESOLUÇÃO Nº 03/2006**. Brasília (DF), 2006. 18 JUL.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº **375/08**. 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. Brasília, SEMA, 2006.

DUARTE, A. C. L. **Incorporação de lodo de esgoto na massa cerâmica para a fabricação de tijolos maciços**: uma alternativa para a disposição final do resíduo. 2008. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal- RN.

FARIA, C. Tratamento de esgoto. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/geografia/tratamento-de-esgoto/>> Acesso em 20 Fevereiro 2017.

FERNANDES, F. Estabilização e higienização de biossólidos. In: W. BETTIOL & O. A. CAMARGO (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.

FERREIRA, A. C., ANDREOLI, C. V. Disposição final do lodo. In: **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**, 1. 1999, Curitiba: SANEPAR, 1999.

FUNASA. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006, 408 p.

GUIMARÃES J. R; NOUR R. A. **Tratando nossos esgotos**: processos que imitam a natureza. Química Nova na Escola: cadernos temáticos, n. 1, p. 19-30, 2001.

LARA, A.I. Monitoramento. In: **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**, 1., 1999, Curitiba: SANEPAR, 1999.

LUDUVICE, M. Processos de estabilização de lodos. In: **Lodos de Esgotos – Tratamento e Disposição Final**. Rio de Janeiro: ABES, 2001. 484p.

MANZOCHI, Clarice Ilse Schwarz. **Logística Para Tratamento E Disposição Final De Lodos De ETEs Visando Reciclagem Agrícola**. 2008. 331 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2008.

MARÇAL, Emerson J. **Curso de Tratamento de Esgoto: Introdução ao Tratamento de Esgotos**. 1. ed. Rio Claro: EEA, 2004, 235 p.

MELLO, Edson J. R. **Tratamento de Esgoto Sanitário: Avaliação da estação de tratamento de esgoto do Bairro Novo Horizonte na cidade de Araguari - MG**. 2007. 99 p. Trabalho de Conclusão de Pós-Graduação (Engenharia Sanitária) - UNIMINAS, Uberlândia, MG.

MENDONÇA, ANGÉLICA. **Palmas ganha nova Estação de Tratamento de Esgoto, considerada uma das mais modernas do Brasil. Palmas Tocantins 2013**. Disponível em: <<http://casacivil.to.gov.br/noticia/2013/6/4/palmas-ganha-novaestacao-de-tratamento-deesgoto-considerada-uma-das-mais-modernas-do-brasil/>> Acesso em 08 Abril 2017.

MIKI, M. K; SOBRINHO, P. A. Tratamento da Fase Sólida em Estações de Tratamento de Esgotos. In: ANDREOLI, Cleverson V. **Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.cap.04, p.49-107.

NEVES, E. T. **Curso de hidráulica**. Porto Alegre: Editora Globo, 574 p. 1974.

NUVOLARI, A. (Coord). **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 2ed. rev., atual. e ampl. São Paulo, SP: Blucher, 2011. 565 p.

RENATA, C. J. A. **A utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados: Viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais** – Rio de Janeiro: UFRJ/IGeo. 2010. 221 p. Tese de doutorado UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

SABESP. **Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo**. Disponível em <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=50> />. Acessado em 04 de março de 2017.

SILVA, G. H. **Sistema de alta eficiência para tratamento de esgoto residencial – estudo de caso na lagoa da conceição**. Monografia. Programa de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto - 2014**. Ministério das Cidades. Brasília SPELLMAN, F. R. **Dewatareing Biosolids**. Lancaster: Technomic, 1997. 275 p. Disponível em <<http://resurrectbook.com/25335060-pdf-book-dewatering-biosolids-by-frank-r-spellman-gratuitous-pdf-epub-and-mobi.html>>. Acessado em 15 de Fevereiro de 2017.

SPELLMAN, F. R. **Dewatareing Biosolids**. Lancaster: Technomic, 1997. 275 p. Disponível em <<http://resurrectbook.com/25335060-pdf-book-dewatering-biosolids-by-frank-r-spellman-gratuitous-pdf-epub-and-mobi.html>>. Acessado em 20 de Março de 2017.

TARTARI, Rodrigo. **Incorporação de lodo gerado na Estação de Tratamento de Água Tamanduá, como aditivo em massas para cerâmica vermelha**. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Uni Oeste, Toledo, 2008.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki; HIRATA, Angélica Yumi. **Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do estado de São Paulo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21.2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: Abes, 2001. p. 01 - 09.

VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C. V; FERNANDES, F; **Lodo de Esgotos: tratamento e disposição final**. v. 6; Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG; 2001. 484 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 452 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuais; v.1).

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte, UFMG. 2 ed. 196 p. 1986.