



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Douglas Brito

UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTO VILA UNIÃO EM PALMAS - TO NA AGRICULTURA

Palmas
2016/2



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Douglas Brito

UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO VILA UNIÃO EM PALMAS - TO NA AGRICULTURA

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

Palmas
2016/2

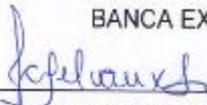
DOUGLAS BRITO

UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTO VILA UNIÃO EM PALMAS - TO NA AGRICULTURA

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

Aprovada em 28 de Outubro de 2016.

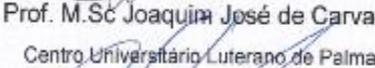
BANCA EXAMINADORA



Prof. M.Sc. José Geraldo Delvaux Silva
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M.Sc. Joaquim José de Carvalho
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M.Sc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas
2016/2

RESUMO

BRITO, Douglas M. **UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO VILA UNIÃO EM PALMAS - TO NA AGRICULTURA**. 77 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2016

Na grande parte dos casos, o lodo gerado pela estação de tratamento de esgoto (ETE) não é disposto de forma a corroborar com o meio ambiente e a saúde da população, desta forma a busca por meios que auxiliam o processo de disposição final do lodo gerado por uma ETE têm impulsionado os especialistas a utilizarem/criarem técnicas capazes de solucionar esta problemática. Dentre os métodos mais utilizados, destacam-se: a incineração, aterro sanitário, *landfarming* e reciclagem agrícola. Nesse contexto, a proposta deste trabalho é apresentar uma alternativa de uso do lodo de uma estação de tratamento de esgoto, de forma a minimizar riscos à saúde das pessoas e ao meio ambiente. Desta forma, descreveu-se o funcionamento da Estação de Tratamento de Esgoto da Vila União em Palmas TO, foi quantificado os nutrientes e metais pesados do lodo da ETE em questão, verificada a possibilidade da aplicação do lodo em um determinado solo de Cerrado, por fim, através de uma análise estatística dos dados, foi possível obter uma estudo de viabilidade econômica com relação aos nutrientes do lodo da ETE. Assim, os resultados obtidos indicam que a reciclagem agrícola, vem se mostrando cada vez mais, como o meio de disposição final que mais reaproveita o potencial do lodo gerado por uma ETE.

PALAVRAS CHAVE: Lodo de Esgoto, Estação de Tratamento de Esgoto, Disposição Final.

ABSTRACT

In most cases, the sludge generated by the sewage treatment plant (WWTP) is not arranged to corroborate the environment and the health of the population, so the search for means to assist the disposal process of sludge generated by WWTP have propelled the experts to use / create techniques to solve this problem. Among the most commonly used methods include: incineration, landfill, landfarming and agricultural recycling. In this context, the aim of this paper is to present an alternative to sludge use of a sewage treatment plant in order to minimize risks to human health and the environment. Thus, described is the operation of sewage treatment plant Vila União Palmas TO, it was quantified the nutrients and heavy metals from the WWTP sludge in question, verified the possibility of sludge application in a given soil Cerrado, by Finally, through an analysis of statistical data, it was possible to get an economic feasibility study with respect to the WWTP sludge nutrients. Thus, the results indicate that the agricultural recycling, has proved increasingly as a means of disposal more recycles sludge generated by a potential WWTP.

KEYWORDS: Sludge Sewage, Sewage Treatment Station, Final Disposition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquemática do percurso do esgoto.....	18
Figura 2 - Conceito de Sistema Convencional de Tratamento de Esgotos (CAMPOS, 1999, p. 16).....	19
Figura 3 - Esquema usual de ETE (MELLO, 2007 p. 19)	22
Figura 4- Composição do esgoto doméstico Bettiol e Camargo (2006, p. 28) apud Mello e Marques (2000)	29
Figura 5 - Principais processos de estabilização do Lodo (VON SPERLING, 2001 p. 123) ..	36
Figura 6 - Localização da ETE (Google Maps, 2016, <i>online</i>)	45
Figura 7 - Exemplo de tanque de lodo com quadriculada imaginária indicando os pontos de coleta das amostras após a seleção dos pontos por meio de sorteio	46
Figura 8 - Fluxograma geral do sistema da ETE Vila União	54
Figura 9 - Resultado do sorteio dos números pertencentes à amostra.	54
Figura 10 - Tanque de Armazenamento do Lodo gerado pela ETE Vila União - Palmas TO.	55
Figura 11 - Coleta da amostra do Lodo de acordo com região sorteada (Região 4 – Cor: Verde)	55
Figura 12 - Resultado da análise estatística referente ao Nitrogênio.....	58
Figura 13 - Resultado da análise estatística referente ao Fósforo	58
Figura 14 - Resultado da análise estatística referente ao Potássio.....	59
Figura 15 - Gráfico de viabilidade econômica utilizando N.	63
Figura 16 - Gráfico de viabilidade econômica utilizando K.	66
Figura 17 - Valores selecionados para a distribuição t (NEY R. 2008 online)	3

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Composição química e algumas propriedades típicas do lodo de esgoto.....	30
Tabela 2 - Comparação dos custos da disposição final do lodo de esgoto para algumas alternativas	41
Tabela 3 - Concentrações limites de metais no lodo	48
Tabela 4 - Taxa de aplicação anual máxima de metais em solos agrícolas tratados com lodo	49
Tabela 5 - Cargas cumulativas máximas permissíveis de metais pela aplicação de lodo em solos agrícolas	50
Tabela 6 - Resultados analíticos das amostras do lodo de esgoto da ETE Vila União - Palmas TO.....	56
Tabela 7 - Resultados das análises estatísticas dos dados.....	56
Tabela 8 - Concentração dos Principais Nutrientes gerado pela ETE – Vila União	59
Tabela 9 - Quantidade necessária de cada nutriente N,P e K (RAIJ et al. 1996),	60
Tabela 10 - Taxa de Aplicação Mínima e Máxima de N.....	60
Tabela 11 - Taxa de Aplicação Mínima e Máxima de P.....	60
Tabela 12 - Taxa de Aplicação Mínima e Máxima de K.....	60

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

Ag	- Prata
As	- Arsênio
B	- Boro
Ca	- Cálcio
Cd	- Cádmi
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	12
1.1. Objetivos	14
1.1.1. Objetivo Geral	14
1.1.2. Objetivos Específicos.....	14
1.2. Justificativa.....	15
1.3. Problema.....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. Tratamento de Esgoto	17
2.1.1. Tratamento Preliminar	20
2.1.2. Tratamento Primário	20
2.1.3. Tratamento Secundário	20
2.1.4. Tratamento Terciário.....	21
2.2. Características do Esgoto	23
2.3. Tipos de sólidos gerados no tratamento de esgoto	25
2.4. Lodo de Esgoto	26
2.4.1. Geração de Lodo.....	27
2.4.2. Características dos Lodos nas ETEs	28
2.4.2.1. Propriedades Físico-Químicas e Microbiológicas	28
2.4.3. Tipo de Tratamento do Lodo.....	33
2.4.3.1. Adensamento	34
2.4.3.2. Estabilização.....	35
2.4.3.3. Condicionamento.....	37
2.4.3.4. Desaguamento	37
2.4.3.5. Higienização	38
2.4.4. Legislação para Destinação do Lodo	39
2.4.5. Disposição do Lodo de Esgoto	40
2.4.5.1. Incineração	41
2.4.5.2. Reciclagem Agrícola.....	42
2.4.5.3. Landfarming	43
2.4.5.4. Aterro Sanitário	44

3. METODOLOGIA	45
3.1 Amostragem.....	45
3.2 Coletas e preparo das amostras.....	47
3.3 Análises de metais / Parâmetros para metais pesados (mg/kg de lodo seco).....	47
3.4 Determinações de nutrientes (N, P, K).....	47
3.5 Lodo a ser incorporado no solo	48
3.5.1 Quanto à composição do lodo	48
3.5.2 Taxa de aplicação em função dos nutrientes disponível	48
3.5.3 Taxa de aplicação do lodo em relação aos metais pesados	49
3.5.4 Taxa de aplicação em função de outros nutrientes	49
3.5.5 Limites de acumulação de metais no solo	49
3.6 Viabilidade econômica com relação aos nutrientes do lodo da ETE.....	50
3.7 Análise Estatística.....	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.1 Sistematização da ETE Vila União (Palmas – TO)	52
4.2 Análise Estatística dos Dados.....	54
4.3 Destinação Final do Lodo da ETE – Vila União em um solo agrícola.....	59
4.3.1 Taxa de lodo a ser aplicada com base nos macronutrientes (N, P, K).....	59
4.3.2 Metais Pesados	61
4.4 Análise de Viabilidade Econômica com Relação aos Nutrientes do Lodo	62
4.4.1 Nitrogênio.....	62
4.4.2 Fósforo	64
4.4.3 Potássio	65
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
ANEXOS.....	73

1. INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades brasileiras na maioria dos casos ocorre de forma desordenada e sem a preocupação com o ambiente urbano, dando origem a uma população carente de infraestrutura. A falha no planejamento por parte das autoridades 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 conseguinte 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).

Uma das grandes preocupações dos gestores das ETEs, é a disposição final do lodo gerado. Dentre os métodos mais utilizados, destacam-se: a incineração (processo por decomposição térmica), aterro sanitário (disposição em valas ou trincheiras), *landfarming* (áreas de disposição onde o resíduo é degradado biologicamente na camada superior do solo) e reciclagem agrícola (destinado em solos agrícolas como fonte de nutrição para as plantas e

culturas). A reciclagem agrícola é a mais recomendada e a única alternativa regulamentada pela resolução 375 do CONAMA (2006), que além de inibir o impacto ambiental provocado pelas outras destinações, ela garante uma sustentabilidade com a sua reutilização em outras atividades do ramo da agricultura. Com base nisto, o presente trabalho consiste na aplicação do lodo gerado por uma ETE em determinado solo da região de Palmas - TO, visando também, apresentar uma análise de viabilidade econômica com relação aos nutrientes do lodo.

A metodologia a ser adotada, implica na coleta de corpos de prova do lodo da ETE Vila União de Palmas – TO. Os corpos de provas serão coletados de acordo com a técnica de amostragem aleatória simples, em conformidade com a NBR 10007 - Amostragem de Resíduos Sólidos. Após a coleta do material, o mesmo será encaminhado para o laboratório da empresa Terra Análises Para Agropecuária LTDA, a fim de identificar as características químicas do lodo e quantificar os nutrientes e metais pesados existentes. Posteriormente, será verificada a possibilidade da aplicação do lodo em determinado solo de Cerrado, bem como, realizada a análise da viabilidade econômica com relação aos nutrientes.

O trabalho foi estruturado através das seções: o capítulo 2 (Referencial Teórico) apresenta na seção 2.1 (Tratamento de Esgoto) os tipos de tratamento, introduzindo-os, apresentando as características (2.2), por fim, tipos de sólidos gerados no tratamento, na Seção 2.3. A seguir (Seção 2.4) é apresentada a definição lodo de esgoto, o processo para geração de lodo, características dos lodos das ETEs, tipos de tratamentos, legislação e disposição final. O Capítulo 3 descreve a metodologia adotada para o desenvolvimento deste projeto; e no seguinte capítulo, Capítulo 4, são apresentados os resultados e discussões encontrados. Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas as considerações finais.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Apresentar uma alternativa de uso do lodo de uma estação de tratamento de esgoto, de forma a minimizar riscos à saúde das pessoas e ao meio ambiente.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Descrever o funcionamento da Estação de Tratamento de Efluente da Vila União em Palmas TO;
- Quantificar os nutrientes e metais pesados do lodo da ETE da Vila União em Palmas TO;
- Analisar a possibilidade da aplicação do lodo em um determinado solo de Cerrado.
- Analisar a viabilidade econômica com relação aos nutrientes do lodo da ETE da Vila União em Palmas-TO

1.2. Justificativa

O aumento significativo de esgoto não tratado é cada vez mais frequente na zona urbana do Brasil, esse processo ocorre em razão do crescimento desordenado das cidades e da falha no planejamento por parte dos gestores públicos. A consequência resultante desse não tratamento dos efluentes e sua destinação final são divergentes ao ponto de vista da Saúde Pública, pois contribui diretamente na transmissão de doenças através de águas e solos contaminados, ocasionando assim, a poluição hídrica (danos aos ecossistemas aquáticos) e terrestre.

Para minimizar esses efeitos os profissionais que atuam no setor de saneamento geralmente propõem medidas como tratamento e gerenciamento eficaz dos efluentes. 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.

1.3. Problema

O lodo da ETE Vilão União, Palmas – TO poderá ser utilizado na cultura de forragens sem causar contaminação ambiental?

Levando em consideração que na maior parte dos casos o lodo gerado pela estação de tratamento de esgoto não é disposto de forma a corroborar com o meio ambiente e a saúde da população, a sua destinação direcionada a um solo designado a revitalização de uma praça, jardim, ou até mesmo na agricultura, tendo em vista que o mesmo pode ser rico em nutrientes, pode contribuir de forma eficaz, trazendo 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.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A presente seção abordará considerações no que tange aos tipos de tratamentos de esgoto, conceitos, características (Físico-Químicas e Microbiológicas) e tipos de tratamentos de lodos. Por conseguinte, a Legislação e Disposição do Lodo de Esgoto gerado pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs).

2.1. Tratamento de Esgoto

No Brasil, a falta de planejamento e competência, na maioria das vezes por parte das autoridades públicas, contribui diretamente para o crescimento urbano desordenado. Este aumento populacional descontrolado afeta principalmente as grandes áreas da Engenharia Civil (construção urbana, estruturas e fundações, infraestrutura, geotecnia, hidráulica e recursos hídricos, saneamento e transportes). Dentre estas, o setor de saneamento é um dos que mais enfrenta dificuldade. De acordo com Campos (1999 p. 21), 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.

O esgoto sanitário, segundo definição da norma brasileira (NBR-9648, ABNT 1986, p. 1) é o "despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária".

Conforme a FUNASA (2007, p. 184), existem quatro tipos de esgotos:

- Esgotos domésticos: incluem as águas contendo matéria fecal e as águas servidas;
- 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 são introduzem na rede.

Para que as águas residuária retornem ao sistema hídrico local é necessário que sejam inicialmente introduzidas nas ETEs, e somente após tratamento adequado em função do tipo de resíduo, possam ser conduzidas aos cursos d'água. A imagem a seguir (Figura 1), ilustra a esquematização de um exemplo do percurso do esgoto gerado por uma cidade até a ETE

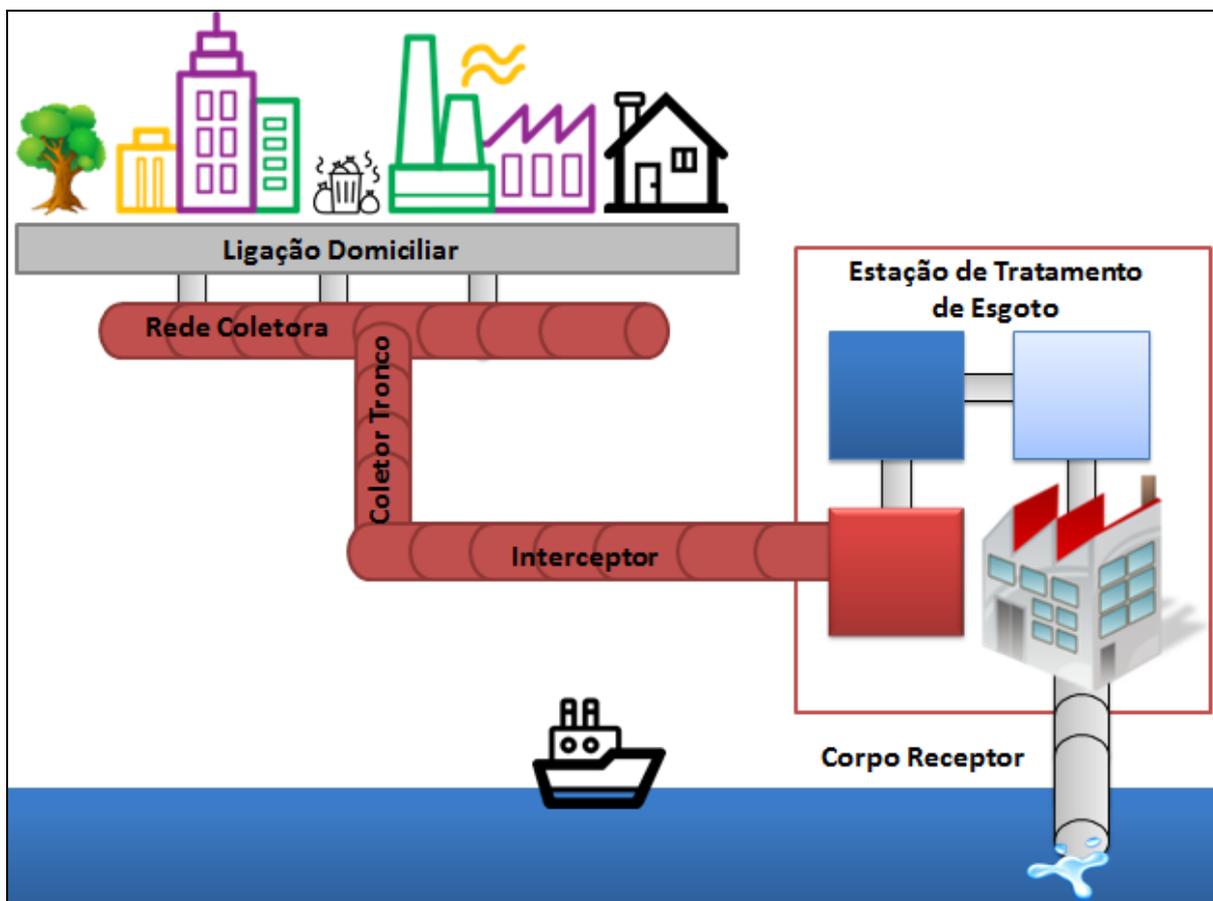


Figura 1 – Esquematização do percurso do esgoto

Conforme demonstrado na Figura 1, as casas, comércio e 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 policloreto 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, 2016, online).

A água residuária tratada de forma incorreta pode interferir diretamente na qualidade das águas dos rios, o comprometimento da saúde dos seres humanos, da fauna e flora, da pesca, da navegação, da geração de energia, entre outros setores e ambientes. Assim, enquanto Campos (1999, p. 15 e 16) descreve que a eficiência e a capacidade nominal de uma ETE, devem ser definidas e planejadas a partir de uma série complexa de fatores. Estes fatores podem abranger diferentes níveis, que por sua vez podem ser definidos como: tratamento primário, secundário e terciário. A Figura 2 mostra esquematicamente a composição de uma estação de tratamento completa convencional, até a desinfecção final:

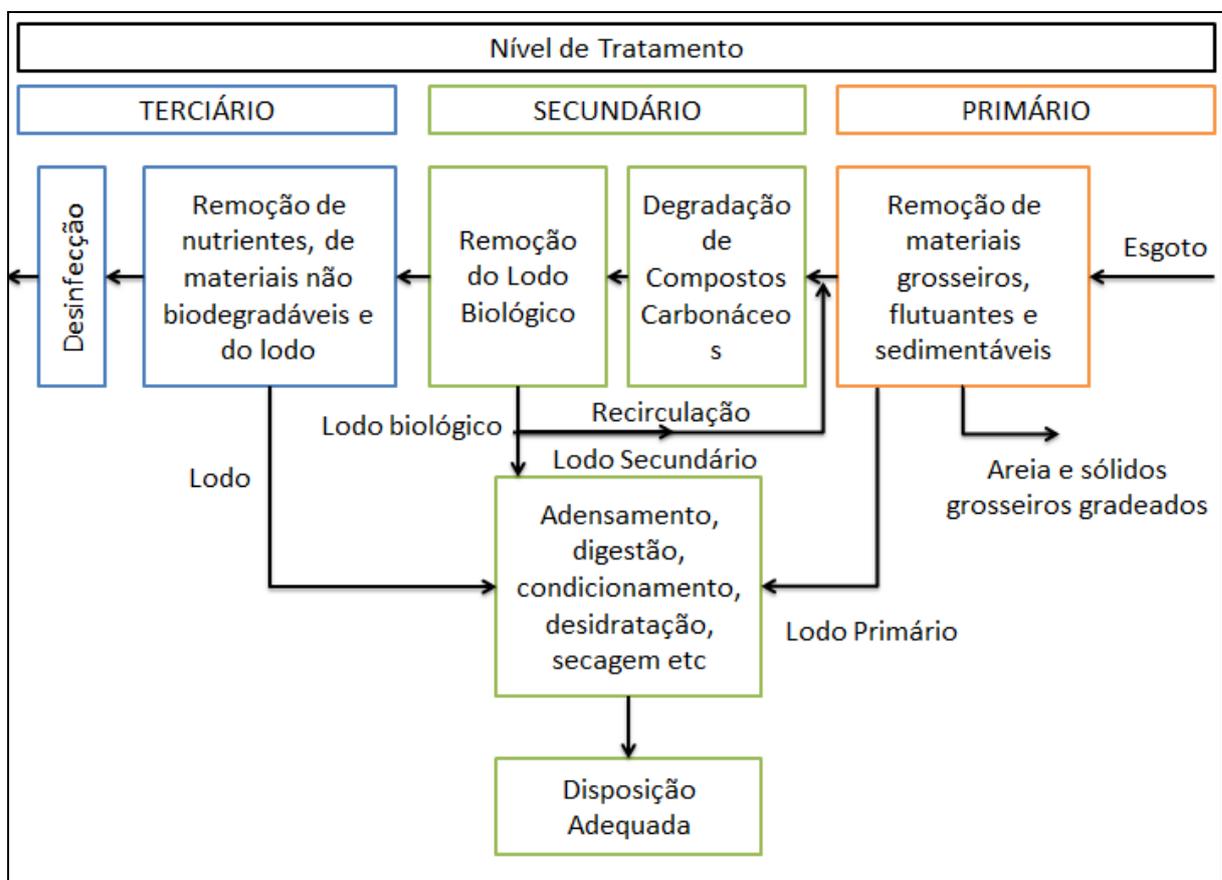


Figura 2 - Conceito de Sistema Convencional de Tratamento de Esgotos (CAMPOS, 1999, p. 16)

Von Sperling (1996, p. 139) afirma que existe uma etapa que antecede o tratamento primário, no caso, o tratamento preliminar. Entretanto, para o Autor Campos (1999), os tratamentos preliminares, como o gradeamento, fazem parte do sistema de tratamento primário. As seções a seguir explicarão de forma sucinta cada etapa do tratamento de esgoto.

2.1.1. Tratamento Preliminar

Von Sperling (1996, p. 139) 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, p. 92):

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

A separação de sólidos grosseiros em suspensão, presentes em efluentes líquidos pode ser feita, através das operações de gradeamento e peneiramento. (MELLO, 2007 p. 22)

2.1.2. Tratamento Primário

Este tratamento é definido por Campos (1999, p. 16) 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, p. 139), 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 poderá incluir (MARÇAL, 2004, p. 92):

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

2.1.3. Tratamento Secundário

Campos (1999, p. 16) 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, p. 139). De forma resumida o efluente passa pelo filtro biológico onde ocorre o tratamento secundário. São aqueles que apresentam tratamento biológico (MARÇAL, 2004, p. 92):

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

No caso da utilização das lagoas facultativas, pode-se destacar a urbanização da planta como fator relevante para o ambiente de trabalho do operador e para os visitantes. As lagoas facultativas fazem parte do tratamento secundário e são implantadas após o medidor de vazão (NASCIMENTO, 2007,p. 13).

2.1.4. Tratamento Terciário

Segundo Campos (1999, p. 17), este tratamento tem por objetivo a redução das concentrações de nitrogênio e fósforo, para o lançamento final do esgoto no corpo receptor, às vezes, é necessário proceder à desinfecção das águas residuais tratadas para a remoção dos organismos patogênicos ou, em casos especiais, à remoção de determinados nutrientes. O quadro a seguir (Quadro 1), faz um resumo destes quatro tratamentos apresentados anteriormente:

Quadro 1 - Características dos níveis de tratamento dos esgotos

Item	Nível de tratamento			
	Preliminar	Primário	Secundário	Terciário
Poluentes removidos	Sólidos grosseiros	<ul style="list-style-type: none"> Sólidos sedimentáveis Matéria orgânica sedimentável 	<ul style="list-style-type: none"> Sólidos não sedimentáveis Matéria orgânica não sedimentável Eventualmente nutrientes 	<ul style="list-style-type: none"> Matéria orgânica suspensa e dissolvida Compostos inorgânicos dissolvidos Nutrientes
Eficiência de remoção	—	<ul style="list-style-type: none"> Sólidos suspensos: 60 a 70% Matéria orgânica: 30 a 40% Patogênicos: 30 a 40% 	<ul style="list-style-type: none"> Matéria orgânica: 60 a 99% Patogênicos: 60 a 99% 	<ul style="list-style-type: none"> Patogênicos: próximo a 100% Nutrientes: 10 a 95% Metais pesados: próximo a 100%
Tipo de tratamento predominante	Físico	Físico	Biológico	<ul style="list-style-type: none"> Físico-químico Biológico
Cumprir o padrão de lançamento?	Não	Não	Usualmente sim	Sim
Aplicação	Montante de elevatória Etapa inicial de tratamento	Tratamento parcial Etapa intermediária de tratamento mais completo	Tratamento mais completo (para matéria orgânica)	Tratamento mais refinado e eficiente para produzir um efluente de melhor qualidade

Fonte: Guimarães (2001 p. 27)

O Quadro 1 faz uma comparação de cada etapa do tratamento de esgoto, onde é ressaltado os poluentes envolvidos em cada etapa, qual a porcentagem da eficiência da remoção, o tipo de tratamento que predomina, se é cumprido o padrão de lançamento e suas aplicações.

A Figura 3, mostra de forma geral o funcionamento esquemático do tratamento de esgoto, tendo como exemplo o Rio Tietê:

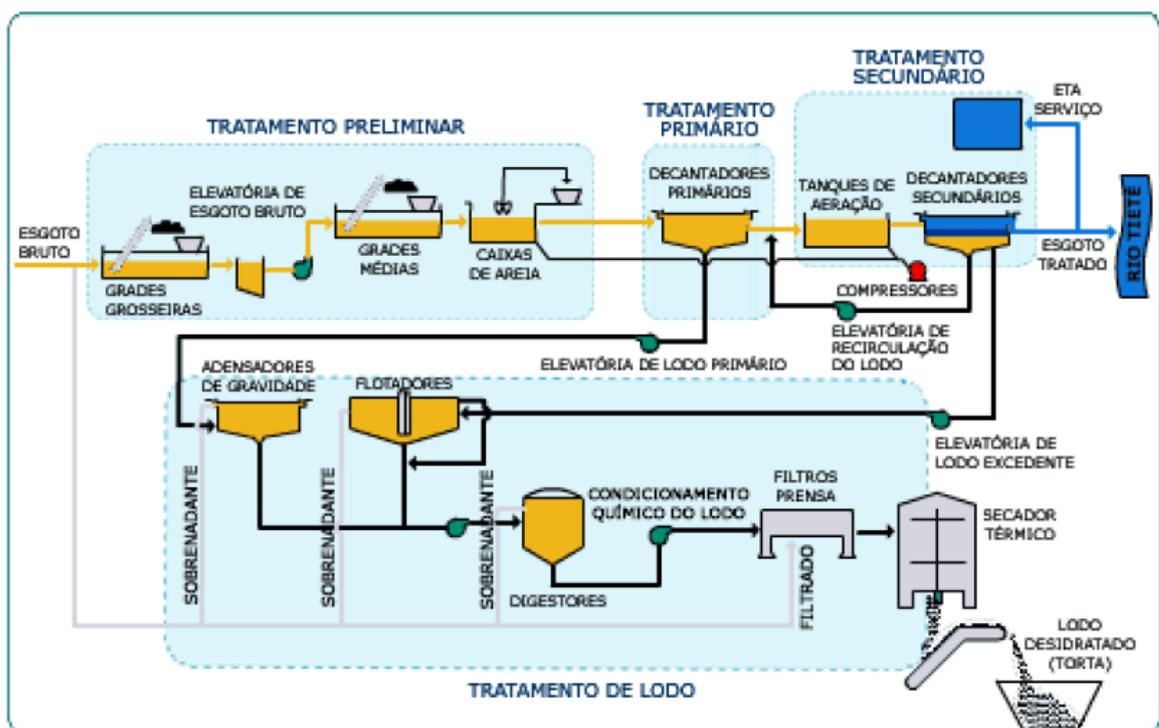


Figura 3 - Esquema usual de ETE (MELLO, 2007 p. 19)

2.2. Características do Esgoto

Campos (1999, p. 6) 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. Pertencem a essa classe itens como entulhos de construção, borracha e vidro), sólidos grosseiros (apresentam características similares ao lixo urbano), compostos não biodegradáveis, organismos patogênicos e contaminantes tóxicos decorrentes de atividades industriais ou acidentais.

As principais características físicas ligadas aos esgotos domésticos são: matéria sólida, temperatura, odor, cor e turbidez e variação de vazão (FUNASA, 2006, p. 155):

- **Matéria sólida:** os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água, e apenas 0,1% de sólidos. É devido a esse percentual de 0,1% de sólidos que ocorrem os problemas de poluição das águas, trazendo a necessidade de se tratar os esgotos;
- **Temperatura:** a temperatura do esgoto é, em geral, pouco superior à das águas de abastecimento. A velocidade de decomposição do esgoto é proporcional ao aumento da temperatura;
- **Odor:** os odores característicos do esgoto são causados pelos gases formados no processo de decomposição, assim o odor de mofo, típico do esgoto fresco é razoavelmente suportável e o odor de ovo podre, insuportável, é típico do esgoto velho ou séptico, em virtude da presença de gás sulfídrico;
- **Cor e turbidez:** a cor e turbidez indicam de imediato o estado de decomposição do esgoto. A tonalidade acinzentada acompanhada de alguma turbidez é típica do esgoto fresco e a cor preta é típica do esgoto velho;
- **Variação de vazão:** a variação de vazão do efluente de um sistema de esgoto doméstico é em função dos costumes dos habitantes. A vazão doméstica do esgoto é calculada em função do consumo médio diário de água de um indivíduo. Estimase que para cada 100 litros de água consumida, são lançados aproximadamente 80 litros de esgoto na rede coletora, ou seja 80%.

As principais características químicas dos esgotos domésticos são: matéria orgânica e matéria inorgânica (FUNASA, 2006, p. 155 e 156):

- Matéria orgânica: cerca de 70% dos sólidos no esgoto são de origem orgânica, geralmente esses compostos orgânicos são uma combinação de carbono, hidrogênio e oxigênio, e algumas vezes com nitrogênio. Os grupos de substâncias orgânicas nos esgotos são constituídos por: proteínas (40% a 60%), carboidratos (25% a 50%), gorduras e óleos (10%) e uréia, sulfatans, fenóis, etc.
 - Proteínas: são produtoras de nitrogênio e contêm carbono, hidrogênio, oxigênio, algumas vezes fósforos, enxofre e ferro. As proteínas são o principal constituinte de organismo animal, mas ocorrem também em plantas. O gás sulfídrico presente nos esgotos é proveniente do enxofre fornecido pelas proteínas;
 - Carboidratos: contêm carbono, hidrogênio e oxigênio. São as principais substâncias a serem destruídas pelas bactérias, com a produção de ácidos orgânicos,(por esta razão os esgotos velhos apresentam maior acidez);
 - Gordura: proveniente geralmente do esgoto doméstico graças ao uso de manteiga, óleos vegetais, da carne, etc;
 - Sulfatans; são constituídos por moléculas orgânicas com a propriedade de formar espuma no corpo receptor ou na estação de tratamento de esgoto;
 - Fenóis: são compostos orgânicos originados em despejos industriais.
- Matéria inorgânica: Nos esgotos é formada principalmente pela presença de areia e de substâncias minerais dissolvidas.

As principais características biológicas do esgoto doméstico são: microorganismos de águas residuais e indicadores de poluição (FUNASA, 2006, p. 155):

- Microorganismos de águas residuais: os principais organismos encontrados nos esgotos são: as bactérias, os fungos, os protozoários, os vírus e as algas. Deste grupo as bactérias são as mais importantes, pois são responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica, tanto na natureza como nas estações de tratamento.
- Indicadores de poluição: há vários organismos cuja presença num corpo d'água indica uma forma qualquer de poluição. Para indicar, no entanto a poluição de origem humana usa-se adotar os organismos do grupo coliforme como indicadores. As bactérias coliformes são típicas do intestino do homem e de outros animais de sangue

quente (mamíferos) e por estarem presentes nas fezes humanas (100 a 400 bilhões de coliformes/hab.dia) e de simples determinação, são adotadas como referência para indicar e medir a grandeza da poluição. Seria por demais trabalhoso e antieconômico se realizar análises para determinar a presença de patogênicos no esgoto; ao invés disto se determina a presença de coliformes e, por segurança, se age como se os patogênicos também estivessem presentes.

2.3. Tipos de sólidos gerados no tratamento de esgoto

Em uma estação de tratamento, são gerados e separados diversos materiais sólidos, que por sua vez estes materiais ocupam papel destaque no que tange ao condicionamento e a destinação. A seguir serão descritos os sólidos removidos das ETEs (MIKI 2006, p. 50):

- **Material Gradeado:** são os materiais retidos na fase de gradeamento (tratamento preliminar), pois estes materiais podem provocar danos nos equipamentos que dão subsequências as etapas dos tratamentos de esgoto, como por exemplo, equipamentos de bombeamento e pontes de remoção de lodo. Normalmente são destinados aos aterros sanitários. De acordo com Araújo (2008, p. 26), do esgoto bruto pode-se esperar em torno de 30 a 90 litros de sólidos grosseiros por 1000 m³ de esgoto.
- **Areia:** é separada no desarenador, usualmente ele envolve os sólidos inorgânicos mais pesados, que sedimentam com velocidades elevadas (VON SPERLING 2001, p. 19 e 20). Devido este material ter a consistência bastante abrasiva, é imprescindível que ele seja removido para que os equipamentos mecânicos não sofram desgastes, pois a areia tende a sedimentar e acumular nos tanques. Assim como os materiais são depositados nos aterros sanitários, esta areia gerada e removida também segue o mesmo destino. Araújo (2008, p. 27) relata que de todo esgoto bruto gerado, espera-se uma quantidade de 20 a 60 litros de areia para cada 1000 m³ de esgoto, mas que essa quantidade depende da qualidade da ETE.
- **Escuma:** é composta de materiais com a densidade menor que a da água, tais como as graxas, óleos, plásticos, papeis, resíduos de alimentos, entre outros. Este material é expulso por meio de decantadores primários e secundários e logo em seguida, com o auxílio de bombas, são encaminhados para outros procedimentos de tratamento e disposição final. De acordo com Von Sperling (2001, p. 19 e 20) no tratamento secundário, os reatores biológicos também produzem escumas, na sua composição existe presença de bactérias, esta escuma é removida nos decantadores secundários por

raspagem na superfície. Esta disposição ocorre em aterros sanitários, digestores anaeróbios, etc. Araújo (2008, p 27) afirma que a quantidade deste material é bem pequena, aproximadamente de 3 a 12 kg para cada 1000 m³ de esgoto.

- Lodo: são os sólidos gerados durante o processo de tratamento de esgoto antes do tratamento adequado para a disposição final. Araújo (2008, p. 28) explica que o lodo deve ser separado entre, lodo primário (material sedimentável no esgoto bruto) e lodo secundário (produzidos nos sistemas de tratamento biológico). Estima-se que o lodo, corresponde a 95% de água, e que por convenção é designado em fase sólida, diferenciando-se do fluxo do líquido em tratamento. Este resíduo gerado corresponde entre 20 a 60% dos custos operacionais. Diante estes fatos, este estudo destacará o lodo da ETE como tema principal, abrangendo suas principais características, enfatizando sua geração, as propriedades que o compõem, os tipos de tratamento e por fim a legislação e destinação final deste resíduo.

2.4. 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, p. 6) 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 fiscalizações e exigências intensificaram conforme as mudanças nas leis e normativas.

Von Sperling (2001, p. 13) define Lodo como sendo um subproduto sólido do tratamento de esgoto, nos processos biológicos é denominado de biossólido. Andreoli (2006, p. 09) utiliza o termo “lodo” para designar os sólidos gerados durante o processo de tratamento de esgoto.

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, a possibilidades de destinação.

2.4.1. Geração de Lodo

Segundo Andreoli (2006, p. 08), o lodo biológico normalmente representa o maior e mais importante componente, porém os outros tipos de lodos são retidos em diferentes operações nos sistema de tratamentos. Estes lodos de acordo com Von Sperling (2001, p. 19 e 20) 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.

2.4.2. Características dos Lodos nas ETEs

Segundo Fernandes (2000) a composição média do esgoto aponta para uma mistura de água (99,9%) e sólidos (0,1%), sendo que, do total de sólidos, 70% são orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras) e 30% inorgânicos (partículas minerais, sais e metais). Durante o processo de tratamento, ocorre a separação das frações sólidas e líquida.

De acordo com Campos (1999, p. 271) os lodos podem exibir duas características indesejáveis:

- Instabilidade biológica: devido à existência de um grande volume de material orgânico biodegradável nos lodos primários e secundários (aeróbios), é aconselhável utilizar uma digestão anaeróbia para reduzir o teor de material biodegradável.
- Qualidade higiênica péssima: dando ênfase ao esgoto sanitário, existe uma grande quantidade e variedade de vírus, bactérias e parasitas que constituem uma ameaça à saúde pública.

Campos (1999, p. 272) explica que o lodo secundário aeróbio tem natureza distinta com relação ao anaeróbio. No aeróbio, a fração de massa bacteriana é elevada (dependendo da idade do lodo pode chegar de 50 a 90% da massa bacteriana), enquanto o anaeróbio possui uma fração reduzida que chega de 2 a 20% da massa bacteriana.

2.4.2.1. Propriedades Físico-Químicas e Microbiológicas

De acordo com Bettiol e Camargo (2006, p. 27), o lodo de esgoto pode apresentar uma composição inconstante de uma ETE para outra. Diversos são os fatores físicos que fazem esta variação em sua composição, como: o processo como um todo do tratamento de esgoto e de seu carácter sazonal, a região de coleta (residencial ou industrial), a época do ano, entre outros. Já Fernandes (1999, p. 27) cita os fatores mencionados anteriormente, bem como os seguintes:

- A densidade populacional;
- O tipo de urbanização;
- Os hábitos sanitários;

- As condições ambientais;
- O perfil de saúde da comunidade que gera o lodo;

O lodo de esgoto apresenta em torno de 40% de matéria orgânica, 4 % de nitrogênio, 2% de fósforo, e o restante macro (Mg, S e Ca) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Zn, Mo, Cl, Co, Si, Mn e Na), além de elementos tóxicos. Na figura a seguir (Figura 4), pode-se observar as variações da composição de lodos de esgoto gerados em uma ETE (BETTIOL E CAMARGO, 2006, p. 27):

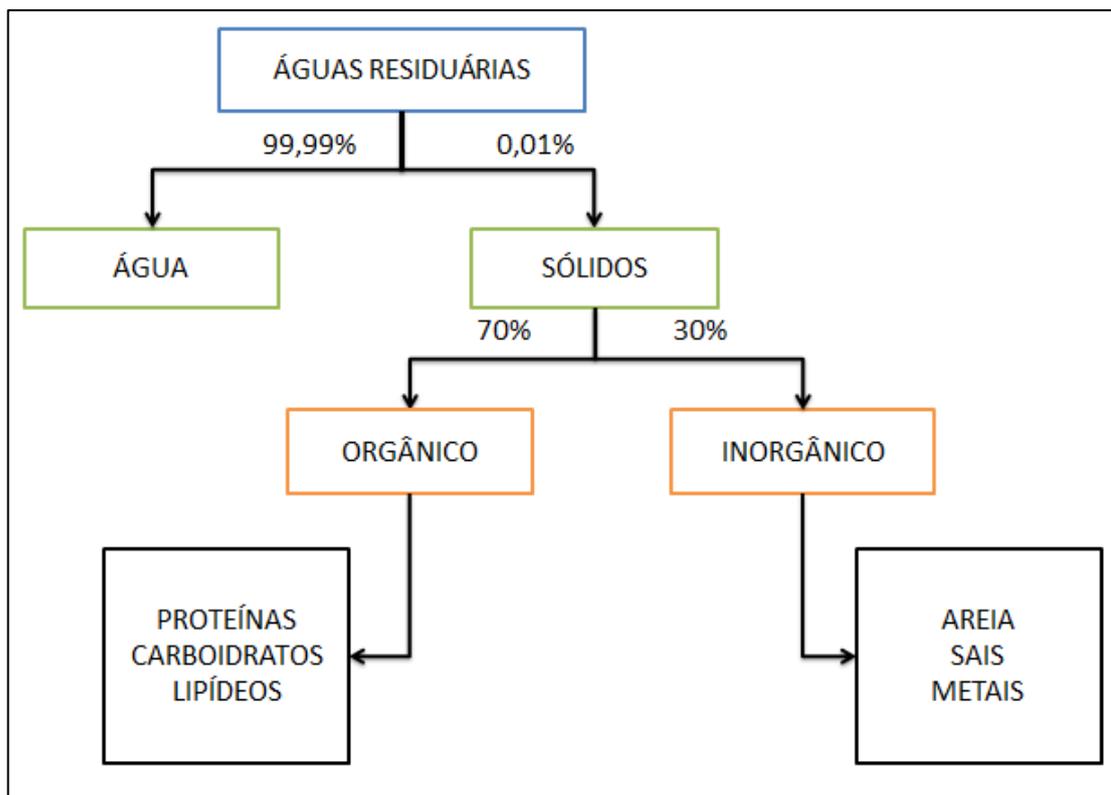


Figura 4- Composição do esgoto doméstico Bettiol e Camargo (2006, p. 28) apud Mello e Marques (2000)

Conforme mencionado na seção anterior (2.4.2 Características dos Lodos nas ETEs), de todo esgoto encaminhado para uma ETE, apenas 0,01% do total são considerados sólidos. Estes sólidos são divididos em orgânicos (substâncias derivadas de cadeias carbônicas) que correspondem a 70% dos sólidos e inorgânicos (referem a substâncias como metais) correspondente a 30%. Podem ser encontradas diversas substâncias orgânicas nos lodos, como por exemplo, os macronutrientes mais localizados, são as proteínas, carboidratos e lipídeos, já nas substâncias inorgânicas, encontram-se principalmente areia, sais e metais. A tabela a

seguir (Tabela 1) apresenta a composição química e algumas propriedades típicas do lodo de esgoto:

Tabela 1 - Composição química e algumas propriedades típicas do lodo de esgoto

Item	Unidade	Lodo Secundário		Lodo Primário	
		Faixa	Típico	Faixa	Típico
Sólidos Totais	%	2,0-8,0	5,0	6,0-12,0	10,0
Sólidos Voláteis	% de ST	60-80	6,5	30-60	40
Nitrogênio	% de ST	1,5-4,0	2,5	1,6-6,0	3,0
Fósforo	% de ST	0,8-2,8	1,6	1,5-4,0	2,5
Potássio	% de ST	0-1,0	0,4	0-3,0	1,0
pH	-	5,0-8,0	6,0	6,5-7,5	7,0
Alcalinidade	Mg CaCO ₃ /l	500-1500	600	2500-3500	3000

Fonte: Campos (1999, p. 272) apud Metcalf e Eddy (1991)

Conforme apresentada na Tabela 1, parte de uma composição química de um lodo gerado por uma ETE pode conter diversas propriedades, grande parte dela pode trazer benefícios se este tiver uma destinação agrônômica, como por exemplo, aplicação em solos agrícolas, pois de acordo com Bettiol e Camargo (2006, p. 29) os lodos possuem macronutrientes (nitrogênio e fósforo) e micronutrientes (zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio) que são suficientes para uma boa cultura. Entretanto, apesar de todas as características positivas que os componentes podem trazer, deve-se conhecer toda sua composição química, pois na maioria dos casos pode-se encontrar elementos tóxicos e agentes patogênicos, que podem trazer impactos ambientais negativos.

Von Sperling (2001, p. 69) mostra que estes componentes indesejáveis que podem ser encontrados nos lodos, são agrupados genericamente em:

- Metais Pesados:

Os principais elementos químicos enquadrados neste conceito são: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se e Zn. Estes Metais tornam-se tóxicos e perigosos para a saúde humana quando ultrapassam grandes quantidades concentradas (limite).

De acordo com Andreolli (1999, p. 21), os metais pesados presentes no lodo podem ter três origens: (1) Rejeitos domésticos: canalizações, fezes e água residuárias de lavagem que contem alguns metais. (2) Águas pluviais: as águas de escoamento de superfícies metálicas ou das ruas carregam resíduos de metais dispersos na fumaça de veículos. (3) Efluentes

industriais: são principal fonte de metais no esgoto, contribuindo com certos tipos específicos de cátions de acordo com a atividade de indústria.

O Quadro 2 trás uma relação entre os efeitos que os principais metais pesados podem trazer para a saúde humana:

Quadro 2 - Síntese dos efeitos dos principais metais pesados sobre a saúde humana

Metais Pesados	Efeitos sobre a saúde humana
Cádmio (Cd)	Provoca desordem gastrointestinal grave, bronquite, efizema, anemia e cálculo renal.
Chumbo (Pb)	Provoca cansaço, ligeiros transtornos abdominais, irritabilidade e anemia.
Cromo (Cr)	Em doses baixas causa irritação nas mucosas gastrointestinais, úlcera e inflamação da pele. Em doses altas causa doenças no fígado e nos rins, podendo levar à morte.
Mercúrio (Hg)	Causa transtornos neurológicos e renais, tem efeitos tóxicos nas glândulas sexuais, altera o metabolismo do colesterol e provoca mutações.

Fonte Barros et al (1995)

- Poluentes orgânicos variados;

Compostos orgânicos tóxicos podem estar presentes no lodo devido às seguintes fontes de contaminação: (1) Doméstica: restos de solventes, pinturas, detergentes; (2) Efluentes industriais: indústrias químicas em geral; (3) Águas pluviais: infiltram-se na rede coletora de esgoto carreando resíduos de produtos utilizados em veículos automotores, pesticidas, etc (FERNANDES, 1999 p. 37).

- Microrganismos patogênicos.

Podem ser divididos em quatro grupos: fungos, vírus, bactérias e parasitas. Na grande parte dos sistemas de tratamento de esgoto, os microrganismos ficam adsorvidos às partículas sólidas e tendem a se desenvolver durante a fase de decantação, concentrando-se no lodo de esgoto. No entanto, o volume de patógenos presentes no lodo é inconstante, pois está ligado

às características da comunidade e ao tipo de tratamento a que o lodo foi submetido (FERNANDES, 1999 p. 33).

O quadro a seguir (Quadro 3), apresenta os principais agentes patogênicos no lodo correlacionados com as doenças causadas:

Quadro 3 - Principais agentes patogênicos no lodo correlacionados com as doenças causadas

ORGANISMO	DOENÇAS /SINTOMAS
BACTÉRIA	
Salmonella sp.	Salmonelose. Febre tifóide
Shigella sp.	Desintéria bacilar
Yersinia sp.	Gastroenterite aguda (inclusive diarreias e dores abdominais).
Vibrio cholerae	Cólera
Campylobacter jejuni	Gastroenterite
Escherichia coli (cepas patogênicas)	Gastroenterite
VÍRUS ENTÉRICOS	
Vírus da hepatite A	Hepatite infecciosa
Virus e semelhantes	Gastroenterite epidêmica e diarreia grave
Rota vírus	Gastroenterite aguda e diarreia grave
ENTEROVÍRUS	
Poliovírus	Poliomielite
Coxsackievirus	Meningite, pneumonia, hepatite, febre, sintomas parecidos com a gripe
Ecovirus	Meningite, paralisia, encefalite, febre, sintomas de gripe, diarreia
Reovirus	Infecções respiratórias, gastroenterite
Astrovirus	Gastroenterite epidêmica
Calicivirus	Gastroenterite epidêmica
PROTOZOÁRIOS	
Cryptosporidium sp.	Gastroenterite
Entamoeba histolitica	Enterite aguda
Giardia lamblia Giardíase	(inclusive diarreia, câimbras abdominais e

Balantidium coli	perda de peso). Diarreia e desintéria.
Toxoplasma gondii	Toxoplasmose.
HELMINTOS	
Ascaris lumbricoides	Distúrbios digestivos e nutricionais, dores abdominais, vômitos, cansaço.
Ascaris suum	Pode produzir sintomas como dor no peito, tosse e febre
Trichuris trichiura	Dores abdominais, diarreia e anemia, perda de peso
Toxocara canis	Febre, desconforto abdominal, dores musculares, sintomas neurológicos.
Taenia saginata	Nervosismo, insônia, anorexia, dores abdominais, distúrbios digestivos.
Taenia solium	Nervosismo, insônia, anorexia, dores abdominais, distúrbios digestivos.
Necator americanus	Doença de Hookworm
Hymenolepis nana	Teníase

Fonte: Fernandes (1999, p. 35) apud Environmental Protection Agency (1992).

2.4.3. Tipo de Tratamento do Lodo

De acordo com Von Sperling (2001, p. 30) as principais etapas do tratamento e gerenciamento do lodo são resumidas 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);

Para quantificar a produção do lodo em massa e em volume, deve-se entender a relação entre o teor de sólidos e de umidade. Von Sperling (2001, p. 43) 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 de acordo com a facilidade de separação (VON SPERLING, 2001 p. 43 apud VAN HAANDEL 1994):

- Água livre: removida por gravidade (adensamento e/ou flotação);
- Água adsorvida: removida por força mecânica ou pelo uso de floculante;
- 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.

Um dos principais objetivos do tratamento do lodo é transformar o sólido, com operações simplificadas que tenham bom custo benefício e sejam ambientalmente seguras. Para tanto as seguintes seções (2.4.3.1 à 2.4.3.5) abordarão o funcionamento de cada etapa do tratamento e gerenciamento do lodo.

2.4.3.1. Adensamento

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 tipos de adensamento mais comum são (ANDREOLI, 2006 p. 50-51):

- Adensamento por gravidade: é o processo mais utilizado nas ETEs, nele o lodo entra por um poço central do tanque, situado na parte superior, logo em seguida sofre um processo de sedimentação e compactação, onde o lodo adensado é encaminhado para outra unidade de processo, e a água é escoada através de vertedores periféricos do tanque, retornando para o início do processo de tratamento de esgoto.
- Adensamento por Flotação: a separação é realizada por meio da introdução de bolhas de ar finamente divididas na fase líquida. Estas bolhas diminui a densidade do material. O empuxo resultante deste processo é suficiente para transportar as partículas até a superfície, sendo removidas posteriormente através de um raspador.
- Adensamento por Centrífugas: recomendado para lodo biológico de descarte. Neste processo o adensamento envolve a sedimentação das partículas de lodo sob influência de força centrífuga.

Silva (2007, p. 101) enfatiza que deve-se concentrar separadamente os lodos primário e secundário em unidades de adensamento adequadas para cada um dos lodos (lodo primário em adensadores por gravidade e lodo secundário em adensadores mecânicos por flotação).

2.4.3.2. Estabilização

O processo de Estabilização se resume na remoção de matéria orgânica (redução de sólidos voláteis). Conforme relatado na seção anterior (2.4.2.1. Propriedades Físico-Químicas e Microbiológicas), 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.

Von Sperling (2001, p. 123) explica que este processo pode ser dividido em três sub-processos, conforme pode ser observado na figura a seguir:

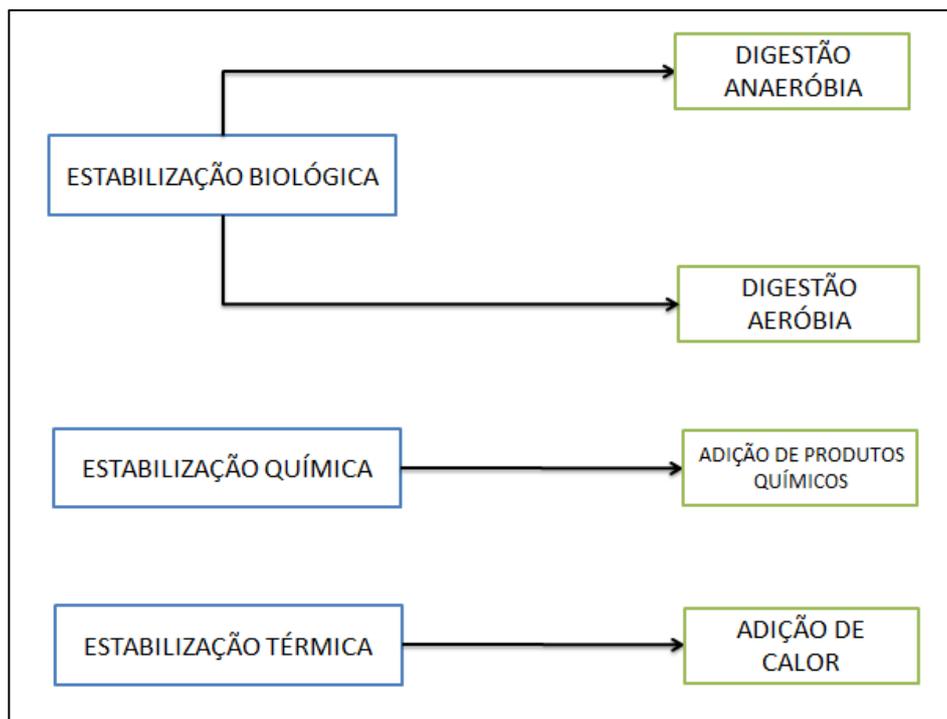


Figura 5 - Principais processos de estabilização do Lodo (VON SPERLING, 2001 p. 123)

De acordo com a Figura 5, o processo de estabilização biológica utiliza bactérias específicas para promover a estabilização da fração biodegradável da matéria orgânica. Entretanto o processo de estabilização química é atingido mediante a oxidação química da matéria orgânica. Já o processo de estabilização térmica é obtido a partir da ação do calor sobre a fração volátil em recipientes hermeticamente fechados (VON SPERLING, 2001, p. 123).

Assim como Von Sperling (2001, p. 123) o autor Andreoli (2006, p. 57) afirma que este processo de estabilização do lodo tem como objetivo reduzir a quantidade de patógenos, eliminar os maus odores e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação. Para Andreoli (2006), os meios de atingir a estabilização são definidas em quatro etapas:

- Redução biológica do conteúdo de sólidos voláteis;
- A oxidação química da matérias orgânica;
- A adição de produtos químicos no lodo de modo a impedir a sobrevivência de microrganismos;
- Aplicação de calor para desinfetar ou esterilizar o lodo.

Uma das tecnologias mais empregadas para a execução deste processo de estabilização é: (1) estabilização com cal – neste processo a cal eleva o valor de pH acima ou igual a 12, fazendo com que não sobreviva microrganismos no lodo. (2) Digestão anaeróbia – possui o menor custo operacional. (3) Digestão aeróbia – alto custo operacional. (4) compostagem – de acordo com Campo (1999, p. 294) é um processo de tratamento biológico, onde uma mistura inicial de resíduos é submetida à ação de vários grupos de microrganismos.

2.4.3.3. Condicionamento

Esta etapa faz a preparação para a desidratação (principalmente mecânica), neste processo segundo Von Sperling (2001, p. 173) o condicionamento pode ser realizado através da utilização de produtos químicos inorgânicos (sais férricos, ferrosos, de alumínio e óxido ou hidróxido de cálcio), de produtos químicos orgânicos (polieletrólitos orgânicos) ou de tratamento térmico. Andreoli (2006, p. 62) descreve como sendo um processo para melhorar as características de separação das fases sólida-liquida do lodo, seja por meio físicos ou químicos. De acordo com Andreoli (2006, p. 63-67) três fatores podem afetar o condicionamento do lodo:

- Físicos: (1) distribuição e tamanho das partículas – quanto menor o tamanho da partícula, maior será a relação entre o volume e a superfície. (2) grau de mistura – a intensidade da mistura.
- Químicos: (1) pH e alcalinidade – parâmetros mais importantes que afetam o condicionamento do lodo. (2) concentração de sólidos – o consumo de produtos químicos aumenta à medida que a concentração de sólidos aumenta. (3) carga superficial – faz com que as partículas repelem-se umas às outras, devido aos efeitos elétricos ou de hidratação. (4) natureza da associação água-sólido no lodo.
- Biológicos: a fonte de lodo e a natureza dos sólidos originados de um processo unitário afetam o condicionamento.

2.4.3.4. Desaguamento

Consiste na remoção de umidade (redução de volume), Andreoli (2006, p. 74) define esta etapa como sendo uma operação unitária física (mecânica) que reduz o volume do lodo por meio de redução do seu teor de água. Existem alguns motivos para justificar essa redução:

- Os custos do transporte do lodo para o local de disposição final. Tendo um menor volume a ser transportado menor será o custo;
- O lodo desaguado é mais fácil de ser manipulado;
- Facilita o processo de incineração;
- Garante uma redução na geração de maus odores;
- Se a disposição final for um aterro sanitário, o desaguamento diminui a produção de chorume.

De acordo com Von Sperling (2001, p. 162), este processo pode ser realizado de duas maneiras: (1) meios naturais, utiliza-se evaporação e a percolação como principal mecanismo de remoção de umidade, conseqüentemente este processo se torna mais demorado. (2) meios mecanizados, baseiam-se em mecanismos, tais como, filtração, compactação ou centrifugação, o que torna este processo acelerado, portanto seu custo operacional é mais elevado com relação ao anterior.

Os principais processos utilizados para o desaguamento de lodos segundo Von Sperling (2001, p. 163):

- Leitões de Secagem;
- Lagoas de Lodos;
- Centrífugas;
- Filtros a Vácuo;
- Prensas Desaguadoras;
- Filtros Prensa.

2.4.3.5. Higienização

Está etapa requer um cuidado especial, pois uma das maiores preocupações no lodo, é que em sua composição pode existir microrganismos patogênicos, dentre eles: bactérias, vírus, protozoários, parasitas intestinais e seus ovos. Assim para os responsáveis diretos por todo o gerenciamento do lodo é imprescindível que esteja munido de equipamentos de proteção individual.

Segundo Campos (1999, p. 291), o lodo gerado pela ETE apresenta algumas características indesejáveis, tais como: odores desagradáveis, presença de microrganismos patogênicos, elementos tóxicos de origem orgânica ou mineral e dificuldade de desidratação.

Estas características se tornam mais frequentes quando o lodo se encontra mais “fresco”, conforme vão acontecendo as etapas e o lodo começa a atingir o processo de biodegradação, estas características indesejáveis começam a se tornar toleráveis, na medida em que o lodo se estabiliza. Desta forma a higienização esta ligada diretamente à estabilização do lodo, e esta estabilização esta correlacionada à sua destinação final, ou seja, dependendo de qual será a destinação pode mudar o parâmetro de estabilização. Alguns parâmetros para a estabilização: Odor, Redução de Patógenos, Redução de Sólidos Voláteis, Toxidade, Taxa de Absorção de O₂, Atividade Enzimática , Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH e alcalinidade, entre outros.

Segundo Manzochi (2008, p. 45 a 50) existem diferentes métodos para higienização do lodo da ETE:

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

2.4.4. Legislação para Destinação do Lodo

O lodo gerado pela ETE é um material resultante dos processos de tratamento primário e secundário e sua composição possui diversas características. Esses tratamentos são necessários para adequar os efluentes aos padrões de lançamento impostos pela legislação vigente, removendo ou reduzindo as concentrações de substâncias presentes no esgoto que poderiam causar impacto ao meio ambiente e a população. No entanto, devido ao grande volume, o destino do lodo produzido vem preocupando pesquisadores, órgãos ambientais, legisladores, e as empresas de tratamento do esgoto, em todo o mundo.

Conforme a Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que dispõe diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos. E também o Decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que também criou o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, os principais objetivos dessa lei são:

- Proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;
- Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- Gestão integrada dos resíduos sólidos;
- Incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
- Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético.

Segundo o CONAMA (2006), a resolução de número 375, de agosto de 2006 define os 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. Considerando que o lodo de esgoto sanitário constitui fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas e que sua aplicação no solo pode trazer benefícios à agricultura, diante disto, a reciclagem a agrícola é única alternativa regulamentada pela resolução 375 do CONAMA (2006). A próxima seção apresentará as possíveis disposições encontradas nas referenciais bibliográficas a seguir:

2.4.5. Disposição do Lodo de Esgoto

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. No quadro a seguir (Quadro 4) Von Sperling (2001, p. 468) apresenta as principais opções para disposição final do lodo gerado pela ETE.

Quadro 4 - 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.
Aterro Sanitário	Disposição de resíduos em valas ou trincheiras, compactadas e recobertas com

	solo até seu total preenchimento.
Landfarming	Áreas de disposição de resíduos onde o substrato orgânico do resíduo é degradado biologicamente na camada superior do solo
Reciclagem Agrícola	Disposição do lodo em solos agrícolas em associação ao plantio de culturas

Fonte: adaptado de Von Sperling (2001, p. 468)

O volume de lodo líquido produzido em uma ETE corresponde a apenas de 2% do volume de esgoto tratado. O custo do tratamento e disposição final do lodo responde por cerca de 30 a 50% do custo operacional da ETE (MANZOCHI, 2008 p. 33, apud KROISS 2007). Conforme Campo (1999, p.297) apresenta na tabela a seguir (Tabela 2), os custos das alternativas de disposição final são bastante variados:

Tabela 2 - Comparação dos custos da disposição final do lodo de esgoto para algumas alternativas

Alternativas de disposição final	Custo (US\$/t)
Aterros Sanitários	20 a 60
Incineração	55 a 250
Reciclagem Agrícola	20 a 125

Fonte Campos (1999, p. 297) apud ANDREOLI, et al (1997)

Von Sperling (2001, p. 319) apresenta duas categorias que pode-se agrupar estas disposições apresentadas anteriormente - (a) uso benéfico: a sua aplicação tem por objetivo utilizar as propriedades que compõem o lodo como fertilizantes e condicionador do solo (reciclagem agrícola e reflorestamento); (b) descarte: quando as práticas utilizam o solo como descarte para decomposição do resíduo, sem tirar proveito de suas propriedades benéficas.

2.4.5.1. Incineração

Segundo Von Sperling (2001, p. 406), este processo implica na destruição das substâncias orgânicas presentes no lodo através de combustão, obtida na presença de excesso

de oxigênio. Neste processo de queima, toda matéria orgânica incluindo os organismos patogênicos são destruídos.

Devido este método ser totalmente prejudicial ao meio ambiente, por causa da 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, p. 407 e 408). Outro problema se torna na disposição das cinzas geradas por este processo.

2.4.5.2. Reciclagem Agrícola

De acordo com Von Sperling (2001, p. 322 - 327), este método é o mais comum e utilizado dentre os outros. Do ponto de vista agrônomo, os lodos gerados pelas ETEs, apresentam grandes quantidades de nutrientes que são essenciais para as plantas, lavouras ou culturas, como por exemplo, os principais nutrientes encontrados são o K (Potássio), N (Nitrogênio) e P (Fósforo).

O K está presente em pequenas quantidades, todavia encontra-se em forma prontamente assimilável pelas plantas e normalmente é suplementado por fertilizantes químicos nos solos adubados com lodo. O N é o elemento de maior valor econômico do lodo, e também o mais aceitável pelas culturas, ou seja, apresenta maior resposta. O P é um elemento importante para o desenvolvimento vegetativo e de produção da planta, porém as plantas precisam de quantidade pequenas dele (VON SPERLING, 2001 p. 322 - 327).

Conforme Von Sperling (2001, p. 333) apesar dos nutrientes existentes no lodo apresentarem diversas vantagens que favorecem o seu uso nas plantas, entretanto também são encontrados em sua composição metais pesados, que se utilizados acima de certos limites, poderá ser tóxico aos organismos do solo, plantas e ao ser humano. Os seus limites de toxicidades são bastantes estreitos, o que se implica no acompanhamento constante das quantidades destes elementos aplicados no solo, junto ao bio-sólido. Os elementos mais encontrados são: As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Mo, Pb, Se, Zn e Co.

Visto os elementos que compõem o bio-sólido gerado pela ETE, Lara (1999, p. 83), 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 potências; (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.

2.4.5.3. Landfarming

Neste método de disposição final do lodo gerado pela ETE, não há a utilização dos nutrientes e matéria orgânica do lodo para fins produtivos, pois o principal objetivo é a biodegradação do lodo através dos microrganismos que existem no perfil arável e a retenção de metais na camada superficial do solo. Diante destes fatos, esse processo não tem a finalidade agrícola, pois as taxas de aplicação de lodo neste sistema são bem superiores às taxas aplicadas na agricultura (VON SPERLING , 2001 p. 389).

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, p.19).

Von Sperling (2001, p. 391) apud EPA 625/1-83-016 relata que deve-se considerar alguns critérios para escolha da área que constituirá o processo de landfarming:

- Distância da área ao local de produção do lodo;
- Condições das vias de transporte;
- Existência de barreira geológicas impermeáveis, do tipo camada de rocha, evitando-se zonas de fraturas;
- Locais sem aquíferos são preferíveis.

- Distância de águas superficiais;

2.4.5.4. Aterro Sanitário

Da mesma forma que o landfarming, a disposição final do lodo gerado pela ETE por meio de um aterro sanitário, também não requer preocupação no que diz respeito aos nutrientes que compõem o lodo. Segundo Von Sperling (2001, p. 410), 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.

A NBR 10004 (2004, p. 3) classifica os resíduos como sendo de classe I (perigoso), classe II (Não inertes) e classe III (Inertes). O lodo é classificado como Classe II, não inerte, porém devido à contaminação por efluentes industriais pode mudar suas características para classe I, perigosos, e conseqüentemente serão exigidos aterros especiais.

3. METODOLOGIA

A metodologia está relacionada à consecução das etapas consecuintes, na qual tem o propósito de atingir os objetivos descritos na seção anterior (seção 1.1). 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 Vila União em Palmas-TO); quantificar os nutrientes e metais pesados do lodo, e finalmente analisar a possibilidade da aplicação do lodo em um determinado solo de Palmas-TO.

A ETE – Vila União está localizada na Região Norte da cidade de Palmas – TO, próximo à Quadra 409 Norte, conforme é ilustrado no mapa abaixo (Figura 4):

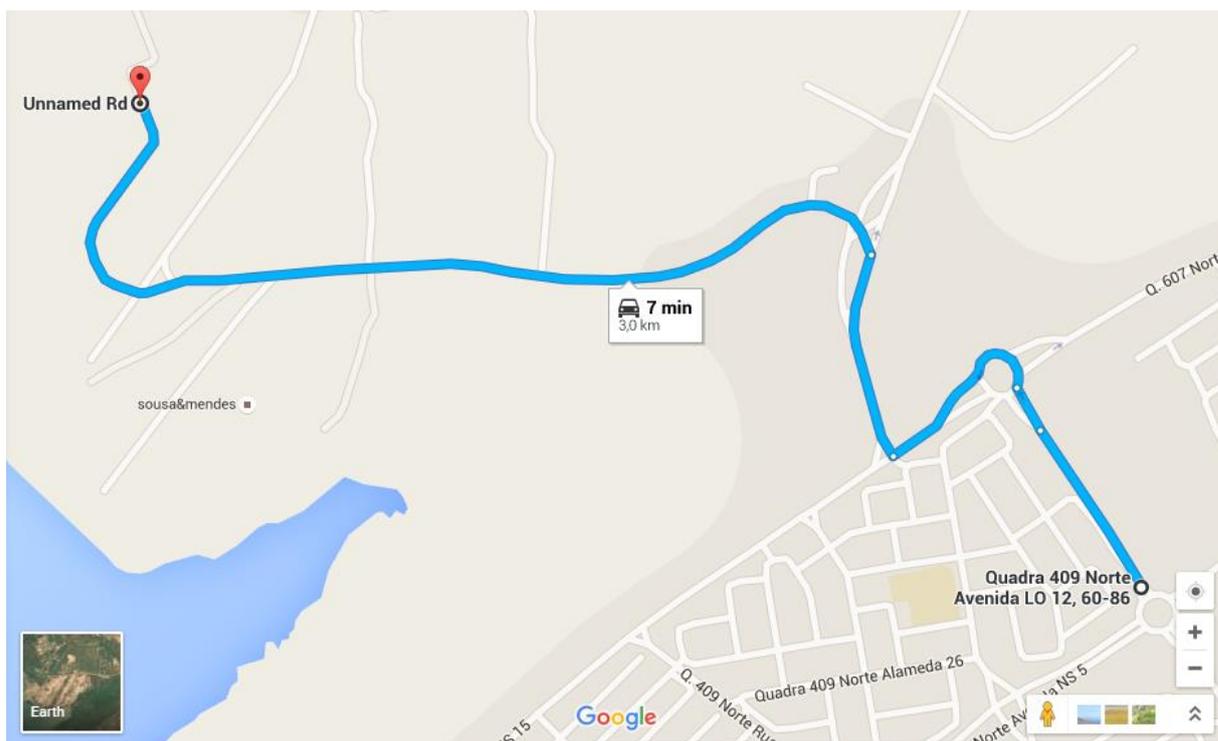


Figura 6 - Localização da ETE (Google Maps, 2016, *online*)

3.1 Amostragem

Neste caso, devido o experimento se tratar de um grande volume de lodo, para resoluções de problemas de engenharia como esse, onde os testes são destrutivos, tem-se a necessidade de rapidez no resultado, e que para observar e mensurar de forma mais precisa

teria um custo elevado, então foi executado por uma análise por amostragem. Isto implica que esta amostragem foi realizada com critérios, pois pretende ter amostras que permitam, a partir de uma análise estatística apropriada, obter conclusões satisfatórias sobre toda a população de lodo da ETE (BARBETTA, et al, 2000 p. 26).

Segundo a NBR-10007 (2004, p. 3) para obtenção da faixa de variação da concentração do resíduo, devem ser coletadas no mínimo três amostras simples. Devido o lodo da ETE Vila União ser armazenado em um local a céu aberto, a NBR-10007 (2004, p. 11) indica que deve-se dividir a superfície onde o lodo é retido em uma rede quadriculada imaginária. De cada quadrícula retirar uma amostra representativa da área. Levando em consideração que foi utilizada uma técnica de amostragem chamada: amostragem aleatória simples, onde esta técnica tem como propriedade estabelecer que qualquer subconjunto da população (lodo), com o mesmo número de elementos, tem a mesma probabilidade de fazer parte da amostra.

A seleção de uma amostra aleatória simples pode ser facilitada com o uso de números aleatórios, estes números podem ser obtidos por meio de sorteios de conjuntos eventuais ou por algoritmos computacionais, por exemplo, $\{0, 1, 2, \dots, 9\}$, todo número com a mesma quantidade de algarismos tenha a mesma probabilidade de ocorrência (BARBETTA, et al, 2000 p. 27). A imagem a seguir (Figura 7) demonstra a técnica utilizada na escolha dos pontos de coleta das amostras 1, 2 e 3:

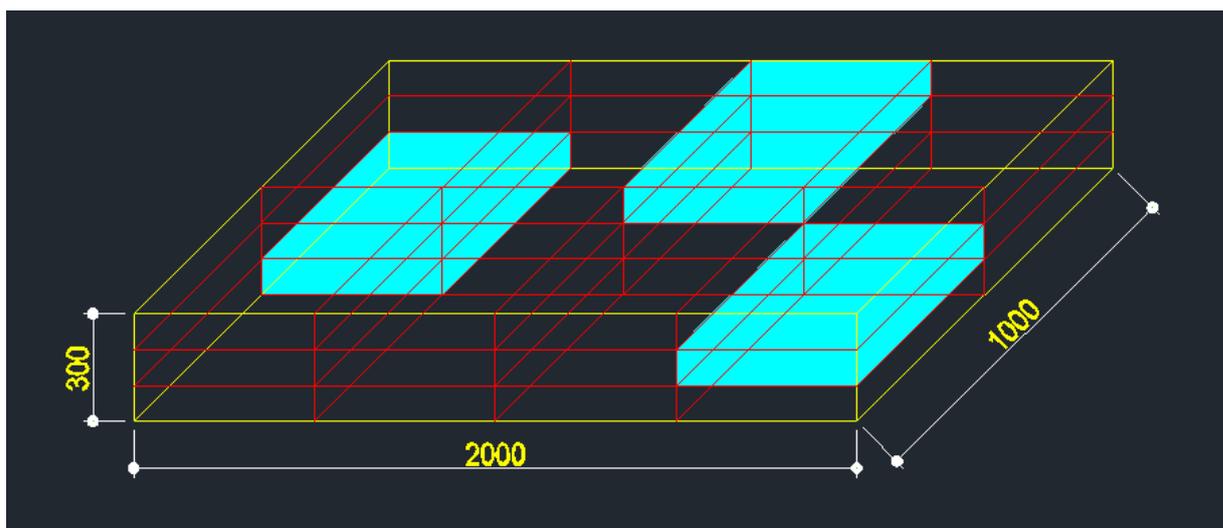


Figura 7 - Exemplo de tanque de lodo com quadriculada imaginária indicando os pontos de coleta das amostras após a seleção dos pontos por meio de sorteio

Como pode ser observado na Figura 7, após visitar o local onde o lodo é armazenado, foram obtidas as medidas reais deste recipiente para então traçar as quadriculas imaginárias. Na Figura 7 o recipiente exemplificado tem um comprimento de 20 m, largura de 10 m e altura de 3 m, a partir destas medidas, dividiu-se o recipiente em 24 partes iguais, onde cada uma tem de 5 m de comprimento, 4 m de largura e 1 m de altura. Após dividir e enumerar cada parte de 1 a 24, utilizou-se uma ferramenta *web* chamada *random* (RANDOM, online), está ferramenta sorteia a quantidade desejada de números num determinado intervalo numérico especificado. Neste caso será adicionado o intervalo de 1 a 24, e após os resultados aleatórios serão definidos os pontos de coletas.

3.2 Coletas e preparo das amostras

As amostras do lodo foram coletadas, acondicionadas em gelo seco, e encaminhadas ao Laboratório da Empresa Terra Análises Para Agropecuária Ltda, situada em Goiânia - Go:

As amostras do lodo foram secas a uma temperatura de 60°C até o peso constante. Posteriormente trituradas, e em seguida, passada em uma peneira de 1,0 mm e armazenada em frasco de vidro.

3.3 Análises de metais / Parâmetros para metais pesados (mg/kg de lodo seco)

As análises de metais que foram realizadas nas amostras de lodo permitem a determinação da totalidade do metal pesquisado que esteja presente na amostra bruta.

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.

3.4 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 foi realizada através da fotometria de chama. Já a determinação do P foi realizada pelo método colorimétrico.

3.5 Lodo a ser incorporado no solo

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

3.5.1 Quanto à composição do lodo

De acordo com a CETESB (1999, p. 5), 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, p 5)

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 p. 9).

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

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

3.5.3 Taxa de aplicação do lodo em relação aos metais pesados

Deverão ser respeitados os limites quanto à aplicação de metais no solo, considerando a Tabela 4 será calculada a quantidade de lodo a ser aplicada e não exceda a taxa de aplicação máxima de metais no solo.

Tabela 4 - Taxa de aplicação anual máxima de metais em solos agrícolas tratados com lodo

Metal	Taxa de aplicação anual máxima (kg/ha/período de 365 dias)
Arsênio	2,0
Cádmio	1,9
Cobre	75
Chumbo	15
Mercúrio	0,85
Níquel	21
Selênio	5,0
Zinco	140

Fonte: Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo (CETESB 1999, p 7)

3.5.4 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.

3.5.5 Limites de acumulação de metais no solo

Para a reaplicação do lodo deverão ser respeitados os limites apresentados na Tabela 5. 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, p. 8).

Tabela 5 - 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, p 8)

Deve-se respeitar 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 Viabilidade econômica com relação aos nutrientes do lodo da ETE

Através da utilização da análise de um solo, quantificou-se a necessidade dos principais macronutrientes (N, P e K) para aquele solo. Com a análise qualitativa do lodo, onde foi feito um levantamento da contribuição do lodo para o solo determinado. Posteriormente realizada uma cotação no mercado local dos adubos químicos que fornecem os macronutrientes N, P e K, no caso: ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio. A partir destas ações realizadas, foi possível elaborar um estudo de viabilidade econômica com relação aos nutrientes, ou seja, calcular a economia gerada ao utilizar o lodo da ETE Vila União como fonte de nutriente para o solo apresentado.

3.7 Análise Estatística

Após a obtenção dos resultados dos corpos de provas que foram encaminhados para o Laboratório da Terra Análises Para Agropecuária Ltda. Goiânia - GO, foi realizada uma análise estatística dos dados, que teve o intuito de mensurar as variáveis de objetos de estudos. Posteriormente estes resultados foram representados através de gráficos e tabelas. Para esta representação, calculou-se as medidas de posição (tendência central), medidas de dispersão e

medidas de assimetria, foram determinados os níveis de confiança, para então ter um parâmetro de comparação e verificou se variáveis de objeto de estudo se diferem estatisticamente ou não entre elas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente seção tem como objetivo apresentar o funcionamento da Estação de Tratamento de Efluente da Vila União em Palmas TO e os resultados obtidos a partir da análise química realizada no lodo desta ETE, que permitirá propor uma alternativa de disposição do lodo, de forma a minimizar riscos à comunidade e ao meio ambiente. Este trabalho proporcionará também uma análise de viabilidade econômica com relação aos nutrientes do lodo.

As próximas seções apresentarão a sistematização do funcionamento da ETE Vila União, o processo de geração do lodo e seu armazenamento, a destinação final do lodo da ETE e por fim a análise de viabilidade econômica com relação aos nutrientes do lodo.

4.1 Sistematização da ETE Vila União (Palmas – TO)

O sistema de tratamento de esgotos da Vila União inicia pela estação elevatória de esgoto bruto. Para proteção dos equipamentos da elevatória foi projetada uma unidade de gradeamento mecanizado de 20 mm. Foram previstas duas unidades, sendo uma capa de receber todo o fluxo hidráulico afluente, no final de plano, ficando a outra como reserva.

Os detritos retidos são retirados automaticamente por raspador tipo cremalheira, acionados por temporização ou perda de carga, e depositados em uma esteira transportadora que os levará até a caçamba estacionária. Este material deve é encaminhado para aterro sanitário licenciado.

Após a passagem pelo gradeamento, já sem os detritos mais grosseiros, o esgoto afluente entra no poço de sucção através de uma canaleta de distribuição, onde é possível isolar qualquer uma das 5 baias de sucção, por meio de comportas manuais, de acordo com às necessidades operacionais.

A elevatória dispõe de 5 conjuntos moto-bombas, sendo um reserva, com vazão de 785 m³/h cada, podendo ser operado qualquer um dos conjuntos isoladamente ou de forma conjunta.

As bombas são acionadas por medidor de nível ultrasônico programável, de acordo com as condições operacionais existentes. Os esgotos são então bombeados para o tratamento preliminar da estação de tratamento.

Já na estação de tratamento, os esgotos passarão primeiramente pelo tratamento preliminar composto de desarenadores remoção da areia presente nos esgotos. Existem 3 desarenadores em canal, aerados, com 22 m de comprimento. Cada canal é equipado com ponte rolante automática, dotada de equipamento de sucção de areia. A aeração é efetuada por

3 sopradores centrífugos (2 + 1 reserva). O material recolhido na caixa de areia é depositado em aterro sanitário licenciado. Cada canal desarenador pode ser operado individualmente, sendo associado a qualquer uma das peneiras em operação, por meio da operação de comportas.

Para retenção dos sólidos grosseiros foram previstas 3 peneiras escalares mecanizadas, (2+1 reserva), com abertura de 3 mm, operando em paralelo. As peneiras estão acopladas a um sistema de lavagem e compactação de detritos, que descarrega em um contêiner de detritos. Este material é conduzido para aterro sanitário licenciado. Cada peneira pode ser isolada por um sistema de comportas, que permite sua retirada para manutenção, através de uma ponte rolante com talha.

Após passar pelo tratamento preliminar, os esgotos seguem para um canal de recolhimento, que leva a uma calha Parshall de 915 mm de garganta, que possibilita a medição de vazão. A calha é associada a um medidor de nível por ultrassom, que permite a leitura instantânea e acumulada da vazão afluyente.

Em seguida, os esgotos são encaminhados para 6 reatores anaeróbios de fluxo ascendente (etapa final), com área de 860 m² cada, nas dimensões de (18 m x 47 m), profundidade útil de 5,5 m e tempo de retenção de 8,3 horas na vazão média. O volume útil de cada reator será de 3.045 m³. É feita uma remoção aproximada de 60% de DBO e 70% de Sólidos Suspensos nessas unidades.

Após o tratamento anaeróbio o efluente é encaminhado para tratamento aeróbio em 6 reatores de lodos ativados, em formato de carrossel, apoiados e estruturados no solo. Os tanques tem um volume de 22.680 m³, distribuídos na zona anaeróbia, com total de 3.982 m³, anóxica, com total de 9.526 m³ e aeróbia com total de 9.173 m³.

Após passar pelos tanques de lodos ativados, o esgoto é encaminhado para os decantadores secundários. Estes serão em número de 6 unidades, com diâmetro unitário de 18 m.

O lodo do reator UASB e do sistema de lodos ativados são remetidos para desidratação, utilizando-se 2 centrífugas com capacidade de 15 m³/h. Estima-se uma produção de lodo desidratado de 15,90 m³/d, com concentração de torta média de 25%.

O sistema foi dimensionado para alcançar remoções superiores à 90% de DBO. A remoção de coliformes termotolerantes é na ordem de 99% e, caso seja necessário no futuro. A Figura 8 a seguir apresenta o fluxograma geral do sistema:

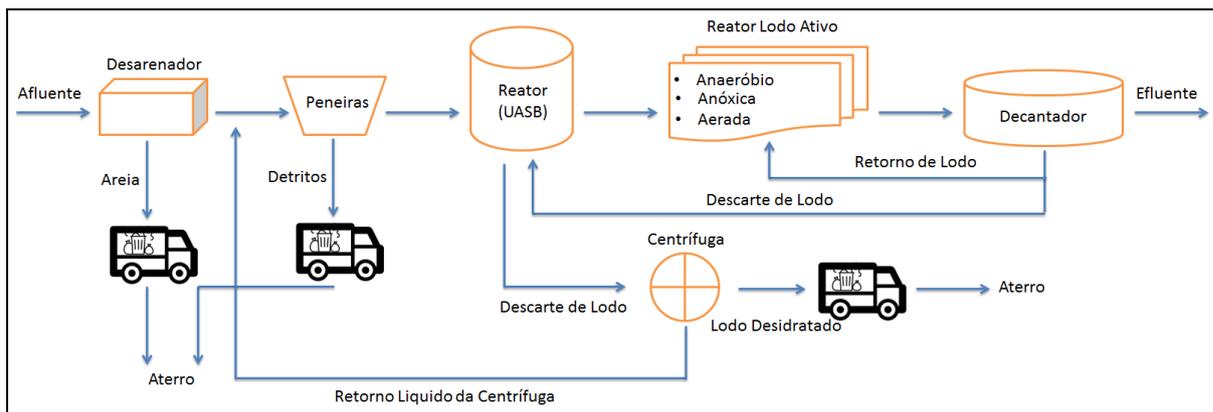


Figura 8 - Fluxograma geral do sistema da ETE Vila União

4.2 Análise Estatística dos Dados

Após a coleta dos dados, por meio de uma amostragem aleatória simples, foi possível obter uma medida de tendência central e um indicador da variabilidade dos dados. Com o auxílio da ferramenta *web random.org* foram gerados os seguintes números, conforme apresentado na Figura 9, os quais correspondem aos elementos pertencentes à amostra:

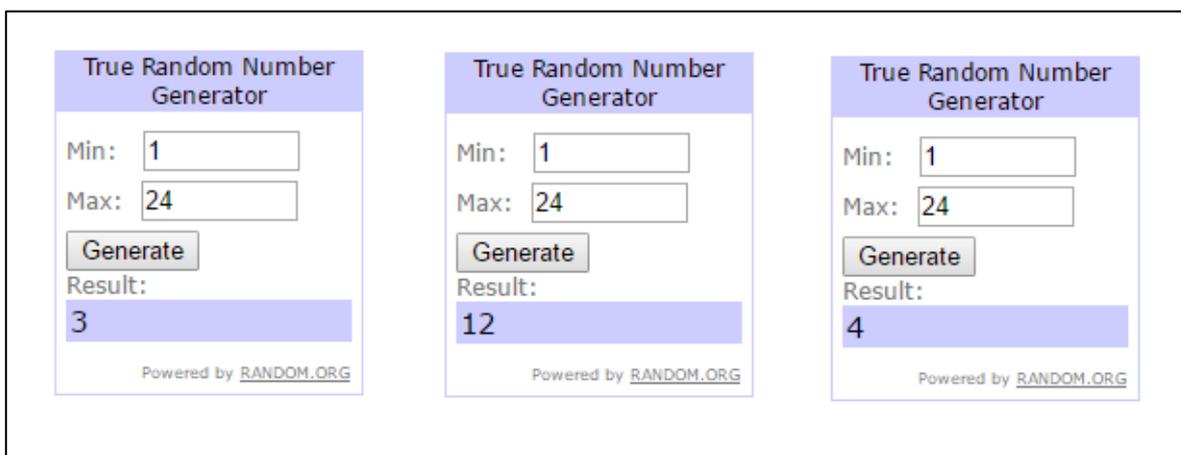


Figura 9 - Resultado do sorteio dos números pertencentes à amostra.

Os números sorteados (3,12 e 4) deram embasamento para iniciar o processo de coleta das amostras do lodo gerado pela ETE Vila União – Palmas TO. Conforme apresentado anteriormente na metodologia de trabalho, o tanque de armazenamento do lodo foi dividido em 24 quadriculas de medidas iguais, como pode observado na Figura 10:

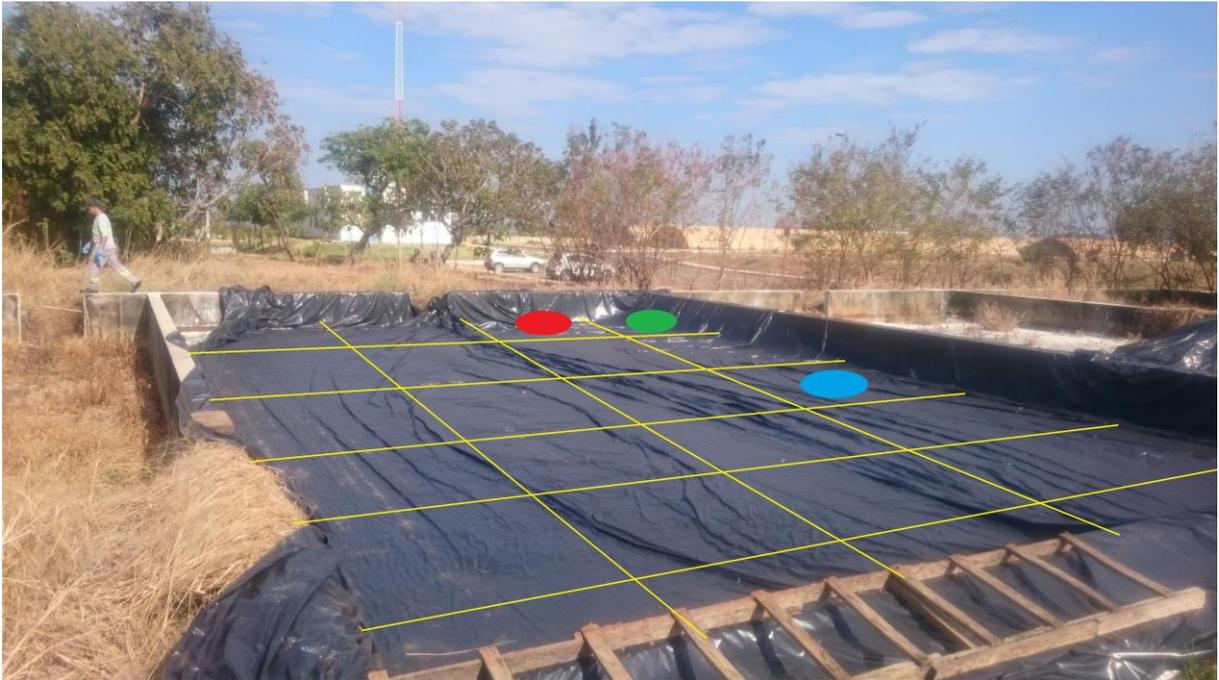


Figura 10 - Tanque de Armazenamento do Lodo gerado pela ETE Vila União - Palmas TO

Em seguida, foi realizada a coleta do material nos pontos definidos (Figura 11), e encaminhados para análise no laboratório da empresa Terra Análises Para Agropecuária Ltda, localizada na cidade de Goiânia – GO.



Figura 11 - Coleta da amostra do Lodo de acordo com região sorteada (Região 4 – Cor: Verde)

Após a obtenção do laudo com as características químicas, físicas e biológicas conforme apresentado nos ANEXO I, II e III, realizou-se um estudo espacial, representado por meio de gráficos, onde foi calculado para cada parâmetro das amostras, a média amostral e o erro amostral dentro do nível de confiabilidade de 95%.

A tabela a seguir (Tabela 6) apresenta o resumo dos valores obtidos nas análises de laboratório:

Tabela 6 - Resultados analíticos das amostras do lodo de esgoto da ETE Vila União - Palmas TO

	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3
K₂O (%)	1,2	0,8	1,2
Co (%)	0,1	0,9	1,2
pH (%)	5,4	4,5	6,3
Mat.Org (%)	49,5	30,2	54,6
P₂O₅ (%)	2,4	2	2,6
N (%)	2,6	1,6	3,1
Ca (%)	1,02	0,67	1,59
Mg (%)	0,18	0,11	0,33
S (%)	1,4	0,84	1,5
B (mg/kg)	21	24	35
Cu (mg/kg)	304	185	295
Fe (mg/kg)	5073	5512	4897
Mn (mg/kg)	678	375	731
Zn (mg/kg)	470	365	505

Levando em consideração que o tamanho da amostra é menor que 30 ($n < 30$) e o desvio padrão da população (σ) é desconhecido, neste caso, para definição do intervalo de confiança foi utilizado a distribuição t (t de *student*). Logo, de acordo com a concentração dos principais componentes químicos avaliados, pode se obter as seguintes análises estatísticas:

Tabela 7 - Resultados das análises estatísticas dos dados

	MÉDIA AMOSTRAL	VARIÂNCIA AMOSTRAL	DESVIO PADRÃO AMOSTRAL	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO
K (%)	0,89	0,04	0,19	21,65 (MÉDIA)
P (%)	1,00	0,02	0,13	13,09 (BAIXA)
N (%)	2,43	0,58	0,76	31,39 (ALTA)

Ca (%)	1,09	0,22	0,46	42,47 (ALTA)
Mg (%)	0,21	0,01	0,11	54,39 (ALTA)
S (%)	1,25	0,13	0,36	28,53 (ALTA)
B (mg/Kg)	26,67	54,33	7,37	27,64 (MÉDIA)
Cu (mg/Kg)	261,33	4390,33	66,26	25,35 (MÉDIA)
Fe (mg/Kg)	5160,67	100320,33	316,73	6,14 (BAIXA)
Mn (mg/Kg)	594,67	36892,33	192,07	32,30 (ALTA)
Zn (mg/Kg)	446,67	5308,33	72,86	16,31 (MÉDIA)

O cálculo da média de cada componente foi realizado considerando o ponto 1, ponto 2 e ponto 3 como sendo corpos de prova aleatórios de algumas amostras. A variância amostral e o desvio padrão são medidas de dispersão que indicam a regularidade de um conjunto de dados em função da média aritmética. Já o intervalo é considerado como uma faixa de possíveis valores em torno da média amostral, e a probabilidade de que esta faixa realmente contenha o valor real da média da população. O Intervalo de confiança terá certa probabilidade chamada de nível de confiança (simbolizada por $1 - \alpha$) de conter a média da população. Levando em consideração o tamanho desta amostra, foi utilizada a distribuição t (t de *Student*).

Cerca de 95% dos valores de uma distribuição $-t$ com $v = (n-1)$ graus de liberdade situa-se entre $-t_{0,025}$ e $t_{0,025}$. Assim, levando consideração que o tanque onde o lodo está disposto foi dividido em 24 partes, e dentre estas partes foram sorteados 3 pontos aleatórios, o valor do grau de liberdade $(3 - 1) = 2$ com um nível de confiabilidade de 95%, tem o valor t equivalente a 4,303 (ANEXO IV).

Desta forma temos os seguintes intervalos de confiança (valores mínimos e máximos) com relação à média amostral para as amostras dos principais nutrientes (N, P, K) gerados pela estação de tratamento de esgoto:

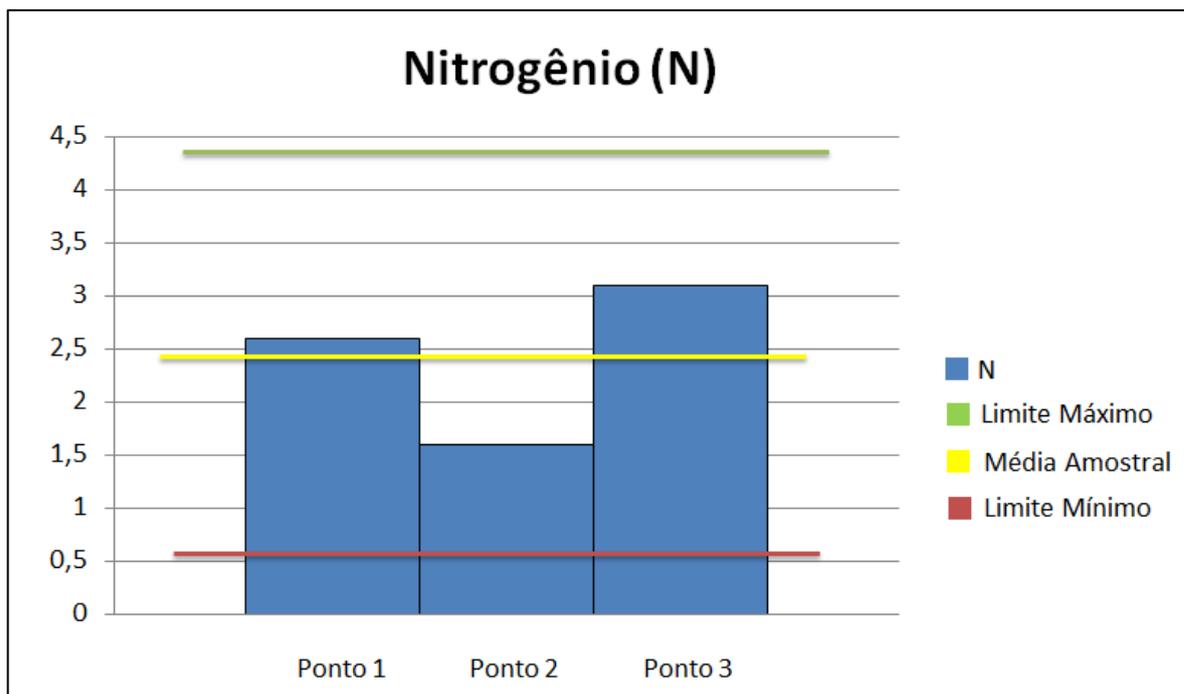


Figura 12 - Resultado da análise estatística referente ao Nitrogênio

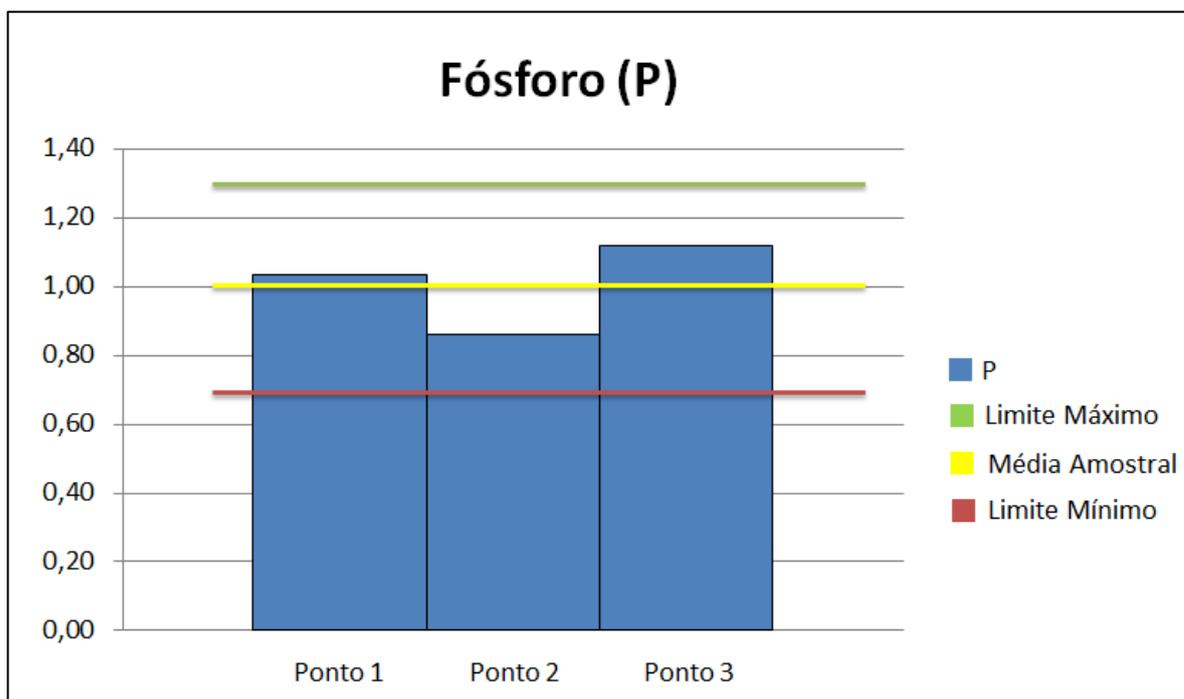


Figura 13 - Resultado da análise estatística referente ao Fósforo

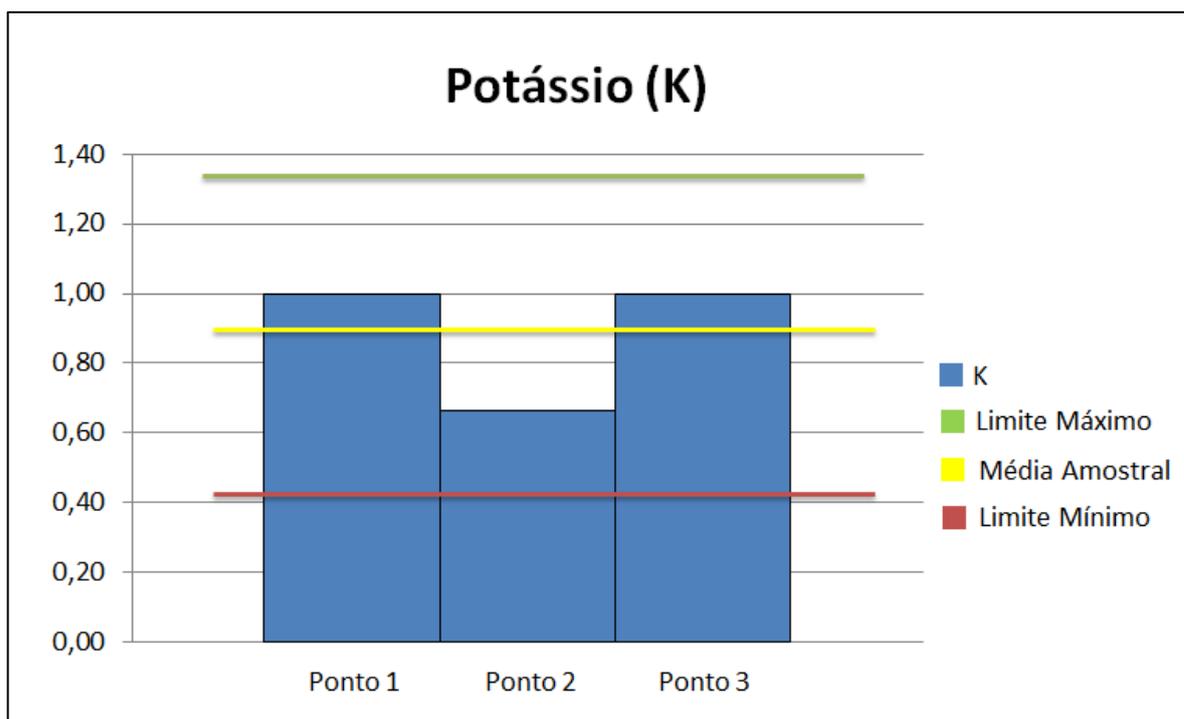


Figura 14 - Resultado da análise estatística referente ao Potássio

4.3 Destinação Final do Lodo da ETE – Vila União em um solo agrícola

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

De acordo com Von Sperling (2001, p. 322 - 327), o interesse agrícola pelo lodo de esgoto está associado, principalmente, ao seu grande teor de nutrientes que são essenciais para as plantas, lavouras ou culturas, como por exemplo, os principais nutrientes encontrados são o N (Nitrogênio), P (Fósforo) e K (Potássio).

A Tabela 8, demonstra a concentração dos principais nutrientes (macronutrientes N, P, K) gerado pela estação de tratamento de esgoto – Vila União – Palmas TO.

Tabela 8 - Concentração dos Principais Nutrientes gerado pelo lodo da ETE – Vila União

AMOSTRA	N(%)	P(%)	K(%)
LODO	0,54 a 4,33	0,68 a 1,33	0,41 a 1,36

Para encontrar a taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto, baseou-se na comparação das amostras de lodo coletadas nos três pontos sorteados aleatoriamente e o

limite máximo da quantidade necessária em um solo, conforme definido por Raij et al. (1996). A Tabela 9 relacionada à quantidade máxima para cada nutriente (N, P, K):

Tabela 9 - Quantidade necessária de cada nutriente N,P e K (RAIJ et al. 1996),

	N	P	K
QUANTIDADE (kg/ha)	150	48,80	58,80

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 p. 9).

Tabela 10 - Taxa de Aplicação Mínima e Máxima de N

Concentração N (%)	0,54	4,33
Taxa de Aplicação (t/ha)	27,78	3,46

Aplicando a mesma fórmula para o fósforo:

Tabela 11 - Taxa de Aplicação Mínima e Máxima de P

Concentração P (%)	0,68	1,33
Taxa de Aplicação (t/ha)	7,18	3,67

Aplicando a mesma fórmula para o potássio:

Tabela 12 - Taxa de Aplicação Mínima e Máxima de K

Concentração K (%)	0,41	1,36
Taxa de Aplicação (t/ha)	14,34	4,32

Assim, tendo como base os resultados obtidos a cima, se aplicar uma dosagem superior a 7,18 t/ha, ocasionará uma quantidade excessiva de Fósforo, podendo então comprometer a dinâmica de Fósforo no solo. Já a diferença que faltará para preencher a quantidade necessária de Nitrogênio e Potássio será complementada com produtos químicos.

4.3.2 Metais Pesados

Embora os nutrientes existentes no lodo apresentem diversos benefícios para a cultura a qual será destinado, entretanto, também são encontrados em sua composição metais pesados, quando utilizados acima de limite estabelecido, poderá ser tóxico aos organismos do solo, plantas e ao ser humano. Os seus limites de toxidades são bastantes estreitos, o que se implica no acompanhamento constante das quantidades destes elementos aplicados no solo, junto ao biossólido. Os elementos mais encontrados são: As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Mo, Pb, Se, Zn e Co. (VON SPERLING 2001, p. 333).

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 6 (CETESB 1999, p. 7).

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

Calculando:

$$\frac{261,33 \times 10^{-6} \text{kg}}{x} = \frac{1 \text{kg}}{4880 \text{kg/ha}}$$

$$X = 1,27 \text{ kg/ha}$$

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

Calculando:

$$\frac{446,67 \times 10^{-6} \text{kg}}{x} = \frac{1 \text{kg}}{4880 \text{kg/ha}}$$

$$X = 2,18 \text{ kg/ha}$$

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

Calculando:

$$\frac{5160,67 \times 10^{-6} \text{kg}}{x} = \frac{1 \text{kg}}{4880 \text{kg/ha}}$$

$$X = 25,18 \text{ kg/ha}$$

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

Calculando:

$$\frac{26,67 \times 10^{-6} \text{kg}}{x} = \frac{1 \text{kg}}{4880 \text{kg/ha}}$$

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

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

Calculando:

$$\frac{594,67 \times 10^{-6} \text{kg}}{x} = \frac{1 \text{kg}}{4880 \text{kg/ha}}$$

$$X = 2,90 \text{ kg/ha}$$

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.

4.4 Análise de Viabilidade Econômica com Relação aos Nutrientes do Lodo

4.4.1 Nitrogênio

De acordo com o manual de adubação da Embrapa (2006) a necessidade do Nitrogênio para uma cultura do tipo gramínea é de 150 kg/ha. Assim, como fonte de nitrogênio utilizou-se a ureia, que possui 46,6% de N e custo de R\$ 4,18 o kg.

$$\frac{R\$ 4,18}{x} = \frac{1 \text{kg ureia}}{150 \text{kg/ha}}$$

$$X = R\$ 627,00 \text{ reais/ha}$$

Teor de N na Ureia:

$$\frac{60 \text{ g}}{28 \text{ g}} = \frac{100\%}{x}$$

X = 46,66% de N

$$\frac{\text{R\$ } 627,00}{0,4666} = 1.343,76 \text{ reais/ha}$$

Portanto, para que o solo concentre uma taxa de 150 kg de nitrogênio por hectare, é necessário um investimento de R\$1.343,76 de ureia por hectare.

Levando em consideração que pode ser utilizada uma quantidade entre 3,67 a 7,18 t/ha de lodo de esgoto, onde dependendo do nível de concentração de nitrogênio (entre 0,54 a 4,33 %) pode ser necessária à utilização de uma quantidade entre 3,46 a 27,78 t/ha de lodo de esgoto. Ao analisar este intervalo de concentração de N, poderia faltar uma quantidade de aproximadamente 112 kg/ha de nitrogênio, ocasionando assim a aplicação de adubos químicos, para complementar o teor de nitrogênio no o solo. Logo temos:

$$\frac{\text{R\$ } 4,18}{x} = \frac{1 \text{ kg ureia}}{111,24 \text{ kg/ha}}$$

X = R\$ 465,00 reais/ha

$$\frac{\text{R\$ } 465,00}{0,4666} = 996,57 \text{ reais/ha}$$

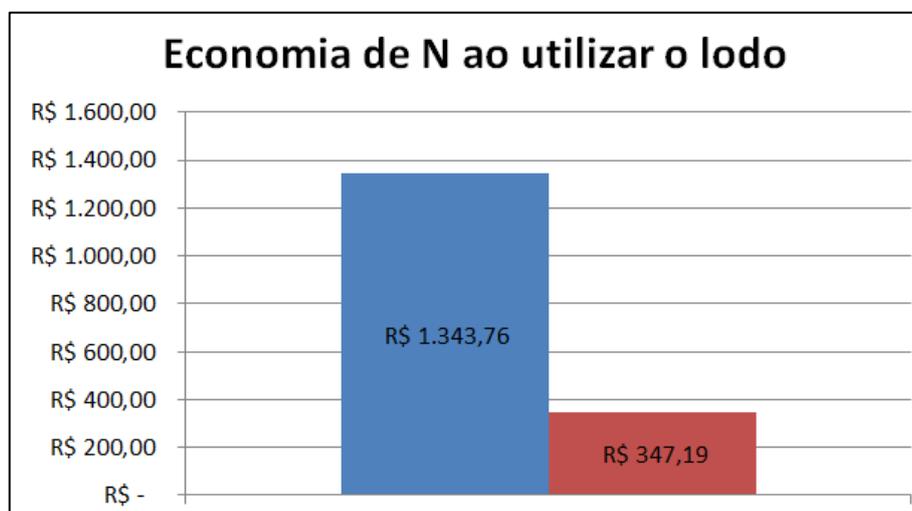


Figura 15 - Gráfico de viabilidade econômica utilizando N.

Como pode ser observado no gráfico acima (Figura 15), pode-se obter uma economia entre 26 a 100% com relação ao uso de ureia.

4.4.2 Fósforo

De acordo com o manual de adubação da Embrapa (2006) a necessidade do Nitrogênio para uma cultura do tipo gramínea é de 48 kg/ha. Como fonte de fósforo utilizou-se o superfosfato simples que custa R\$ 2,20 o kg.

$$\frac{R\$ 2,20}{x} = \frac{1 \text{ kg superfosfato}}{48,80 \text{ kg/ha}}$$

$$X = R\$ 107,36 \text{ reais/ha}$$

Teor de P no P2O5:

$$P: 2 \times 31 = 62$$

$$O: 5 \times 16 = 80$$

$$\frac{142 \text{ g}}{62 \text{ g}} = \frac{100\%}{x}$$

$$X = 43,66\% \text{ de P}$$

$$\frac{R\$ 107,36}{0,4366} = 245,90 \text{ reais/ha}$$

Portanto, para que o solo concentre uma taxa de 48 kg de fósforo por hectare, é necessário um investimento de R\$245,90 de superfosfato simples por hectare.

Levando em consideração que pode ser utilizada uma quantidade entre 3,67 a 7,18 t/ha de lodo de esgoto, onde dependendo do nível de concentração de fósforo (entre 0,68 a 1,33 %) pode ser necessária à utilização de uma quantidade entre 3,67 a 7,18 t/ha de lodo de esgoto. Ao analisar este intervalo de concentração de P, não será necessário acrescentar adubos químicos para complementar o teor de fósforo no o solo, pois a quantidade de lodo a ser utilizada é calculada através do limite máximo de fósforo a ser aplicado no solo, assim a economia com adubos químicos é de 100%.

4.4.3 Potássio

De acordo com o manual de adubação da Embrapa (2006) a necessidade do Nitrogênio para uma cultura do tipo gramínea é de 58 kg/ha. Como fonte de potássio, utilizou-se o cloreto de potássio, que custa R\$ 3,06 reais o kg:

$$\frac{R\$ 3,06}{x} = \frac{1 \text{ kg cloreto de potássio}}{58,80 \text{ kg/ha}}$$

$$X = R\$ 179,81 \text{ reais/ha}$$

Teor de K no KCl:

$$K: 1 \times 39 = 39$$

$$Cl: 1 \times 35,5 = 35,5$$

$$\frac{74,5 \text{ g}}{39 \text{ g}} = \frac{100\%}{x}$$

$$X = 52,30\% \text{ de K}$$

$$\frac{R\$ 179,81}{0,523} = 343,81 \text{ reais/ha}$$

Portanto, para que o solo concentre uma taxa de 58 kg de nitrogênio por hectare, é necessário um investimento de R\$343,81 de cloreto de potássio por hectare.

Levando em consideração que pode ser utilizada uma quantidade entre 3,67 a 7,18 t/ha de lodo de esgoto, onde dependendo do nível de concentração de potássio (entre 0,41 a 1,36 %) pode ser necessária à utilização de uma quantidade entre 4,32 a 14,34 t/ha de lodo de esgoto. Ao analisar este intervalo de concentração de K, poderia faltar uma quantidade entre 8,84 a 29,36 kg/ha de potássio, ocasionando assim a aplicação de adubos químicos, para complementar o teor de potássio no o solo. Logo, para uma concentração de 0,41%:

$$\frac{R\$ 3,06}{x} = \frac{1 \text{ kg cloreto de potássio}}{29,36 \text{ kg/ha}}$$

$$X = R\$ 89,84 \text{ reais/ha}$$

$$\frac{R\$ 89,84}{0,523} = 171,78 \text{ reais/ha}$$

Logo para uma concentração de 1,36%:

$$\frac{R\$ 3,06}{x} = \frac{1 \text{ kg cloreto de potássio}}{8,84 \text{ kg/ha}}$$

$$X = R\$ 27,05 \text{ reais/ha}$$

$$\frac{R\$ 27,05}{0,523} = 51,72 \text{ reais/ha}$$

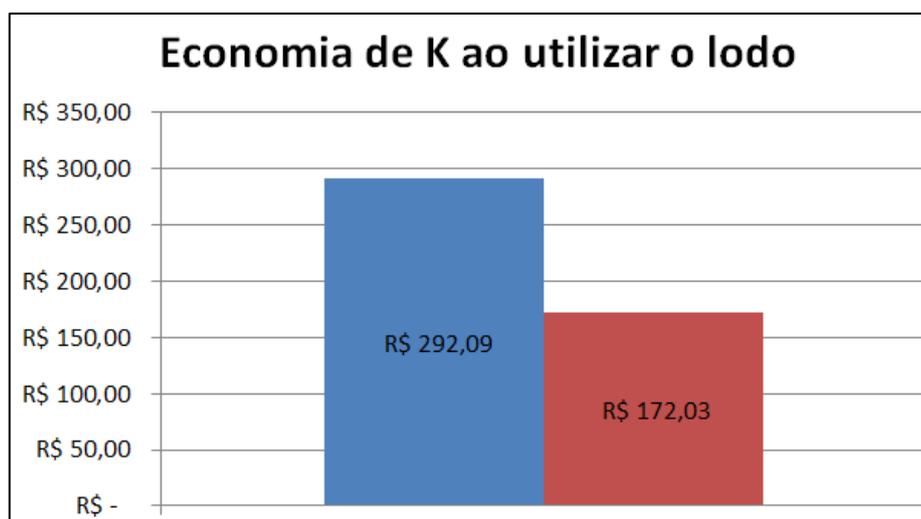


Figura 16 - Gráfico de viabilidade econômica utilizando K.

Como pode ser observado no gráfico acima (Figura 16), pode-se obter uma economia entre 50 a 85% com relação ao uso de cloreto de potássio.

A economia total aproximadamente, dos elementos químicos nitrogênio, fósforo e potássio, utilizando o lodo de esgoto gerado pela ETE Vila União – Palmas TO para uma fertilização de um solo, será de R\$ 1. 880,00 reais por hectare.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesse trabalho indicam que a reciclagem agrícola, vem se mostrando cada vez mais, como o meio de disposição final que mais reaproveita o potencial do lodo gerado por uma ETE.

Um dos pontos para o qual este trabalho foi direcionado consistiu na descrição do funcionamento da Estação de Tratamento de Efluente da Vila União em Palmas TO, afim de compreender cada etapa do tratamento do esgoto, até a geração do lodo. A partir deste lodo gerado, foram quantificados os nutrientes e metais pesados do lodo e verificado a possibilidade da aplicação do lodo em um determinado solo de cerrado. Por fim, ao analisar a possibilidade de aplicação, foi realizado um estudo de viabilidade econômica com relação aos nutrientes do lodo.

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 da 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 7,18 t/ha. Desta forma, ao utilizar como parâmetro a quantidade máxima de 7,18 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.

A utilização do lodo de esgoto gerado pela ETE Vila União acarretará uma economia de adubados à base de nitrogênio, fósforo e potássio, de aproximadamente R\$ 1.880,00 reais por hectare.

Uma das maiores dificuldades encontradas no trabalho foi realizar as análises químicas, físicas e biológicas das amostras de lodo da ETE, pois na região onde foi efetuado o estudo em questão, não há laboratórios específicos que analisam este tipo de resíduo. Sendo assim, a alternativa encontrada, foi encaminhar o material para um laboratório mais próximo, localizado na cidade de Goiânia-GO. Este procedimento elevou os custos da operação.

Este trabalho abre a possibilidade para diferentes formas de continuação. Dentre elas podem ser citadas:

- Estudo para aplicação do lodo de esgoto na fabricação de produtos cerâmicos, além de ser uma alternativa de destinação final aos resíduos, minimizando seus impactos ambientais, trás também benefícios econômicos.
- Estudo de meios alternativos que possam dar outra destinação final ao lodo de esgoto gerado por uma ETE, de forma a contribuir com a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

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

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.

ARAÚJO, Franciulli S. D. **Influência do lodo de ETE na massa para fábrica de cerâmica vermelha**. 2008. 91 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, NATAL, RN.

BARROS, R.T.V et al.. **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios**. vl. 2. Belo Horizonte : Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 221 p.

BETTIOL, Wagner; CAMARGO, Otávio A. **Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura**.. São Paulo: EMBRAPA. 2006. 350 p.

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

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

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.

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

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2006.

FERNANDES, F.; SILVA, S.C. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos**. 1 ed. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999, 91 p.

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.

MANZOCHI, Clarice Ilse Schwarz. **Logística Para Tratamento E Disposição Final De Lodos De Ete's 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.

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.

NASCIMENTO, M. S; FERREIRA, O. M. **Tratamento de esgoto urbano:** comparação de custos e avaliação da eficiência, 2007, Goiânia. p. 22.

RAIJ, B. V; *et al.* **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100)

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 26 de Fevereiro de 2016.

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.

SILVA, A. V; VON SPERLING, M.; FILHO, J. M **Avaliação das unidades de tratamento do lodo em uma ete de lodos ativados convencional submetida a distintas estratégias operacionais.** 2007. 108 p. Dissertação (Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - UFMG, Minas Gerais.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto** - 2014. Ministério das Cidades. Brasília..

SPELLMAN, F. R. **Dewatering 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 23 de Março de 2016.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos** - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte, UFMG. v.2. 1996. 211 p..

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.

ANEXOS



TERRA

ANÁLISES PARA AGROPECUÁRIA

TERRA ANÁLISES PARA AGROPECUÁRIA LTDA.GOIÂNIA - GO: AV. CARIRI, 140 - J. DIAMANTINA -
CEP 74.573-130

FONES: (62) 3210-1862 / 3210-1173

site: www.laboratorioterra.com.bre-mail: terra@laboratorioterra.com.br

Nome : JOSE GERALDO DELVAUX SILVA

Propriedade :

Cidade :

Cultura :

Solicitante :

Material : Matéria-Prima

Data Entrada : 01/08/2016

Data Saída : 04/08/2016

Resultado de Análise

Código : SAL 8166

Amostra : AMOSTRA 1

Código :

Amostra :

Código :

Amostra :

K2O	%	1.20
Co	%	0.10
pH	.	5.4
Mat. Org.	%	49.50
P2O5 (Total)	%	2.40
N	%	2.6
Ca	%	1.02
Mg	%	0.18
S	%	1.40
B	mg/Kg	21.0
Cu	mg/Kg	304
Fe	mg/Kg	5073
Mn	mg/Kg	678
Zn	mg/Kg	470

Emerson M Rocha
Emerson Macedo Rocha
Terra Análises p/ Agropecuária
CREA-GO 20935/D - Responsável Técnico

*Análise segundo o Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal - 2005(emissão - 1992/revisão - 2004) . Determinação e respectivo método:Cu[45],Co[46],Zn[39],I[47],Mg[36],Ca[35],Fe[40],Mn[41],MnSO4[42],MnO[42],P[17](colorímetro II),N[04],PB[04],Na[48],F[27],K[49],Umidade e Voláteis[02],FB[11],Cinzas ou Matéria Mineral[12],EE[10]. **S a partir de:Embrapa(1999). Manual de Análises Químicas de Solos,Plantas e Fertilizantes, pg.261. ***pH a partir de: Silva, D.J e Queiroz, A.C.(3º edição)Análise de Alimentos-Métodos Químicos e Biológicos. ****Manual de Métodos Oficiais Instrução Normativa IN 28 de 27 de julho de 2007, Corretivos de acidez - pág. 97 a 106.



TERRA

ANÁLISES PARA AGROPECUÁRIA

TERRA ANÁLISES PARA AGROPECUÁRIA LTDA.

GOIÂNIA - GO: AV. CARIRI, 140 - J. DIAMANTINA -
CEP 74.573-130

FONES: (62) 3210-1862 / 3210-1173

site: www.laboratorioterra.com.br

e-mail: terra@laboratorioterra.com.br

Nome : JOSE GERALDO DELVAUX SILVA

Propriedade :

Cidade :

Cultura :

Solicitante :

Material : Matéria-Prima

Data Entrada : 01/08/2016

Data Saída : 04/08/2016

Resultado de Análise

Código : SAL 8167

Amostra : AMOSTRA 2

Código :

Amostra :

Código :

Amostra :

K2O	%	0.80
Co	%	0.90
pH	.	4.5
Mat. Org.	%	30.20
P2O5 (Total)	%	2.00
N	%	1.6
Ca	%	0.67
Mg	%	0.11
S	%	0.84
B	mg/Kg	24.0
Cu	mg/Kg	185
Fe	mg/Kg	5512
Mn	mg/Kg	375
Zn	mg/Kg	365

Emerson M Rocha
Emerson Macedo Rocha
Terra Análises p/ Agropecuária
CREA-GO 20935/D - Responsável Técnico

*Análise segundo o Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal - 2005(emissão - 1992/revisão - 2004) . Determinação e respectivo método:Cu[45],Co[46],Zn[39],I[47],Mg[36],Ca[35],Fe[40],Mn[41],MnSO4[42],MnO[42],P[17](colorímetro II),N[04],PB[04],Na[48],F[27],K[49],Umidade e Voláteis[02],FB[11],Cinzas ou Matéria Mineral[12],EE[10]. **S a partir de:Embrapa(1999). Manual de Análises Químicas de Solos,Plantas e Fertilizantes, pg.261. ***pH a partir de: Silva, D.J e Queiroz, A.C.(3º edição)Análise de Alimentos-Métodos Químicos e Biológicos. ****Manual de Métodos Oficiais Instrução Normativa IN 28 de 27 de julho de 2007, Corretivos de acidez - pág. 97 a 106.



TERRA

ANÁLISES PARA AGROPECUÁRIA

TERRA ANÁLISES PARA AGROPECUÁRIA LTDA.

GOIÂNIA - GO: AV. CARIRI, 140 - J. DIAMANTINA -
CEP 74.573-130

FONES: (62) 3210-1862 / 3210-1173

site: www.laboratorioterra.com.br

e-mail: terra@laboratorioterra.com.br

Nome : JOSE GERALDO DELVAUX SILVA

Propriedade :

Cidade :

Cultura :

Solicitante :

Material : Matéria-Prima

Data Entrada : 01/08/2016

Data Saída : 04/08/2016

Resultado de Análise

Código : SAL 8168

Amostra : AMOSTRA 3

Código :

Amostra :

Código :

Amostra :

K2O	%	1.20
Co	%	1.20
pH	.	6.3
Mat. Org.	%	54.60
P2O5 (Total)	%	2.60
N	%	3.1
Ca	%	1.59
Mg	%	0.33
S	%	1.50
B	mg/Kg	35.0
Cu	mg/Kg	295
Fe	mg/Kg	4897
Mn	mg/Kg	731
Zn	mg/Kg	505

Emerson M Rocha
Emerson Macedo Rocha
Terra Análises p/ Agropecuária
CREA-GO 20935/D - Responsável Técnico

*Análise segundo o Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal - 2005(emissão - 1992/revisão - 2004) . Determinação e respectivo método:Cu[45],Co[46],Zn[39],I[47],Mg[36],Ca[35],Fe[40],Mn[41],MnSO4[42],MnO[42],P[17](colorímetro II),N[04],PB[04],Na[48],F[27],K[49],Umidade e Voláteis[02],FB[11],Cinzas ou Matéria Mineral[12],EE[10]. **S a partir de:Embrapa(1999). Manual de Análises Químicas de Solos,Plantas e Fertilizantes, pg.261. ***pH a partir de: Silva, D.J e Queiroz, A.C.(3º edição)Análise de Alimentos-Métodos Químicos e Biológicos. ****Manual de Métodos Oficiais Instrução Normativa IN 28 de 27 de julho de 2007, Corretivos de acidez - pág. 97 a 106.

ANEXO IV

g.l.	Probabilidade unicaudal de t de Student.						
	0,25	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001
1	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	318,309
2	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	22,327
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,215
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,893
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,785
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025
12	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930
13	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852
14	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787
15	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733
16	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686
17	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646
18	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,610
19	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552
21	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505
23	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485
24	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467

Figura 17 - Valores selecionados para a distribuição t (NEY R. 2008 online)