



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS**

CAMPUS PALMAS

CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

RAYCA SABRINA CAETANO

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DA APLICAÇÃO DO
LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA**

PALMAS

2019

RAYCA SABRINA CAETANO

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DA APLICAÇÃO DO
LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel no Curso
Superior de Engenheiro Civil do Instituto
Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Mendes
Pedroza

**PALMAS
2019**

Caetano, Rayca Sabrina

Estudo da viabilidade econômico-financeira da aplicação do lodo de esgoto na agricultura / Rayca Sabrina Caetano – Palmas, 2019.

77 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, 2019.

Orientador: Prof. Marcelo Mendes Pedroza

1. Tratamento de esgoto. 2. Lodo de ETE. 3. Viabilidade econômico-financeira. 4. Disposição na agricultura. I. Estudo da viabilidade econômico-financeira da aplicação do lodo de esgoto na agricultura

A Deus, meus pais e amigos que sempre me apoiaram e estiveram comigo na realização de meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me presenteado com a fé e perseverança que me fizeram chegar até aqui.

Aos meus pais Caiom Carlos Caetano e Raimunda da Silva Caetano que sempre me amaram e deram a vida para garantir um futuro digno a mim, e por sempre terem me guiado nos caminhos de Deus, ensinando-me princípios e virtudes que levarei para o resto de minha vida e que um dia passarei aos meus filhos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza, pela sabedoria, paciência e cuidado com que me guiou neste projeto.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram com um abraço acolhedor e palavras de sabedoria sejam nos momentos bons ou ruins, tornando a graduação mais graciosa e divertida. Agradeço em especial ao meu amigo Lucas Damaceno Pereira e Silva que durante esta trajetória se tornou em um irmão que levarei para sempre em meu coração.

Aos colegas de trabalho que contribuíram para o fortalecimento do apreço que sinto pelo Saneamento Básico, em especial ao Carlos Henrique de Souza que de forma divertida e inteligente me ensinou a amar cada vez mais o tratamento de esgoto, área pela qual lutarei para conquistar.

Aos colegas, que junto comigo representaram o grupo IV do Projeto Desafio do Programa de Estágio e contribuíram com a ideia deste presente trabalho, em particular o Alef Ricardo Nogueira.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste sonho.

“Não importa o que aconteça, continue a nadar ”

Graham Walters

RESUMO

As Estações de Tratamento de Esgoto são responsáveis por tratar de forma física, química e/ou biológica o efluente bruto recolhido pelas redes coletoras, apresentando como produto final o efluente tratado e os resíduos gerados como gases e o lodo proveniente dos tratamentos biológicos.

Por representar ameaças ambientais e sociais, o resíduo gerado é traduzido como um grande problema às concessionárias devido ao aumento do volume advindo do crescimento populacional, limitações quanto as áreas de destinação e elevado custo de operação, que podem chegar a 60% do gasto no tratamento de esgoto, tornando o gerenciamento do resíduo uma atividade complexa. Entretanto, com o intuito de facilitar a gestão ambiental do lodo, foram desenvolvidas alternativas de disposição final referentes ao recomendado na Agenda 21 de 1992 no que tange a reciclagem deste produto. Dentre estas possibilidades de destinação a reciclagem agrícola tem se tornado a mais utilizada em países como Estados Unidos e União Europeia, uma vez que esta é caracterizada como a mais ambientalmente adequada devido o seu grande benefício ao solo e a vegetação que o compõe.

Dessa forma, o presente trabalho apresentou como objetivo principal a confecção da viabilidade econômico-financeira da disposição do lodo proveniente do esgotamento sanitário de Palmas-TO na agricultura local em comparação com a disposição no aterro sanitário das cidades de Porto Nacional e Araguaína, ambas localizadas no estado do Tocantins. O estudo foi realizado por meio de indicadores econômicos, sendo estes o Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Payback e Matriz FOFA abrangendo um tempo de concessão de 20 e uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 7% a.a. segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES).

Os resultados mostraram que a implantação e operação da Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL) em comparação com a disposição no aterro de Porto Nacional e Araguaína alcançaram um VPL de R\$983, 148.02 e R\$9,122, 198.63, um TIR de 23% e 139% e um Payback de 4,29 anos e 0,72 anos, respectivamente.

O trabalho apresentou ainda que o plano estratégico realizado por meio da Matriz FOFA abordou as principais forças e fraquezas no ambiente interno da organização, bem como as oportunidades e ameaças que o ambiente externo traria para o novo empreendimento. Por fim foi apresentado possíveis áreas, dentro do

estado do Tocantins, que apresentam cultivos permitidos pela legislação vigente a receber o bio sólido como adubo, sendo esta uma alternativa que além de promover a disposição ambientalmente adequada do lodo, influencia a agricultura local.

Palavras-chave: tratamento de esgoto, lodo de ete, viabilidade econômico-financeira, disposição na agricultura.

ABSTRACT

The Sewage Treatment Plants are responsible for the physical, chemical and/or biological treatment of the raw effluent collected by the collecting networks, presenting as the final product the treated effluent and the waste generated as gases and the sludge from biological treatments.

As it represents environmental and social threats, the generated waste is translated as a major problem for the concessionaires due to the increase in volume resulting from population growth, limitations on destination areas and high operating costs, which can reach 60% of treatment costs. sewage, making waste management a complex activity. However, in order to facilitate the environmental management of the sludge, final disposal alternatives have been developed regarding the recommendations in Agenda 21 of 1992 regarding the recycling of this product. Among these disposal possibilities, agricultural recycling has become the most used in countries such as the United States and the European Union, since it is characterized as the most environmentally appropriate due to its great benefit to the soil and the vegetation that compose it.

Thus, the present work has as objective to make the economic and financial viability of the disposal of sludge from Palmas-TO sanitary sewage in local agriculture compared to the disposal in the landfill of the cities of Porto Nacional and Araguaína, both located in the state of Tocantins. The study was conducted using economic indicators, such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback and FOFA Matrix covering a concession time of 20 years and a Minimum Attractiveness Rate (TMA) of 7. % per year according to Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES).

The results showed that the implementation and operation of the Sludge Management Unit (SMU) compared to the disposal at the Porto Nacional and Araguaína landfill reached a NPV of R\$ 983, 148.02 and R\$ 9,122, 198.63, an IRR of 23% and 139. % and a Payback of 4.29 years and 0.72 years, respectively.

The work also presented that the strategic plan carried out through the FOFA Matrix addressed the main strengths and weaknesses in the organization's internal environment, as well as the opportunities and threats that the external environment would bring to the new enterprise. Finally, it was presented possible

areas, within the state of Tocantins, that present crops allowed by the current legislation to receive the biosolid as fertilizer, which is an alternative that besides promoting the environmentally adequate sludge disposal, influences the local agriculture.

Keywords: sewage treatment, ete's slime, economic and financial viability, disposal in agriculture.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Orçamento para implantação e manutenção do Pátio de BAG's	63
Tabela 2 – Orçamento para implantação e manutenção da UGL	64
Tabela 3 – Orçamento para disposição no aterro de Porto Nacional	64
Tabela 4 – Orçamento para disposição no aterro de Araguaína	65
Tabela 5 – Fluxo de caixa de 20 anos para cada cenário	66
Tabela 6 – VPL para os 05 cenários.....	66
Tabela 7 – Matriz FOFA	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Classificação quanto a tipologia de lodo de ETE's	25
Quadro 2 - Valores permitidos de substâncias inorgânicas para aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas.	30
Quadro 3 - Produção de lodo em diferentes tipos de tratamento de esgoto	33
Quadro 6 - Lodos de esgoto ou produto derivado - substâncias inorgânicas.....	52
Quadro 7 - Classes de lodo de esgoto – agentes patogênicos.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem aérea da estação em estudo	43
Figura 2 - Grade cremalheira	44
Figura 3 - Elevatória de esgoto bruto	45
Figura 4 - Tratamento Preliminar: (a) Desarenadores, (b) step screen, (c) calha parshall	46
Figura 5 - Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente	47
Figura 6 - Reator de Lodos Ativados	48
Figura 7 - Decantador Secundário	49
Figura 8 - Flotador por Ar Dissolvido	50
Figura 9 - Pátio de Geobag's	51
Figura 10 - Fluxograma das etapas de tratamento do lodo proposto para o estudo..	54

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Cálculo para VPL.....	57
Equação 2 - Cálculo para PayBack.....	58

LISTA DE SIGLAS

ETE.	Estação de Tratamento de Esgoto
MO	Matéria Orgânica
ST	Sólidos Totais
RAFA.	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
RLA	Reator de Lodos Ativados
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
VPL	Valor Presente Líquido
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TIR	Taxa Interna de Retorno
Matriz FOFA	Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	21
3 JUSTIFICATIVA	21
4 OBJETIVOS	23
4.1 Objetivo Geral	23
4.2 Objetivos Específicos	23
5 REVISÃO DE LITERATURA.....	24
5.1 Tipos de Lodo nos Processos de Tratamento de Esgoto	24
5.1.1 Tipologia do Lodo quanto à Origem.....	24
5.1.2 Tipologia do Lodo quanto ao Teor de Umidade.....	26
5.2 Características do Lodo no Processo de Tratamento de Esgoto	26
5.1.1 Características Físicas do Lodo	27
5.1.1.1 Umidade	27
5.1.1.2 Sólidos Totais – ST	27
5.1.1.3 Sólidos Voláteis – SV	28
5.1.2 Características Químicas do Lodo	28
5.1.2.1 Potencial Hidrogeniônico – pH	28
5.1.2.2 Nutrientes	28
5.1.2.3 Matéria Orgânica	29
5.1.2.4 Metais Pesados.....	29
5.1.2.5 Contaminantes Orgânicos.....	31
5.1.3 Características Microbiológicas do Lodo	31
5.3 Tratamento e Produção do Lodo de Esgoto	32
5.4 Tratamento e Disposição Final do Lodo de Esgoto	34
5.4.1 Estabilização	34
5.4.2 Adensamento	35
5.4.3 Desinfecção	36
5.4.3.1 Compostagem	37
5.4.3.2 Caleação	37
5.4.3.3 Solarização	37
5.4.4 Controle das Características do Lodo Tratado	38
5.4.5 Disposição Final do Lodo Tratado.....	38

5.4.5.1 Aterro Sanitário	39
5.4.5.2 Incineração	40
5.4.5.3 Landfarming	40
5.4.5.3 Recuperação de Áreas Degradadas	41
5.4.5.4 Utilização na Agricultura	41
6 METODOLOGIA	43
6.1 Descrição da Estação de Tratamento de Esgoto.....	43
6.1.1 Tratamento Preliminar	43
6.1.1.1 Gradeamento tipo cremalheira	43
6.1.1.2 Estação elevatória de esgoto bruto (EEEB).....	44
6.1.1.3 Desarenadores	45
6.1.2 Tratamento secundário por RAFA.....	46
6.1.3 Tratamento secundário e terciário por reatores de lodo ativados – RLA	48
6.1.3.1 Decantador secundário	49
6.1.4 Tratamento e disposição do lodo	49
6.1.4.1 Flotador por ar dissolvido (FAD)	49
6.1.4.2 Geobag's.....	50
6.2 Produção de lodo na estação	51
6.3 Legislação Vigente – Resolução CONAMA 375/2006	52
6.4 Viabilidade Econômico-Financeira	53
6.4.1 Proposta para o tratamento do lodo	53
6.4.2 Modelagem Econômico-Financeira.....	56
6.4.2.1 Índices Econômicos	57
6.4.2.1.1 Valor Presente Líquido (VPL).....	57
6.4.2.1.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)	58
6.4.2.1.3 Payback	58
6.4.2 Matriz FOFA.....	58
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
7.1 Análise quantitativa da produção de lodo em 2018.....	59
7.2 Classificação do Lodo.....	62
7.3 Modelagem Econômico-Financeira	62
7.3.1 Valor Presente Líquido (VPL)	65
7.3.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)	67

7.3.3 Payback	68
7.3.4 Matriz FOFA.....	68
7.3.5 Alternativas de disposição do lodo na agricultura local	69
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
REFERÊNCIAS.....	72

1 INTRODUÇÃO

Segundo Lamastra, Suciú e Trevisan (2018), o lodo de esgoto é um material residual semi-sólido resultante da sedimentação do sólido suspenso durante os processos de tratamento do esgoto. Dois tipos principais de lodo podem ser identificados: lodo primário resultante da captura de sólidos suspensos e orgânicos por sedimentação gravitacional e o lodo secundário produzido com microrganismos que consomem matéria orgânica, sendo estes ricos em nutrientes como nitrogênio, fósforo e carbono.

Uma das grandes dificuldades das companhias de saneamento básico brasileira está relacionada com a disposição final ambientalmente adequada destes resíduos produzidos, contribuindo de forma negativa com o real objetivo de uma unidade de tratamento de esgoto quanto a despoluição ambiental, constituindo-se em uma problemática ambiental, sanitária, econômica e social.

Diante aos impactos que os resíduos têm gerado ao meio ambiente e a sociedade, o Poder Público tem exigido das concessionárias políticas ambientais mais eficientes no que tange a coleta e ao tratamento de esgoto, bem como padrões de disposições mais restritivos instituindo que as companhias de saneamento refinem o gerenciamento dos produtos finais promovendo a sustentabilidade do processo, e o enquadramento em normas e legislações brasileiras vigentes.

Dentre as rotas de descarte mais viáveis econômica, operacional e ambientalmente destacam-se a destinação para aterro sanitário e industrial, corretamente licenciado e a utilização do resíduo como adubo, promovendo a nutrição das culturas agrícolas. A segunda opção destaca-se por sua vantagem financeira, visto que se for agregado valor comercial ao produto, gerará uma ampliação na receita da unidade de tratamento do resíduo, somando o incentivo à agricultura local, promovendo um marketing social e ambiental para a companhia.

Vale ressaltar que há outras alternativas de disposição comumente utilizadas no cenário mundial, como pirólise para geração de carvão ativado (utilizado em estações de tratamento de água), biomassa para geração de energia e bio-óleo, incineração e mistura para fabricação de materiais da construção civil.

No que corresponde a legislação ambiental agregada ao presente tema, destaca-se a Lei de nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que em seu primeiro artigo afirma:

“Art. 1º Esta Lei institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. ” (BRASIL, 2010)

Do mesmo modo, é destacado na PNRS objetivos quanto a gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, apresentando respectivamente a seguinte ordem de prioridades: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e disposição em aterros, que deveriam ser integralmente licenciados até agosto de 2014 (BRASIL, 2010). Entretanto, é sabido que poucas cidades brasileiras apresentam aterros devidamente licenciados, a exemplo podemos destacar que no âmbito estadual (Tocantins) existem somente 3 (três) aterros devidamente licenciados, sendo eles o de Palmas, Araguaína e Porto Nacional, tornando a disposição na agricultura uma alternativa que apresenta grande potencial como opção para destinação, principalmente em locais que apresentam grande áreas voltadas a agricultura e plantio de demais árvores e plantas.

Para Bittencourt (2014), o uso do resíduo como adubo para a agricultura é uma forma ambientalmente sustentável para a destinação do lodo proveniente do tratamento de esgoto doméstico, dado que promove a reciclagem de nutrientes, sendo saudável a diversas culturas de plantas e, por apresentar grande quantidade de matéria orgânica (MO), possibilitando melhorias nas características físicas, químicas e biológicas do solo e proporcionando benefícios a sociedade e ao meio ambiente como a contribuição na agricultura local e a conservação do solo e água. Para tal processo de destinação, há a legislação brasileira vigente intitulada Resolução 375 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), de 29 de agosto de 2006, que apresenta critérios mínimos para a qualidade agronômica, ambiental e sanitária dos bioresíduos (lodo tratado) utilizados como adubo na agricultura.

Atualmente, o resíduo da cidade de Palmas – TO proveniente do tratamento de esgoto não é atendido com disposição final, pois o mesmo não é recebido pelo aterro sanitário municipal nem tampouco é gerenciado com outras técnicas. Dessa forma, o lodo é contemplado com uma alternativa intermediária utilizando tecnologia geotêxtil, que segundo Di Bernardo et al. (2012) traduz-se na

diminuição do teor de umidade do lodo, por meio da drenagem do líquido pelos poros da trama do tecido geotêxtil, ocasionando o desaguamento progressivo e redução do volume inicial.

Diante a esta problemática, o presente trabalho aborda como tema um estudo da viabilidade econômico-financeira para aplicação do lodo de esgoto gerado na cidade de Palmas/TO na agricultura, como forma de disposição final e ambientalmente adequada, utilizando como embasamento técnico e legal da legislação ambiental CONAMA nº 375/2006.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

A disposição final dos resíduos provenientes de estações de tratamento de água e esgoto vem se tornando motivo de grande impacto ambiental à medida que a universalização do saneamento básico vem ocorrendo ao longo das cidades brasileiras, exigindo do Poder Público medidas imediatas para a gestão sustentável dos resíduos, em especial sua reinserção no ciclo produtivo.

Embora os resíduos provenientes de tais práticas sejam removidos para serem dispostos em aterros sanitários, o mesmo tem entrado em desuso uma vez que as exigências ambientais se apresentam restritivas devido ao estímulo às políticas sustentáveis. Dentre outros fatores de grande relevância podem ser destacados a falta de aterros sanitários devidamente licenciados e próprios a este tipo de resíduo, uma vez que aplicado de forma contínua e em grande volume pode promover instabilidade em seus taludes. Somado a esta prática, a incineração e pirólise apresentam-se onerosas em comparação a outras que serão abordadas ao longo deste presente estudo.

3 JUSTIFICATIVA

As Estações de Tratamento de Esgoto são responsáveis por tratar de forma física, química e/ou biológica o efluente bruto recolhido pelas redes coletoras, apresentando como produto final o efluente tratado. Este, por sua vez, é disposto no

corpo hídrico e/ou no solo, bem como os resíduos gerados como gases e o lodo provenientes de tratamentos biológicos.

Por representar ameaças ambientais e sociais, o biossólido gerado pelo tratamento de efluente é traduzido como um grande problema às concessionárias a nível nacional e internacional, devido ao aumento do volume gerado como consequência do crescimento populacional, limitações quanto as áreas de destinação legalmente adequadas e elevado custo de operação, que segundo Lima (2009) podem chegar a 60% do gasto do tratamento de esgoto, tornando o gerenciamento do resíduo uma atividade complexa.

No Brasil, grande parte destes resíduos são lançados em aterros sanitários, entretanto é importante salientar que poucos aterros brasileiros são licenciados segundo a legislação ambiental, não estando de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos que em seu artigo 18 § 4º declara “A existência de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos não exime o Município ou o Distrito Federal do licenciamento ambiental de aterros sanitários [...]”. Outro fator que dificulta a disposição deste lodo em aterros é seu grande teor de umidade que em contato com resíduos sólidos urbanos podem desencadear a desestabilização dos taludes, e o elevado custo de transporte do mesmo, uma vez que há a necessidade de veículos especializados para tal produto e licenças ambientais para transportá-lo em vias municipais, estaduais e federais, onerando a alternativa.

Entretanto, com o intuito de facilitar a gestão ambiental do lodo, foram desenvolvidas alternativas de disposição final referentes ao recomendado na Agenda 21 no que tange a reciclagem deste produto, sendo a reciclagem agrícola a mais utilizada em países como Estados Unidos e União Europeia. Para tanto, é necessário que o lodo apresente características químicas, microbiológicas e agrônômicas de acordo com a legislação vigente, conforme a Resolução CONAMA 375/2006, garantindo, assim, a segurança ambiental e sanitária do consumidor e do distribuidor deste novo produto.

Uma vez alcançada estas características, o biossólido (lodo tratado) pode melhorar os atributos físicos do solo pois é fonte de macronutrientes favoráveis ao desenvolvimento das culturas agrícolas, como nitrogênio, fósforo e potássio. Quando aplicado cal para a eliminação dos agentes patogênicos presentes no lodo, o biossólido apresenta-se ainda como um corretivo da acidez do solo (Maria et al.,

2010), além de proporcionar benefícios na fertilidade (Melo, 2000) e consequentemente na produção agrícola (Nascimento et al., 2004), aumento na disponibilidade de nutrientes (Vieira & Cardoso, 2003), melhoria da capacidade de troca catiônica e no estímulo à atividade microbiana do solo (ANDREOLI et al., 2001a).

Em países como China, França, Nova Zelândia e EUA o bio sólido é vendido aos agricultores, devido à valorização do produto diante ao mercado agrícola, aumentando a arrecadação da concessionária e permitindo que parte dos gastos para o tratamento do lodo possam ser pagos com a própria venda do produto, uma vez que sua comercialização não cobre integralmente este investimento (BEECHER, 2008).

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Promover um estudo da viabilidade econômico-financeira da disposição do lodo na agricultura local proveniente do sistema de esgotamento sanitário do município de Palmas- TO.

4.2 Objetivos Específicos

- Confeccionar uma análise quantitativa da produção de lodo da maior estação de tratamento de esgoto da cidade de Palmas/TO no período entre janeiro a dezembro de 2018;
- Obter a classificação do lodo produzido em termos da Resolução CONAMA 375/2006;
- Estudar a viabilidade econômico-financeira da disposição final do lodo na agricultura.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 Tipos de Lodo nos Processos de Tratamento de Esgoto

Os diferentes processos de tratamento de efluentes podem originar variadas classificações de lodo que se divergem quanto aos procedimentos tecnológicos envolvidos nas etapas de tratamento do esgoto, alternativas de estabilização e condicionamento do lodo. Para Batista, (2015), compreender a variação da tipologia do lodo apresenta-se como grande influenciador para a definição dos tratamentos mais adequados a este resíduo, alcançando eficácia quanto as características e requisitos de qualidade exigidos pela legislação vigente, com vistas para a redução de volume e destinação final ambientalmente adequada.

5.1.1 Tipologia do Lodo quanto à Origem

Os lodos podem ser classificados, quanto a sua formação, em quatro tipos: lodos primários, secundários ou biológicos (divididos em lodo digerido, aeróbio não estabilizado, aeróbio estabilizado, anaeróbio estabilizado), mistos e químicos.

Os lodos provenientes de decantadores primários ou em flotadores são denominados lodos primários. Apresentam forte odor, viscosidade elevada, coloração cinza, necessitando ser digerido antes da destinação final (NUVOLARI et al., 2003).

Lodos secundários podem ser provenientes de diferentes origens como decantador secundário e reator de lodos ativados, apresentando coloração marrom e aparência floculenta e odor mais fraco em comparação com o tipo anterior, entretanto, apresentam tendência de rapidamente se tornarem-se sépticos, desencadeando coloração escura e odor de material em putrefação (METCALF; EDDY, 1991 *apud* NUVOLARI et al., 2003).

O lodo misto é formado pela mistura do lodo primário com o lodo secundário. Em sistemas de tratamento onde se utiliza etapa físico-química para melhorar o desempenho do decantador primário ou para dar um polimento ao efluente secundário, tem-se o lodo químico (Geyer, 2001; Musse, 2007), obtido pela aplicação de produtos como sulfato de alumínio e cloreto férrico.

No Quadro 1 é apresentada a classificação quanto a tipologia do lodo, relacionando-os com o procedimento que lhe deu origem.

Quadro 1- Classificação quanto a tipologia de lodo de ETES

Tipo de Lodo	Origem	Características
Lodo primário ou bruto	Proveniente do tratamento primário do esgoto e obtido, normalmente, por sedimentação.	Possui uma coloração acinzentada, é pegajoso, de odor desagradável e pode decompor-se facilmente.
Lodo digerido	Processos de estabilização de lodos.	Apresenta redução de SSV superior a 40%, dependendo do processo empregado. Quando bem digerido não possui odor ofensivo.
Lodo aeróbio não estabilizado	Sistemas de lodos ativados e em reatores aeróbios com biofilmes – alta carga (von Sperling e Gonçalves, 2001).	Compreende a biomassa de micro-organismos aeróbios, gerada nos processos metabólicos de degradação da matéria orgânica, descartada do sistema. Necessita de processo de digestão complementar.
Lodo aeróbio estabilizado	Lodos ativados com aeração prolongada e reatores aeróbios com biofilmes – baixa carga (von Sperling e Gonçalves, 2001)	Constitui o lodo excedente, resultante de respiração endógena prevalecente, com um menor teor de matéria orgânica e maior quantidade de sólidos inorgânicos, não havendo necessidade de uma etapa posterior de digestão.
Lodo anaeróbio estabilizado	Processos de degradação da matéria orgânica, em condições anaeróbias. Ocorrência em reatores anaeróbios e no fundo de lagoas de estabilização.	Lodo com menor teor de matéria orgânica, quanto melhor a digestão, menor o potencial de geração de odor.

Lodo químico	Produzido em estações de tratamento onde se tem uma etapa físico-químico de tratamento da fase líquida.	
--------------	---	--

Fonte: adaptado de von Sperling e Gonçalves (2001); Ferreira et al (1999).

5.1.2 Tipologia do Lodo quanto ao Teor de Umidade

Quanto ao teor de umidade, Bezerra (2014) afirma que o lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto pode ser classificado em quatro grupos: lodo *in natura*, lodo parcialmente desidratado, lodo seco e lodo incinerado.

O primeiro corresponde ao lodo coletado após o tratamento final do esgoto, apresentando um teor de umidade médio de 98%. O segundo é proveniente do processo de desidratação mecânico, com a utilização de centrífuga, e/ou natural, por meio de um leito de secagem ou bag's geotêxteis, atingindo um teor de umidade em torno de 60% a 80% (BEZERRA,2014).

Segundo Lessa (2005), o lodo seco apresenta-se com aproximadamente um teor de umidade de 1%, porém, isso acontece somente por um processo de secagem artificial em estufas. Já o lodo incinerado, advém do processo de queima do lodo elevando sua temperatura a valores que variam de 550°C a 950°C. Este tipo de lodo também recebe a nomenclatura de cinza de lodo.

5.2 Características do Lodo no Processo de Tratamento de Esgoto

Os diferentes tipos de esgotos coletados pelo meio definem parâmetros qualitativos do lodo a ser gerado durante o processo de tratamento. Efluentes oriundos de atividades industriais apresentam acentuada diversidade de compostos devido a cadeia produtiva, apresentando contaminantes químicos como tinturas com altos teores de metais pesados e de outros compostos tóxicos bastante indesejáveis ao tratamento biológico. Já efluentes advindos de atividades antrópicas apresentam em sua estrutura grandes quantidades de matéria orgânica (MO) e compostos orgânicos como nitrogênio, fósforo, proteínas, carboidratos, óleos e graxas, bem como metais

pesados, compostos não biodegradáveis e, em alguns casos contaminantes tóxicos (óxidos, hidróxidos, carbonatos e sulfetos) decorrentes de atividades industriais. Quanto as características biológicas, estão presentes organismos como bactérias, responsáveis por possibilitar os processos de decomposição e estabilização da matéria orgânica durante o tratamento biológico do efluente bruto e fungos, vírus e protozoários capazes de transmitir doenças de veiculação hídrica como, salmonela, cólera, hepatite, amebíase, dentre outras (BATISTA, 2015).

5.1.1 Características Físicas do Lodo

5.1.1.1 Umidade

De acordo com Costa et al (2013), altos teores de umidade no lodo é considerado um dos maiores problemas para a administração deste resíduo no que tange ao transporte do bissólido da unidade de gerenciamento ao local de aplicação no solo, sendo responsáveis por grande parte do custo que engloba sua disposição final. Dessa forma, é importante a redução deste volume por técnicas como de adensamento e desidratação, propiciando para a diminuição de gastos e de impactos ambientais.

Estudos realizados pela Prosab e Sanepar (1999) indicam ainda que a calagem do lodo está relacionada com a umidade, apresentando melhor eficiência quando o lodo se encontra no teor de umidade por volta de 65% a 75%. Isso se dá pelo fato desta faixa de umidade permite uma boa reação da água contida no lodo com a cal inserida, desencadeando em uma melhora na reação exotérmica e na plasticidade, o que é fundamental para homogeneização da cal com o lodo e, portanto, boa homogeneidade do pH.

5.1.1.2 Sólidos Totais – ST

Segundo Freddo (2014), sólidos totais são resíduos que permanecem no lodo de esgoto quando este é submetido à temperatura de 104°C +/- 1°C

A relação entre sólidos totais e sólidos voláteis é considerada um parâmetro para monitorar o grau de estabilização da matéria orgânica (MO), podendo ser utilizada para analisar o teor de putrefação do lodo que está relacionada com a produção de odores ofensivos e com a atração à vetores transmissores de doenças, como insetos e ratos (CORREIA, 2009).

5.1.1.3 Sólidos Voláteis – SV

Para Usepa (2004), sólidos voláteis é o parâmetro mais utilizado para avaliação dos teores de matéria orgânica, indicando a digestão do lodo juntamente com as condições de projeto da unidade, tempo de detenção, carga aplicada e critérios de operação. É encontrado com a combustão do lodo à temperatura de 550°C, onde parte dos sólidos totais são eliminados, sendo esta os sólidos voláteis.

5.1.2 Características Químicas do Lodo

5.1.2.1 Potencial Hidrogeniônico – pH

Segundo Bittencourt (2014), o pH é apresentado como um eficiente indicador do grau de decomposição da matéria orgânica (MO), sendo necessário, em caso de acidificação do lodo, uma correção no pH para o favorecimento da decomposição dos compostos orgânicos. A autora menciona ainda em seu trabalho, que a elevação do potencial hidrogeniônico (pH 12) contribui para a desinfecção do lodo, eliminando agentes patogênicos.

5.1.2.2 Nutrientes

O resíduo das estações de esgoto apresenta em sua macroestrutura nutrientes provenientes de esgotos antrópicos que contém grande caráter nutritivo a culturas agrícolas, como o fósforo (P), nitrogênio (N), potássio (K), magnésio (Mg) e cálcio (Ca).

Os nutrientes que apresentam maior concentração no lodo são o fósforo (P), nitrogênio (N), enquanto que cálcio e magnésio estão em quantidades menores, salvo o lodo higienizado com cal. Outros nutrientes que compõem o resíduo são o cobre (Cu) e zinco (Zn), estes, por sua vez, são microelementos que devem ser encontrados obrigatoriamente em quantidade menores, uma vez que sua aplicação em altos níveis podem resultar em efeitos tóxicos nos solos, reduzindo a produtividade de culturas que ali se desenvolvem (ANDREOLI et al, 2001).

O gerenciamento do resíduo influencia em suas características finais e lodos, cuja estabilização e/ou higienização é feita com cal possuem pH elevado e menor valor de nitrogênio devido às perdas por volatilização da amônia (NH₃). Lodos que passaram pela estabilização, como a compostagem, apresentam menos quantidade de nitrogênio e uma relação C/N (Carbono/Nitrogênio) mais elevada, em virtude da adição de material rico em carbono para promover a mistura na compostagem (BERTON & NOGUEIRA, 2010).

Aos demais macronutrientes, a presença de Cálcio, Fósforo, Enxofre e Magnésio é visto em maior quantidade nos lodos na forma de torta e seco, enquanto que lodos na forma líquida possuem mais Potássio por não passarem pelo processo de desaguamento na sua produção (BERTON & NOGUEIRA, 2010).

5.1.2.3 Matéria Orgânica

A matéria orgânica (MO), por meio do seu processo de mineralização, é caracterizada com um dos meios responsáveis pela incorporação de nutrientes ao solo, melhorando sua resistência à erosão e ao adensamento, além de influenciar na resistência das plantas à pragas e doenças (SANEPAR; PROSAB, 1999).

5.1.2.4 Metais Pesados

Alguns metais pesados quando apresentados em determinadas quantidades promovem um benefício aos organismos que a ele estão em contato, como o Zinco, Magnésio, Cobre e Ferro, chamados de micronutrientes, entretanto, há outros compostos metálicos que não desempenham qualquer função ao metabolismo,

sendo tóxicos às plantas e aos animais, como o Chumbo, Mercúrio e Cádmio, que não são encontrados de forma natural em outros organismos e não desempenham funções nutricionais ou bioquímicas, trazendo malefícios em qualquer concentração (BATISTA, 2015).

Os riscos que os metais pesados apresentam ao meio não estão associados somente a sua concentração, mas também a forma na qual o metal está vinculado ao lodo, sofrendo influências por reações de adsorção, complexação, precipitação, oxidação e redução (LASHEEN E AMMAR, 2009).

Papadimitriou *et al.* (2007) desenvolveram um experimento para a avaliação dos impactos de lodos estabilizados aplicados no solo. Os resultados apontaram diferenças no alongamento/crescimento da raiz devido a acumulação indireta de metais pesados nas plantas, tornando necessário testes de toxicidade antes da aplicação do biossólido de esgoto como um condicionador de solo.

A Resolução CONAMA 375/2006 preconiza cargas acumuladas teóricas permitidas destas substâncias inorgânicas para a aplicação do lodo em solos agrícolas em seu artigo 17, Tabela 4 como pode ser analisado no Quadro 2. Para tanto, em todo lote de biossólido tratado e fornecido como adubo é necessário a realização de análises para a verificação de seu teor de metais pesados, a fim de proteger a cadeia trófica.

Quadro 2 - Valores permitidos de substâncias inorgânicas para aplicação de lodo de esgoto em solos

Substâncias inorgânicas	Carga acumulada teórica permitida de substâncias inorgânicas pela aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado (kg/hect)
Arsênio	30
Bário	265
Cádmio	4
Chumbo	41
Cobre	137
Cromio	154
Mercúrio	1,2
Molibdênio	13
Níquel	74
Selênio	13
Zinco	445

Fonte: Resolução CONAMA 375/2006.

5.1.2.5 Contaminantes Orgânicos

Segundo Bezerra (2014), durante o processo de tratamento do esgoto, variados contaminantes acumulam-se nos sólidos favorecendo a concentração de poluentes orgânicos no lodo, como os hormônios esteróides sexuais, compostos perfluorados (PFCs), produtos de cuidados pessoais e produtos farmacêuticos que devido às suas propriedades físico-químicas tendem a acumular-se no lodo durante o tratamento do efluente.

Dentre estes produtos, vários são voláteis representando potencial risco à saúde da população e dos funcionários da estação de tratamento que permanecem expostos. Outros contaminantes ficam adsorvidos, concentrando-se no floco biológico podendo promover problemas na digestão do lodo ou gerar lodo com características atípicas, que se não for adequadamente disposto, pode contaminar o lençol freático (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

5.1.3 Características Microbiológicas do Lodo

De acordo com Batista (2015), o lodo está relacionado com o perfil de saúde da população que define os tipos de microrganismos encontrados no esgoto, como saprófitos, simbiontes, comensais ou patógenos capazes de causar doenças ao ser humano. Ainda segundo o autor, entre as condições que influenciam a concentração de patógenos presentes no lodo destacam-se o tempo de permanência nos locais de estocagem, tipo de tratamento a que o esgoto e o lodo foram submetidos, método de estocagem, clima e/ou estação do ano.

Os microrganismos bacterianos mais frequentes são: *Shigella sp.*, *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Leptosira sp*, *Vibrio cholerae*. Dentre os agentes virais podem ser citados: rotavírus, enterovírus, vírus da hepatite A e reovírus. Quanto aos protozoários, são encontrados: *Entamoebahistlytica*, *Cryptosporidium*, *Balantidium coli*, *Giárdia lambia*, e *Toxoplasma gondii*. Os helmintos mais frequentes são: *Ascaris sum*, *Ascaris lumbricoides*, *Toxocara sp.*, *Trichuristrichiura*, *Taeniasolium*, *Necator americanos*, *Taeniasaginata*, *Hymenolepis nanam*, *Hymenolepis diminuta* (SOCCOL et al, 2010).

A quantidade deste tipo de microrganismos presentes no lodo de esgoto apresenta variabilidade e está relacionado com as condições socioeconômicas da população, tipo de tratamento do esgoto, condições sanitárias da região e indústrias (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

Embora os processos de tratamento de esgoto sejam ideais ao desenvolvimento de agentes patogênicos, há dificuldades para a detecção destes seres, devendo ser identificados a partir de indicadores de contaminação fecal. Esses indicadores são microrganismos que coexistem com os patógenos nas fezes, pois estão presentes no intestino do homem e de alguns animais. A família Enterobacteriaceae, com os gêneros *Salmonellas* spp. e *Enterococcus* spp., e o grupo dos coliformes são considerados excelentes indicadores de contaminação fecal (VON SPERLING, 2005).

5.3 Tratamento e Produção do Lodo de Esgoto

Segundo Von Sperling (2005), esgotos domésticos apresentam cerca de 99,9% de água e 0,1% de material orgânico, inorgânico, suspensos e dissolvidos, podendo variar por vários fatores, principalmente por ligações clandestinas na rede de esgoto e infiltração.

Para o ideal tratamento deste esgoto é necessário um conjunto de processos formados por operações unitárias que são empregadas para a remoção de passivos, ou para a transformação destas substâncias em ativos (JORDÃO; PESSOA, 2005). Esses processos são classificados em preliminar, primário, secundário e quando necessário, terciário (VON SPERLING, 2005):

- Tratamento preliminar: remove sólidos grosseiros por sistemas de gradeamento que variam segundo a distância entre as lâminas e areia por meio de desarenadores que trabalham por sedimentação, nos quais os grãos de areia vão para o fundo do tanque, ocorrendo à separação da areia contida nos esgotos;
- Tratamento primário: remove materiais sobrenadantes, parte da matéria orgânica e sólidos em suspensão por meio da sedimentação da massa sólida que apresenta uma densidade maior que a da água. Nesta etapa são utilizadas tecnologias como a decantação primária;
- Tratamento secundário: remove matéria orgânica que pode apresentar-se na forma de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos ou particulados,

que se dá por processos biológicos de estabilização da matéria orgânica. Nesta etapa podem ser utilizadas tecnologias como lagoas de estabilização, reatores anaeróbios, lodos ativados e disposição sobre o solo;

- Tratamento terciário: promove a remoção de poluentes específicos e/ou que não foram removidos no tratamento secundário.

A seguir, é apresentada no Quadro 3 a produção de lodo nos diversos tipos de tratamento.

Quadro 3 - Produção de lodo em diferentes tipos de tratamento de esgoto

Tipo de Tratamento	Quantidade de lodo produzido ($\text{m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$)
Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa	0,01 a 0,04
Lagoa aerada facultativa	0,03 a 0,08
Filtro biológico (baixa e alta carga)	0,4 a 1,5
Reator anaeróbio de manta de lodo	0,07 a 0,1
Fossa séptica – filtro anaeróbio	0,07 a 0,1
Lodos ativados convencionais	1,1 a 1,5

Fonte: Ferreira; Andreoli; Jürgensen (1999).

No Brasil são utilizadas variadas tecnologias de tratamento de esgoto, sendo o mais comum a combinação de reatores anaeróbios de fluxo ascendente e lodos ativados, lodos ativados de aeração convencional e de aeração prolongada, lagoas anaeróbias, facultativas e maturação (GONÇALVES, 2001). Segundo Machado (2001), para estas tecnologias, as estimativas de produção de lodo para o início do século XXI eram de 150.000 ton/ano, porém, com o aumento de políticas governamentais que visam um maior acesso às comunidades quando a coleta e tratamento de esgoto, este número apresentou um aumento, e segundo dados do SNIS (2008), a estimativa alcançou 362.000 ton/ano.

Em 2015 as estações de esgoto trataram no Brasil em média 3.805.022 mil m^3 de esgotos (SNIS, 2015) o que corresponde a apenas 43% de todo o efluente gerado. Considerando-se que a cada m^3 de esgoto bruto possui aproximadamente 0,227 kg de sólidos secos totais (MACHADO, 2001), é possível contabilizar uma média de produção de lodo de esgoto na base seca no ano de 2015 de 863.740 toneladas, o que corresponde a um aumento de 238% na geração de lodo de esgoto em 10 anos.

5.4 Tratamento e Disposição Final do Lodo de Esgoto

O gerenciamento do lodo produzido e descartado pelos reatores biológicos de uma estação de tratamento de esgoto representa um dos maiores desafios do empreendimento quanto a eficiência técnica e operacional. Para tanto, é necessário que a metodologia de descarte, gestão e destinação do resíduo produzido seja definido em etapas iniciais do projeto da estação, que segundo Von Sperling e Gonçalves (2001) apud Bittencourt (2014) devem visar:

- Aumentar o teor de sólidos: adensamento;
- Mineralizar a matéria orgânica (redução de sólidos voláteis): estabilização;
- Adequar para o desaguamento: condicionamento;
- Reduzir a umidade (redução de volume): desaguamento;
- Diminuir o número de organismos patogênicos: higienização.

5.4.1 Estabilização

De acordo com Fernandes (2000), a etapa de estabilização consiste na retirada da matéria orgânica (MO) mais facilmente biodegradável promovendo uma diminuição no potencial de putrefação do lodo, e consequentemente na produção de odores ofensivos e concentração de agentes patogênicos. A autora afirma ainda que a estabilização de lodos pode ser dividida em:

- Estabilização biológica: utilizando bactérias específicas para a estabilização da fração biodegradável da matéria orgânica, por processos de digestão anaeróbia e aeróbia;
- Estabilização química: oxidação química da matéria orgânica por meio da adição de produtos químicos. O tratamento químico mais utilizado é via alcalina, em que uma base, normalmente a cal, é misturada ao lodo, elevando o pH e destruindo a maior parte dos microrganismos;
- Estabilização térmica: obtida a partir da ação do calor sobre a fração volátil em recipientes hermeticamente fechados (FERNANDES, 2000).

No Brasil, a estabilização mais usual tem sido por meio da digestão anaeróbia, que segundo Fernandes *et al* (2001) quando operados em condições adequadas, podem promover a redução de coliformes fecais, entretanto, ovos de helminto tem se apresentado resistentes ao processo, tornando-o eficiente na remoção de odor, porém com limitações na redução de patógenos.

Em seus estudos, Zabranská *et al* (2000), afirmaram que a estabilização térmica pode contribuir a uma maior redução de sólidos, além de favorecer a remoção de agentes patogênicos e elevar o balanço energético da estação, a partir do aproveitamento energético do gás que pode ser utilizado no próprio sistema de estabilização.

Já a estabilização aeróbia, apresenta grande quantidade de oxigênio dissolvido em toda a massa líquida, contribuindo para a atividade de bactérias aeróbias e a formação de subprodutos, como matéria orgânica estabilizada (lodo digerido), água e gás carbônico. Esta é comumente utilizada em estações menores, apresentando o alto custo operacional de energia como principal desvantagem em relação à digestão anaeróbia (JORDÃO PESSÔA, 2005).

5.4.2 Adensamento

Após o tratamento primário e secundário do efluente realizado por meio de processos biológicos, o lodo gerado possui cerca de 0,3 a 0,5% de sólidos totais, apresentando grande quantidade de umidade o que torna oneroso a disposição final ambientalmente adequada (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001). Por essa razão, tecnologias para diminuição da umidade foram desenvolvidas promovendo uma maior facilidade na disposição deste lodo em termos de facilidade no transporte, aumento da capacidade de empilhamento durante a estocagem na estação, redução da produção de lixiviados e chorume. Dentre as medidas de adensamento incluem segundo Batista, 2015:

- Adensadores por gravidade – Mecanismos como o leito de secagem, são utilizados para adensamento de lodos primários (faixa de 4 a 10%), mistos (lodo primário e lodos ativado – 2 a 6%; lodo primário e lodo de reator anaeróbio com biofilme – 4 a 8%);
- Adensadores por flotação – Empregado para o adensamento do lodo ativado em excesso, aumentando a concentração de sólidos para a faixa de 3-6% (Jordão e Pessoa, 2005);
- Adensamento por processos mecânicos - Utiliza equipamentos como centrífugas, adensadores de esteira e tambores rotativos. Segundo Bittencourt

(2014), este tipo de processo estabelece uma desestabilização e neutralização de forças eletrostáticas de repulsão entre as partículas do lodo, possibilitando o agrupamento de partículas menores em agregados maiores, mais facilmente capturado nos equipamentos de mecanismo mecânico. A opção por um desses tipos deve considerar a complexidade operacional, bem como os custos de operação e manutenção de tais equipamentos.

Para o adensamento mecânico é necessária a presença do agente condicionante como sais de ferro, principalmente cloreto férrico, sulfato de alumínio, cal virgem e cal hidratada. Os produtos químicos orgânicos mais utilizados incluem vários polímeros, sendo que a definição do melhor produto e dosagem depende de testes locais (JORDÃO; PESSÔA, 2011; GONÇALVES; LUDUVICE; VON SPERLING, 2001).

A forma física do lodo, manuseio e disposição final estão diretamente relacionados com o teor de umidade do resíduo. Lodos com características fluídas apresentam um teor de umidade superior a 75%, por outro lado, lodos pastosos estão entre 65% a 75% e lodos sólidos abaixo de 65% de umidade (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

5.4.3 Desinfecção

Durante o tratamento do esgoto, grande parte das partículas orgânicas sedimentam e juntamente com elas os agentes patogênicos. Em se tratando de lodo, o nível de redução de patogenicidade é estabelecido segundo exigências determinadas para cada tipo de destino a ser disposto o resíduo tratado. Assim sendo, para a destinação final adequada, é necessário que o mesmo passe pelo processo de higienização, que visa eliminar ou reduzir a densidade de microrganismos, tornando o produto final biologicamente seguro para as diferentes aplicações desejadas. A técnica de caleação é a mais utilizada para esta etapa, o que consiste na aplicação de cal hidratada elevando pH a 12 e promovendo a destruição dos agentes. (PASSAMANI et al., 2002).

5.4.3.1 Compostagem

A compostagem é um processo biológico em que microrganismos somados com resíduos orgânicos geram calor por meio de processos exotérmicos de degradação do material orgânico mantendo a temperatura entre 55°C e 65°C por alguns dias, evitando a adição direta de patógenos diversos no solo e tornando seus percentuais de presença no lodo apropriados para a destinação final. O material que resulta é nomeado de composto e é rico em nutrientes (PEGORINI, 2002). Entretanto, segundo Andreoli et al (2006), esta técnica deve ser analisada como solução centralizada, pois instalar e operar pequenos sistemas torna os custos elevados além de apresentar dificuldade do ponto de vista operacional, já que este processo depende de um resíduo estruturante externo.

5.4.3.2 Caleação

A utilização de cal é um processo eficaz, de baixo custo e pode ser implantado com tecnologia simples por meio da mistura da cal virgem (CaO) ao lodo em proporções que variam de 30% a 50%, em função do peso seco do lodo. Os fatores influenciadores ao processo são a mudança de pH devido a utilização da cal, alteração na temperatura e a ação da amônia resultante de reações ocasionadas pelo aumento do pH e da temperatura. Dessa forma, tem-se a inativação ou destruição da maior parte dos patógenos e, principalmente, a redução considerável do odor do lodo (ANDREOLI E FERNANDES, 1999).

5.4.3.3 Solarização

A solarização é uma técnica que consiste em submeter o lodo à secagem natural devido as condições climáticas de alta insolação e temperatura ambiente. Esse efeito pode ser potencializado com a adição de uma cobertura plástica transparente que cria um efeito estufa. *“Os raios ultravioletas atuam na superfície, enquanto, no interior, predomina a oscilação periódica de temperatura durante o tratamento, criando alterações nas condições químicas, físicas e biológicas do meio”*. Assim, com o efeito

estufa e a redução na umidade, o processo de desinfecção é acelerado e promove a redução na concentração de agentes patogênicos (ARGEL, 2010).

Esta técnica é apontada como uma solução simples, de fácil aplicação, de baixo custo e com geração mínima de resíduo, sendo explicada por meio do comentário de Silva (2007).

O filme plástico transparente permite a passagem da radiação solar e sua conversão, em energia calorífica, gera vapores que podem alcançar 50°C, a essa temperatura muitos patógenos do lodo podem ser inativados, como bactérias, fungos, vírus e nematoides (SILVA, 2007).

5.4.4 Controle das Características do Lodo Tratado

Legislações ambientais tem se tornado cada vez mais restritivas como forma de proteger o meio ambiente contra impactos ambientais causados por meios antrópicos, exigindo das empresas uma economia ambiental mais ativa. Ademais, as unidades de tratamento são responsáveis pelo gerenciamento do ciclo de vida de seus produtos e subproduto e assim, diminuindo intervenções negativas ao ecossistema não somente nos processos de produção do produto, mas também por aqueles causados pelas atividades de descarte (OLIVEIRA *et al*, 2003).

Para o controle do lodo que será tratado e reutilizado na agricultura tem-se a Resolução CONAMA 375/2006 que trata das atividades de caracterização do então bioestabilizado que será utilizado para esta finalidade. Dentre as atividades de controle que a resolução aplica destacam-se em seu artigo 7º:

Art. 7º A caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado a ser aplicado deve incluir os seguintes aspectos:

- I - Potencial agrônomico;
- II - Substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas;
- III - Indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos; e
- IV – Estabilidade (BRASIL, 2006).

5.4.5 Disposição Final do Lodo Tratado

A ABNT NBR 10004:2004 “*classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública*”, agrupando-os em: classe I –

perigosos; classe II – não perigosos; classe IIA – não inertes; resíduos classe IIB – inertes.

Resíduos perigosos são aqueles que apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, entretanto, a referida norma acrescenta que resíduos provenientes de estações de tratamento de esgoto domésticos também são considerados perigosos devido o critério de patogenicidade.

Assim, a escolha da melhor disposição final do lodo deve levar em consideração a classe de periculosidade do resíduo, que por sua vez depende da determinação de suas características.

5.4.5.1 Aterro Sanitário

Segundo Batista (2015), para a operação de um aterro sanitário são necessários estudos ambientais criteriosos devido ao impacto causado no ecossistema em decorrência do líquido produzido pelos resíduos domésticos nomeado de chorume ou lixiviado, que apresenta em sua formação metais pesados e poluentes orgânicos. Sua operação constitui-se pela presença de trincheiras que recebem o resíduo doméstico que é compactado e recoberto com solo ou materiais inertes com controle de variáveis técnicas e ambientais. Já para a disposição do lodo, esta é realizada em células antecipadamente impermeabilizadas e posteriormente recobertas por uma camada de terra. Dessa forma, o resíduo é degradado anaerobiamente e com produção de metano que geralmente é queimado em queimadores de gases.

Para evitar a geração excessiva de chorume em função de evitar a instabilidade do aterro, o lodo deve apresentar uma concentração de sólidos totais em torno de 15% a 20%, entretanto para alcançar estes valores é necessário o desaguamento do mesmo, uma vez que o aterro não exige caracterização do resíduo. Dessa forma, em locais que apresentam grande áreas para esta finalidade, a disposição em aterro é considerada a opção mais barata (BEECHER, 2008), porém há a tendência mundial em não considerar essa forma de disposição uma prática de gestão sustentável dos resíduos, mesmo quando a destinação em aterro é a menos

onerosa e trabalhosa (PARRAVICINI *et al.*, 2007, HÉBERT, 2007; LINDBERG *et al.*, 2007).

5.4.5.2 Incineração

A incineração apresenta como característica a redução do volume de lodo por meio de sua rápida oxidação da matéria orgânica que ocorre pela combustão controlada de lodo previamente adensado, desaguado a um teor de sólidos de no mínimo 25%, sendo o volume de cinza residual inferior a 4% do volume de lodo desaguado alimentado ao incinerador (LUDUVICE e FERNANDES, 2001).

É relevante, durante a incineração, o controle odorífero e a ciência do poder calorífero do resíduo, bem como a existência de sistemas de alimentação com temperatura adequada de combustão, instalações auxiliares específicas para controle e particulados segundo os padrões estabelecidos pela legislação vigente (ANDREOLI, 1999).

Apesar da incineração ser uma destinação final do resíduo, esta acarreta impactos ambientais negativos, como contaminação dos corpos hídricos devido a eventuais vazamentos de efluente, poluição sonora devido o funcionamento da máquina e poluição do ar pela emissão de CO, SO₂, compostos orgânicos complexos e particulados. Além destas negativas, vale citar que a instalação e operação de um incinerador requer elevados custos e cuidados operacionais sofisticados, impossibilitando, muitas vezes, a implantação deste sistema por parte de empresas que trabalham com esgotamento sanitário (ANDREOLI, 1999).

5.4.5.3 Landfarming

Para Batista (2015), *landfarming* é uma técnica desenvolvida na indústria petrolífera caracterizada pela degradação biológica do substrato orgânico por meio de microrganismos presentes no perfil arável do solo, ou seja, seus primeiros 20 cm. O autor destaca ainda que os íons metálicos liberados são agregados no perfil de tal forma que não compromete com a qualidade do lençol freático.

Segundo Lima (2010) grandes quantidades de resíduos de petróleo e outros materiais, tais como lodos municipais podem ser tratados simultaneamente na técnica de *landfarming*, uma vez que o processo é realizado em sistema fechado, sendo adequado para tratamento de resíduos com risco à saúde e ao meio.

5.4.5.3 Recuperação de Áreas Degradadas

Segundo Tsutiya (2001) a adição de lodo em áreas degradadas oferece benefícios às propriedades físicas do solo, proporcionando maior crescimento vegetal, de gramíneas e leguminosas, melhorando a infiltração, retenção da água e a aeração do solo, por proporcionar melhora na densidade, porosidade e macro porosidade do solo. Destacam-se ainda, o aumento no teor de carbono orgânico, magnésio, nitrogênio, potássio, fósforo e cálcio, bem como no de micronutrientes como zinco, ferro e cobre.

A recuperação de áreas degradadas é um procedimento que ocorre em uma velocidade baixa e está relacionado com a capacidade de regeneração do solo, principalmente no que se refere às suas propriedades físicas, sendo imprescindível o uso de materiais orgânicos devido ao seu grau de agregação que altera a densidade, porosidade, aeração e capacidade de retenção e infiltração de água (BARBOSA *et al.*, 2002).

5.4.5.4 Utilização na Agricultura

Segundo Andreoli *et al* (2006) a reciclagem do lodo de esgoto tratado, conhecido como biossólido, para fins agrícolas apresenta-se como alternativa promissora para a disposição final do resíduo, uma vez que este produto é fonte de nutrientes favoráveis ao crescimento da planta.

Esta alternativa alia positivos impactos ambientais, quando realizada segundo a legislação vigente, com baixos custos, resultando na solução mais ambientalmente adequada, “*pois promove o retorno dos nutrientes ao solo colaborando para o fechamento no ciclo dos elementos*” (FERNANDES, 1999; ZULOAGA *et al.*, 2012), além de contribuir para a resistência dos solos à erosão

(GOMES *et al.*, 2006), desde que sejam analisados os metais presentes no biossólido, a probabilidade de lixiviação do nitrogênio e a qualidade sanitária (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

Em países como Estados Unidos, Nova Zelândia, China e França o biossólido é apresentado como insumo agrícola, sendo vendido aos agricultores para custear parte do gerenciamento do lodo de esgoto. O tratamento do resíduo custa ao agricultor menos do que a aquisição de fertilizantes minerais, reduz o uso de combustíveis fósseis utilizados na fabricação e transporte desses fertilizantes e possibilita a reciclagem de nutrientes, como o fósforo (P), cujas reservas naturais deverão ser esgotadas até final do século (BEECHER, 2008).

Segundo Bezerra (2014), vários estudos estão sendo realizados para comprovar a eficiência do lodo de esgoto quanto ao fornecimento de nutrientes às plantas, como Oliveira *et al* (2002) que evidenciaram o acúmulo de carbono orgânico no solo e o aumento da capacidade de troca de cátions; Gil e Tiritan (2009) o crescimento no teor de fósforo no solo em cerca de 70%; Bovi *et al.* (2014) apresentaram melhorias na fertilidade do solo; e Franco, Marques e Melo (2008) que perceberam um maior acúmulo de nitrogênio na planta e maior teor residual de nitrogênio no solo.

Ademais, segundo Cesar *et al.* (2011), a presença de matéria orgânica e nutrientes provenientes do lodo possibilita um melhor desenvolvimento nas propriedades do solo como densidade, porosidade, estabilidade de agregados, retenção de água, aumento da atividade microbiana e bioquímica do solo e da biomassa. Para regiões tropicais como o Brasil que apresenta em seu solo baixos teores de matéria orgânica e nutrientes, esta alternativa pode proporcionar melhores resultados quanto as mais diversas plantações.

Apesar de muitos benefícios, a disposição final do lodo na agricultura deve ser acompanhada de segurança ambiental, sanitária, econômica e agrônômica, pois o mesmo contempla com a presença de patógenos, poluentes orgânicos e metais pesados, devendo-se combinar tecnologias de tratamento que consigam combinar estes parâmetros a valores aceitáveis pela legislação ambiental vigente, sendo esta a Resolução CONAMA 375/2006.

6 METODOLOGIA

6.1 Descrição da Estação de Tratamento de Esgoto

O objeto de estudo neste trabalho foi o lodo proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto Norte (ETE Norte) que apresenta como tratamento as unidades de gradeamento, desarenador, reator anaeróbio de fluxo ascendente, lodos ativados seguido por decantação secundária, como pode ser visualizado na Figura 1, que atende cerca de 80% do Plano Diretor da cidade de Palmas-TO e opera a uma vazão média de 220 L/s em um período de funcionamento diário de 24 horas.

Figura 1 - Imagem aérea da ETENorte.



Fonte: Unidade em estudo (2018)

6.1.1 Tratamento Preliminar

6.1.1.1 Gradeamento tipo cremalheira

Mediante o gradeamento mecanizado destacado na Figura 2, é possível a remoção de sólidos lançados na rede coletora de esgoto, promovendo a proteção das unidades subsequentes ao processo da estação, evitando problemas operacionais

como quebra de equipamentos. Esta remoção ocorre por meio de suas aberturas de 20 mm localizadas entre as barras, permitindo o acúmulo de material, justificando seu sistema mecanizado com remoção automática dos detritos.

As grades estão localizadas a montante da estação elevatória de esgoto bruto, contemplando comportas de entrada e de saída para um maior controle da vazão, fluxo e manutenções no gradeamento.

Figura 2 - Grade cremalheira



Fonte: Unidade em estudo (2014)

6.1.1.2 Estação elevatória de esgoto bruto (EEEB)

Por meio da estação elevatória de esgoto apresentada na Figura 3 é possível promover o bombeamento do efluente para a próxima etapa de tratamento, sendo esta o tratamento preliminar.

Para a primeira etapa de operação da estação foram instalados 3 (três) conjunto moto bombas com capacidade para recalcar 218 L/s, porém, para fim de plano, a estação contará com 5 (cinco) unidades.

Figura 3 - Elevatória de esgoto bruto



Fonte: Unidade em estudo (2014)

6.1.1.3 Desarenadores

A primeira etapa do tratamento preliminar contempla a caixa de entrada responsável por receber o efluente e direcioná-lo para cada um dos 3 (três) desarenadores por meio do sistema de comportas. Ao chegar nos canais, os óleos e gorduras localizados na massa líquida do esgoto são separados do meio pelo ar procedente dos sopradores. Pela ação das bolhas de ar, ocorre a flotação desse material, o qual posteriormente é retirado com o auxílio de pontes raspadores, localizados na superfície do canal e direcionado para uma caixa de gordura que periodicamente é limpa por caminhão limpa fossa.

Por ter uma densidade maior que a da água, ocorre o processo natural de sedimentação da areia, que mediante sucção por *air lift* é lançada em um canal localizado na lateral do canal, e direcionada para parafusos classificadores que serão responsáveis por transportar a areia livre de água para caçambas estacionárias.

Após a remoção da areia e das gorduras o esgoto passa por peneiras do tipo “step screen” para a retenção de sólidos maiores que 2 mm. Os sólidos retidos nas peneiras são lançados para o parafuso transportador e a seguir lançados na caçamba de detritos.

O efluente das peneiras passa pela Calha Parshall onde é feita a medição de vazão dirigindo-se a seguir para a caixa de distribuição, onde por meio de comportas o efluente é distribuído para cada um dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente.

As unidades que compõem o tratamento preliminar podem ser observadas na Figura 4.

Figura 4 - Tratamento Preliminar: (a) Desarenadores, (b) step screen, (c) calha parshall



Fonte: Autor (2019)

A presente estação não contempla um sistema primário de tratamento responsável pela remoção de sólidos suspensos por processos físico-químicos, como decantador primário, apresentando o tratamento secundário como etapa subsequente ao preliminar, permitindo a remoção da MO por processos anaeróbios e aeróbios, respectivamente.

6.1.2 Tratamento secundário por RAFA

O tratamento secundário consiste em processos bioquímicos para remoção de matéria orgânica (MO) do efluente por meio de tecnologias como o reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) apresentado na Figura 5, presente na estação em estudo. O RAFA é responsável pela redução da carga orgânica em até 70%, transformando

parte desse em lodo digerido, que será tratado, e parte em biogás que será queimado nos queimadores de gás.

O reator anaeróbio de fluxo ascendente é composto essencialmente por uma câmara inferior de digestão, denominado manta de lodo, responsável pela remoção da MO e por um dispositivo superior para separação de gases, sólidos e líquidos.

Ao chegar nesta etapa do tratamento, o afluente é primeiramente direcionado a caixa de alimentação que contempla tubulações em PVC responsáveis pela distribuição homogênea da massa líquida por toda a área inferior do reator. Após o tratamento, o efluente é direcionado à superfície líquida superior sendo coletado em calhas e conduzido para as unidades de tratamento subsequentes.

O sistema secundário por RAFA apresenta 2 (dois) reatores de formato retangular, comprimento total de 5,70 metros e largura de 3,80 metros.

Figura 5 - Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente.



Fonte: Autor (2019)

6.1.3 Tratamento secundário e terciário por reatores de lodo ativados – RLA

Reatores de lodos ativados são responsáveis pela remoção da matéria orgânica (MO) que não foi retirada no tratamento anterior (RAFA) e por promover oxidação da MO dissolvida e coloidal procedente do efluente dos reatores anaeróbios, bem como a remoção de nitrogênio pela passagem do licor misto pela zona anóxica (nitrificação e desnitrificação). A remoção da matéria orgânica (DBO) é alcançada pelas operações controladas de fornecimento de ar, recirculação do lodo sedimentado nos decantadores secundários e descarte do lodo excedente gerado no processo.

O reator apresenta 3 (três) câmaras sendo estas a anaeróbia, anóxica e aeróbia respectivamente. Na primeira há a completa ausência de oxigênio livre ou combinado, tornando-se possível a liberação de fósforo acumulado na massa celular das bactérias. Na segunda, não existe aeração, somente mistura da massa líquida por meio de aceleradores de fluxo. A terceira câmara ocorre a presença de oxigênio por meio do sistema de sopradores de ar e de difusores porosos localizados no fundo do tanque.

O presente sistema contempla 2 (dois) reatores, com comprimento de 53 metros, largura de 23 metros e profundidade de 6 metros, como pode ser analisado na Figura 6.

Figura 6 - Reator de Lodos Ativados



Fonte: Autor (2019)

6.1.3.1 Decantador secundário

No decantador secundário, exposto na Figura 7, ocorre a separação do lodo biológico produzido nos reatores do efluente líquido clarificado. Dessa forma, nos decantadores secundários o líquido clarificado escoar pelos vertedores constituindo-se no efluente final da ETE, enquanto o sólido sedimentado no fundo dos decantadores é removido continuamente por pontes raspadoras, sendo enviado para o reator de lodos ativados por meio da elevatória de recirculação.

Esta unidade é formada por 2 (dois) decantadores circulares, com diâmetro interno de aproximadamente 22 metros e profundidade de 3,88 metros.

Figura 7 - Decantador Secundário



Fonte: Autor (2019)

6.1.4 Tratamento e disposição do lodo

6.1.4.1 Flotador por ar dissolvido (FAD)

Após a remoção do resíduo proveniente dos reatores de lodos ativados, o mesmo é encaminhado para o sistema de flotação por ar dissolvido (FAD), apresentado na Figura 8, responsável pelo adensamento do lodo, promovendo uma melhor eficiência no sistema de desidratação. Seu funcionamento consiste na inserção de microbolhas de ar que realizam o arraste do lodo para a superfície

formando uma espessa camada de lodo adensado. Por meio da ponte raspadora o lodo adensado é recolhido e encaminhado para o tanque de lodo onde será misturado com o lodo anaeróbio procedente dos reatores anaeróbios. O líquido clarificado do flotador retorna ao reator de lodo ativado por bombeamento.

Figura 8 - Flotador por Ar Dissolvido



Fonte: Autor (2019)

Após a mistura de lodos no tanque de lodos, o resíduo recebe solução polimérica objetivando um maior adensamento das partículas, contribuindo para a eficiência da última etapa do tratamento do resíduo, que consiste na tecnologia de geobags.

6.1.4.2 Geobags

A estação conta com um pátio de geobag's, exibido na Figura 9, onde é realizada a destinação intermediária do lodo gerado no processo de tratamento. O tecido que forma a tecnologia apresenta elevada resistência a esforço mecânico e hidráulico bem como a ataques químicos (álcalis e ácidos) e inerte à degradação biológica.

Este processo é capaz de desidratar o resíduo devido a sua permeabilidade, que permite a passagem do líquido, que é redirecionado ao sistema, garantindo que as partículas sólidas fiquem retidas no interior da geoforma.

Figura 9 - Pátio de Geobag's



Fonte: Autor (2019)

6.2 Produção de lodo na estação

A estação de tratamento de esgoto em estudo tem como principal fonte produtora de lodo o reator de lodos ativados, promovendo o descarte de modo contínuo por meio de uma comporta reguladora de vazão com vertedor triangular a uma altura submersa que varia entre 1 a 20 cm.

Para ciência do valor de descarte do lodo, é realizado diariamente o cálculo de vazão por meio da seção de submergência que o resíduo está sendo descartado com o tempo de descarte, tornando sabido a quantidade de lodo a ser lançado nos bag's em operação.

Para o presente estudo foi analisado o quantitativo de lodo gerado na estação durante o período de janeiro a dezembro de 2018 a uma concentração de 5% de sólidos totais, por meio da coleta de dados existentes nos bancos de dados da estação de tratamento. Posteriormente, foi realizada uma estimativa desta produção após tratamento por centrífuga, tornando possível a ciência do quantitativo de material a ser tratado para disposição na agricultura segundo referencial teórico referente às unidades.

6.3 Legislação Vigente – Resolução CONAMA 375/2006

Para tornar possível a viabilidade no uso do resíduo gerado na estação de tratamento de esgoto para fins agrícolas, primeiramente foi necessário definir sua classificação segundo parâmetros da Resolução CONAMA 375/2006 responsável por definir critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos provenientes do tratamento de efluente domésticos.

A normativa disserta sobre a necessidade de se obter estudos quanto ao potencial agrônomo; substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas; indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos; e estabilidade. Entretanto, para o presente trabalho foi adotado somente o segundo e terceiro parâmetro a fim de analisar substâncias tóxicas e patogênicas, visando a classificação do lodo em classe tipo A ou tipo B, em relação ao limite determinado pela legislação. A utilização destes parâmetros se sucedeu devido a concessionária local analisar somente estes dados para caracterização do lodo gerado no tratamento de esgoto.

A caracterização química do lodo de esgoto quanto à presença de substâncias inorgânicas, é analisada segundo requisitos mínimos presentes na Seção III da Resolução. No Quadro 6 é possível observar estes valores.

Quadro 4 - Lodos de esgoto ou produto derivado - substâncias inorgânicas

Substâncias Inorgânicas	Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg/kg, base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromo	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Fonte: Resolução CONAMA 375/2006

Segundo a legislação, a classificação do lodo em classe A e B é determinada de acordo com características dos agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos presentes na massa do resíduo. Esta análise torna-se importante uma vez que a Resolução restringe somente a aplicação do lodo classe A.

No Quadro 7 é possível analisar os valores permitidos presentes na Seção III da Resolução.

Quadro 5 - Classes de lodo de esgoto – agentes patogênicos

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

Fonte: Resolução CONAMA 375/2006.

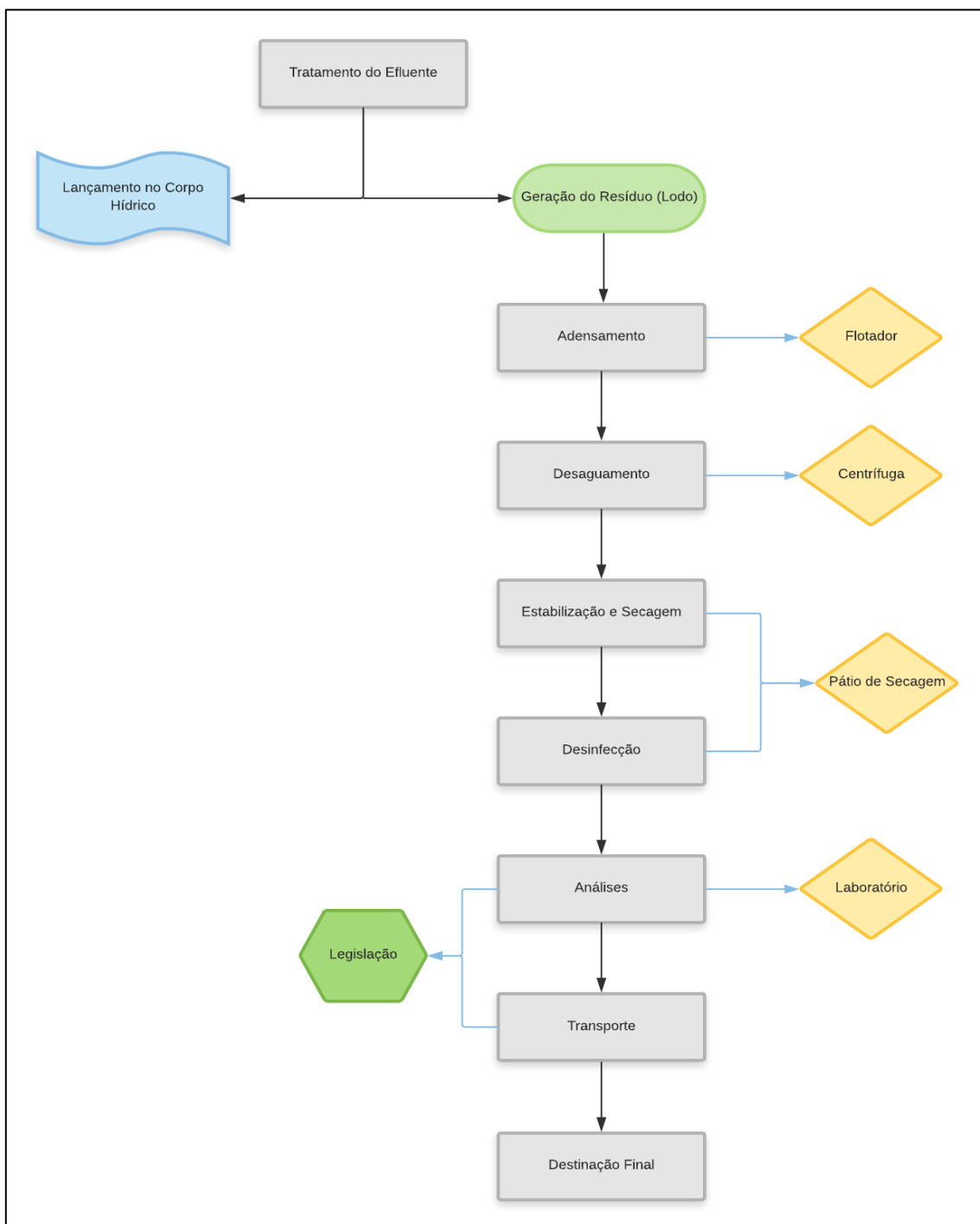
6.4 Viabilidade Econômico-Financeira

6.4.1 Proposta para o tratamento do lodo

Para que seja possível a confecção de uma modelagem econômico-financeira foi necessário primeiramente compreender as tecnologias que envolverão o tratamento deste resíduo, levando em consideração a forma mais econômica de atendimento aos padrões ambientais estabelecidos, bem como a viabilidade técnica e operacional da alternativa.

Dessa forma, abaixo é apresentada a Figura 10 que ilustra as etapas de tratamento proposto para este estudo.

Figura 10 - Fluxograma das etapas de tratamento do lodo proposto para o estudo.



Fonte: Autor (2019)

De forma detalhada as etapas propostas serão apresentadas:

- **Adensamento:** Após a produção do resíduo, é necessário que o mesmo seja adensado, promovendo a redução da umidade e, conseqüentemente o volume. Esta etapa será realizada pelo Flotador por Ar Dissolvido (FAD) existente na estação.

- **Desaguamento:** o desaguamento apresenta a mesma finalidade que o adensamento, porém, permite um menor teor de umidade. A tecnologia mais usual no país são as centrífugas que promovem uma redução de umidade para até 80%, dessa forma, para a realização desta etapa é proposto no estudo a utilização de centrífuga também presente na estação.

- **Estabilização e Secagem:** a estabilização do lodo é a etapa de remoção da matéria orgânica, redução de patógenos, diminuição do potencial de putrefação e eliminação de maus odores. Um dos processos mais usuais da estabilização e secagem é a compostagem realizada em meio aeróbio e será contemplado na presente proposta. Para a realização desta etapa será necessária a construção de um galpão coberto e pavimentado de 500 m², divididas em baias que possibilitarão a compostagem de diferentes lotes de lodo, o custo de execução do galpão será apresentado ao longo da proposta. Por ser em meio aeróbio será necessário que o resíduo seja revolvido diariamente por bobcat (consta no custo de instalação da Unidade de Gerenciamento de Lodo - UGL) e deverá permanecer na unidade por aproximadamente 45 dias recebendo a compostagem e o agente desinfetante.

- **Desinfecção:** fatores ambientais podem reduzir o tempo de sobrevivência dos organismos patogênicos presentes no lodo, como baixa umidade e elevado pH com aplicação de cal, a este dá-se o nome de Estabilização Alcalina Prolongada (EAP) ou, caleação, que será utilizado na presente proposta. Esta etapa do tratamento será realizada em paralelo com a compostagem, contribuindo com a retirada dos agentes patogênicos.

- **Análises:** segundo a Resolução CONAMA 375/2006 os lotes de lodo devem apresentar análises que comprovem que o resíduo está dentro dos padrões da legislação quanto a utilização na agricultura, devendo ser entregues ao receptor. A caracterização deve apresentar os seguintes aspectos:

- ✓ Potencial Agronômico – presença de nutrientes;
- ✓ Substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas;
- ✓ Indicadores bacteriológicos e patógenos; e
- ✓ Estabilidade.

- Transporte: segundo a legislação vigente, o transporte do resíduo a disposição final é de total responsabilidade da UGL, devendo ser utilizados caminhões basculantes equipados com sistema de trava para impedir a abertura da tampa traseira e lona plástica para cobertura. Entretanto, em caso de sinistro em vias públicas, com derramamento de lodo, todos os procedimentos de limpeza são de responsabilidade da empresa transportadora.
- Disposição Final: a disposição deverá ser realizada em áreas agrícolas devidamente licenciadas no órgão ambiental e em cultivos estabelecidos no CONAMA 375/2006, sendo proibida em áreas de pastagens, olerícolas, tubérculos, raízes, culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entra em contato com o solo.

6.4.2 Modelagem Econômico-Financeira

Para a realização da viabilidade econômica foi realizado o levantamento de custo de investimento para a criação da Unidade Gerenciamento de Lodo (UGL), que será responsável pelo tratamento e disposição final. Os valores das obras de construção civil foram tomados com base nos valores médios do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) de junho de 2019. Para os custos de transporte do produto final (lodo) até ao proprietário recebedor, foi utilizado a Tabela Nacional de Transporte de 2019 para caminhão basculante de três eixos com um raio de viagem de até 400 Km. O custo de aquisição da mini pá carregadora (Bobcat) foi obtido pela média dos preços de mercado, bem como o custo de aquisição da cal para o processo de desinfecção.

Para determinar a viabilidade econômico-financeira do projeto, foram selecionados alguns índices econômicos, a fim de, verificar a rentabilidade no sistema de UGL, em comparação com outras alternativas de disposição final, ou seja, avaliar a economia financeira de um projeto em relação ao outro.

6.4.2.1 Índices Econômicos

A elaboração de um Projeto de Viabilidade deve ser feita baseada em um estudo detalhado, para que os valores encontrados apresentem maior fidelidade no que tange as projeções dos coeficientes calculados, de forma que, minimize as incertezas as quais o negócio apresente. Para tanto, além de verificar as receitas e custos do empreendimento, foi calculado a partir de tais resultados, alguns índices econômicos visando esclarecer ainda mais a situação. Para este projeto foram realizados os seguintes métodos de análise econômica: Valor Presente Líquidos (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback.

Para o desenvolvimento da viabilidade foi necessária a construção do fluxo de caixa para 5 (cinco) tipos de cenários, por meio da caracterização de cada alternativa de disposição, sendo estas: Armazenamento atual; Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL); Disposição no aterro sanitário de Porto Nacional (60 Km) e; Disposição no aterro sanitário de Araguaína (400 Km). O fluxo de caixa também foi construído seguindo as informações de operacionalização.

6.4.2.1.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido é um método muito importante para a análise de viabilidade econômica, visto que tem como objetivo expor o valor extra originado pelo projeto após a recuperação e remuneração do investido a partir de uma determinada taxa de juros, conhecida como Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Ou seja, é a diferença do valor presente das receitas menos o valor presente dos custos (SILVA & FONTES, 2005). Para este projeto foi utilizado uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 7% a.a., taxa esta que é a taxa de juros anual do Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) com um prazo de concessão de 20 anos. Tem-se então a equação 1 para o cálculo do VPL:

$$VPL = \frac{\sum R}{(1+i)^n} - \frac{\sum C}{(1+i)^n} \quad \text{Equação 1}$$

Sendo: $\sum R$ = valor atual das receitas; $\sum C$ = valor atual dos custos; i = taxa de juros; j = período em que as receitas ou os custos ocorrem; e n = número de períodos ou duração do projeto.

6.4.2.1.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Gitman (1997) expõe que a taxa interna de retorno seja o método mais utilizado para análise de viabilidade de investimentos. Essa metodologia representa a taxa de desconto que iguala o valor presente dos fluxos de caixa futuros ao investimento inicial de um determinado projeto. Ela é avaliada equiparando a equação do VPL à zero ($VPL = 0$). Para que o projeto apresente viabilidade, é necessário que a TIR seja maior que a TMA uma vez que ela representa o mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando se faz um investimento. Como mencionado no item 6.5.2.1.1 a TMA foi de 7% por ser a taxa de juros anual do Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES).

6.4.2.1.3 Payback

O tempo de retorno ou Payback é uma das primeiras coisas a ser avaliada em um projeto, pois indica quanto tempo (número de períodos) o investidor levará para recuperar seu capital investido. O período aceitável de payback varia de acordo com o investidor e quanto menor esse tempo, melhor será para a escolha do projeto. (MACEDO, 2005)

De acordo com Rocha (2005), o tempo de retorno foi determinado a partir da equação 2:

$$Payback = \frac{Investimento\ Inicial}{Valor\ de\ entrada\ médio} \quad \text{Equação 2}$$

6.4.2 Matriz FOFA

É de suma importância para o plano de negócio ter bem definido quais os fatores externos à empresa que interferem no desempenho do projeto sejam de forma

positiva (oportunidades), seja de maneira negativa (ameaças), além do mais, é de extrema relevância saber destacar os pontos de ameaças e oportunidades para caracterizar o projeto, devendo o negócio para ser ideal apresentar muitos pontos positivos e poucos negativos (KOTLER, 2000).

Além dos pontos externos que podem influenciar no desempenho do empreendimento, existem fatores internos (pontos fortes) do processo produtivo que podem gerar vantagens competitivas para os produtores, como podem existir outros pontos (fracos) que podem desencadear carências nesse mesmo processo.

De acordo com Dornelas (2001) é relevante identificar esses pontos fortes e fracos do processo produtivo ainda nas etapas iniciais do projeto (formulação e implementação), para se poder realizar o planejamento de maneira estratégica, com a finalidade de estruturar o processo de maneira adequada. Dessa forma, foi estruturado a matriz FOFA segundo realidades locais, analisando as forças, oportunidades, fraquezas e ameaças para o empreendimento em estudo.

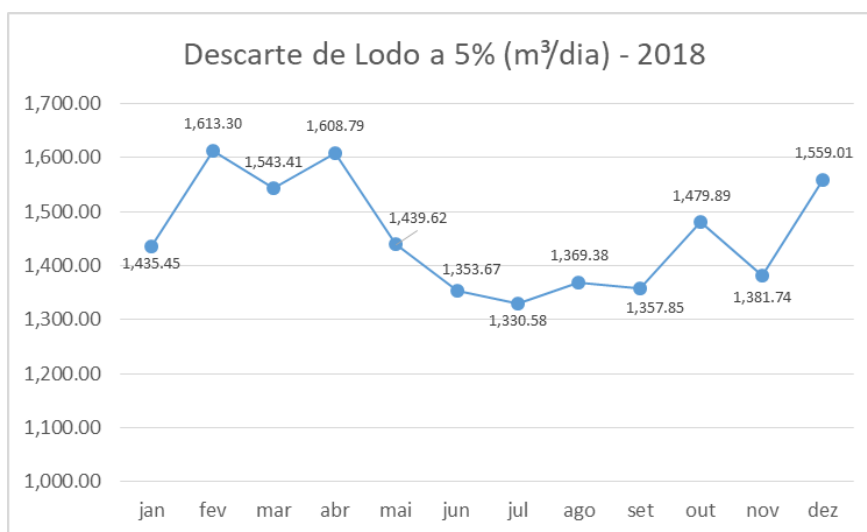
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados deste trabalho foram obtidos a partir da coleta de dados da ETE Norte que permitiram a confecção da análise quantitativa da produção de lodo proveniente da maior estação de tratamento de esgoto da cidade de Palmas –TO, bem como a classificação do resíduo gerado segundo a Resolução CONAMA 375/2006 e realização da viabilidade econômico-financeira da disposição do lodo.

7.1 Análise quantitativa da produção de lodo em 2018

Os dados referentes ao volume de lodo gerado na maior estação de Palmas, dizem respeito ao descarte no RAFA (Reator de Anaeróbio de Fluxo Ascendente) e RLA (Reator de Lodos Ativados). Estas unidades, por sua vez, são responsáveis unicamente pela produção de lodo, sendo reunidos no tanque de lodo da estação para disposição nos bag's. No Gráfico 1 é possível analisar em m³ o quantitativo deste resíduo gerado pelas unidades no ano de 2018 a uma concentração de 5% de sólidos totais.

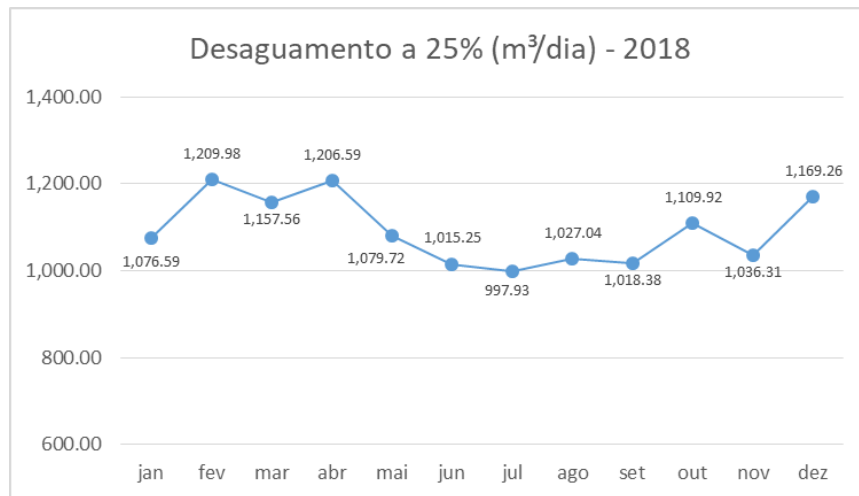
Gráfico 1 – Produção de lodo de esgoto a 5% de sólidos totais - 2018



Fonte: Autor (2019)

Ao final de 2018, a estação apresentou um volume de aproximadamente 17.472,70 m³ de descarte de lodo por parte do RAFA e RLA, entretanto, é sabido que para uma melhor eficiência no tratamento de lodo é necessário que o mesmo seja submetido ao processo de desaguamento, sendo o mais utilizado o mecânico por centrífuga, alcançando concentrações de até 25% de sólidos totais (ST), segundo Batista (2015). Em vista da viabilidade econômico-financeira, é de utilidade a realização de uma simulação do volume de lodo que irá para a unidade de gerenciamento, como pode ser analisado nos Gráfico 2, uma vez que, para fins de estudo, o resíduo que será tratado e disposto na agricultura passará primeiramente pela centrífuga, alcançando teoricamente um valor de 25% de sólidos totais, como referenciado anteriormente.

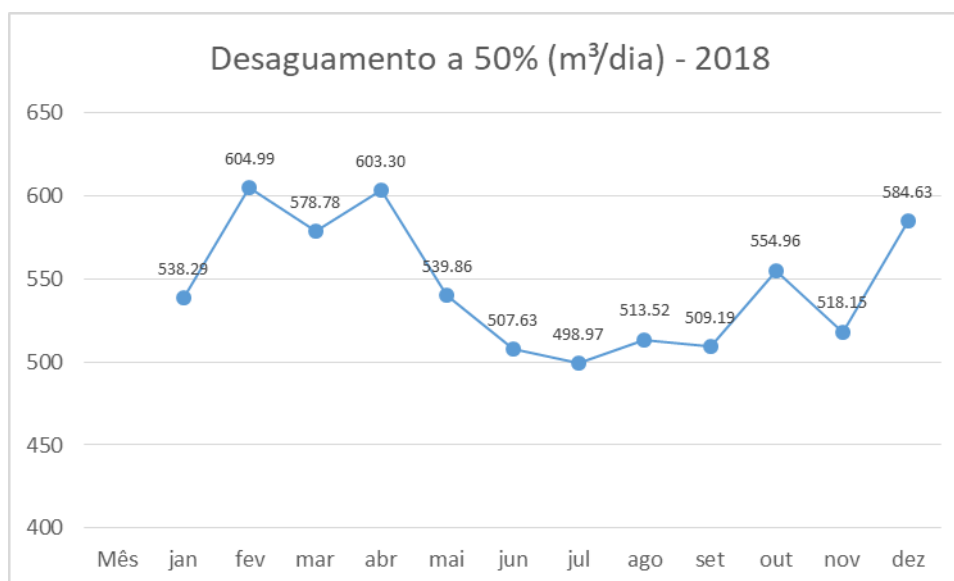
Gráfico 2 – Desaguamento à 25% de sólidos totais



Fonte: Autor (2019)

Segundo o Gráfico 2, o volume total de lodo gerado na estação após desaguamento em centrífuga seria de 13.104,52 m³. Entretanto, segundo o Manual Prático de Compostagem de Biossólidos da Universidade Estadual de Londrina, o balanço de massa do lodo após o processo de compostagem apresenta uma perda de peso que varia entre 30% a 60%. Dessa forma, para a operação da UGL, a proposta de viabilidade foi realizada tomando como base a produção anual de lodo de 2018 após a passagem pela compostagem apresentando um teor de sólidos totais em torno de 50% (Gráfico 3), ou seja, um valor anual de 6.552,26 m³. Para os cálculos foi realizado um arredondado para 7.000 m³ para Palmas-TO.

Gráfico 3 – Desaguamento à 50% de sólidos totais



Fonte: Autor (2019)

7.2 Classificação do Lodo

Segundo a Resolução CONAMA 375/2006, somente o lodo classificado como tipo A pode ser disposto na agricultura devido a quantidade de agentes patogênicos, como apresentado no item 6.3. De acordo com a concessionária local, o lodo produzido pelo esgotamento sanitário de Palmas apresenta a classificação A e sua quantidade de metais pesados encontram-se dentro do preconizado na legislação. Essa informação advém da caracterização do lodo realizada pela empresa, fato que é confirmado pela ausência de indústrias na cidade.

7.3 Modelagem Econômico-Financeira

Como mencionado na metodologia, para o desenvolvimento da viabilidade foi necessária a construção do fluxo de caixa para os 5 (cinco) tipos de cenário, por meio da caracterização de cada alternativa de disposição, bem como as informações de operacionalização. Em conjunto, foram levantados os custos de produção

envolvidos na implementação e manutenção da Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL).

Para a composição do fluxo de caixa foram utilizadas medidas quantitativas de base orçamentária, por meio da utilização dos valores do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil (SINAPI). Nas Tabelas 1, 2, 3 e 4 é possível observar os orçamentos sintéticos para implantação e manutenção do armazenamento atual, UGL, e disposição no aterro sanitário de Porto Nacional e Araguaína, respectivamente.

Tabela 1 – Orçamentação para implantação e manutenção do Pátio de BAG's

ITEM	DESCRIÇÃO	TOTAL
1.1	SERVICOS PRELIMINARES	R\$ 28, 731.07
1.2	MOVIMENTAÇÃO DE TERRA	R\$ 102, 124.07
1.3	IMPERMEABILIZAÇÃO E DRENAGEM DA BASE	R\$ 180, 998.18
1.4	CANALETAS INTERNAS	R\$ 34, 481.87
1.5	CANALETA "V" PARA DRENAGEM PLUVIAL	R\$ 14, 258.13
1.6	CONTENÇÃO	R\$ 4, 746.52
2	REDE DE INTERLIGAÇÃO DA DRENAGEM DOS BAGS	
		R\$
2.1	SERVICOS TECNICOS	50.54
2.2	MOVIMENTO DE TERRA	R\$ 157.22
2.3	ESCORAMENTO	R\$ 120.90
		R\$
2.4	CARGA, TRANSPORTE E DESCARGA	6.79
2.5	MONTAGEM	R\$ 3, 931.40
2.6	POCO DE VISITA	R\$ 880.80
2.7	CONTROLE TECNOLÓGICO	R\$ 2, 364.40
3	EQUIPAMENTO	R\$ 102, 385.65
3.1	3 BAG's	R\$ 307, 156.95
3.2	MATERIAIS HIDRÁULICOS	R\$ 24, 941.71
	TOTAL	R\$ 500, 179.71
	TOTAL DE IMPLANTAÇÃO UTILIZADO NO CÁLCULO	R\$ 505, 000.00
4	MANUTENÇÃO PÁTIO DE BAGS	
4.1	AQUISIÇÃO DE BAG's	R\$ 102, 385.65
4.2	POLÍMERO CATIÔNICO	R\$ 33, 919.20
	TOTAL	R\$ 136, 304.85

Fonte: Autor (2019)

Tabela 2 – Orçamento para implantação e manutenção da UGL

ITEM	DESCRIÇÃO	TOTAL
1.1	SERVIÇOS PRELIMINARES	R\$ 31, 982.84
1.2	INFRAESTRUTURA	R\$ 37, 203.90
1.3	MOVIMENTAÇÃO DE TERRA	R\$ 109, 116.29
1.4	SUPERESTRUTURA	R\$ 57, 629.86
1.5	CANALETAS INTERNAS	R\$ 32, 472.00
1.6	CANALETA "V" PARA DRENAGEM PLUVIAL	R\$ 14, 258.00
1.7	REVESTIMENTOS INTERNOS E EXTERNOS	R\$ 4, 376.00
1.8	PAVIMENTAÇÃO	R\$ 36, 207.00
1.9	COBERTURA	R\$ 82, 120.00
1.10.	AQUISIÇÃO DE VEICULOS PARA TRANSPORTE DO LODO	R\$ 135, 000.00
1.11	SILO DE ARMAZENAMENTO DE CAL VIRGEM 55 M3	R\$ 38, 122.00
1.12	ANÁLISES	R\$ 2, 000.00
1.13	ESTUDOS AMBIENTAIS E AGRONÔMICOS	R\$ 80, 000.00
	TOTAL	R\$ 666, 487.89
	TOTAL DE IMPLANTAÇÃO UTILIZADO NO CÁLCULO	R\$ 670, 000.00
2	MANUTENÇÃO UGL	
2.1	CUSTO DA CAL	R\$ 72, 000.00
2.2	CONSUMO ENERGÉTICO DA CENTRÍFUGA (2H DIÁRIA)	R\$ 58, 626.72
2.3	CUSTO DAS ANÁLISES	R\$ 2, 000.00
2.4	CUSTO DE TRANSPORTE (RAIO DE 400 KM)	R\$ 600, 000.00
	TOTAL	R\$ 732, 626.72

Fonte: Autor (2019)

Tabela 3 – Orçamento para disposição no aterro de Porto Nacional

ITEM	DESCRIÇÃO	TOTAL
1.1	DISTÂNCIA (Km)	80
1.2	IDA E VOLTA	2
1.3	IDAS POR MÊS	78
1.4	PREÇO KM RODADO (TABELA DE FRETE)	R\$ 1.64
1.5	PREÇO M3 DE LODO	R\$ 0.86
1.6	EMPOLAMENTO	1.3
1.7	LODO (M3)	14
1.8	NÚMERO DE EIXOS DO CAMINHÃO	3
1.9	TOTAL KM RODADO	R\$ 61, 401.60
1.10.	TOTAL M3 LODO	R\$ 1, 220.86
1.11	DESAGUAMENTO DOS BAG's	R\$ 137, 000.00
	TOTAL MENSAL	R\$ 62, 622.46
	TOTAL ANUAL	R 888, 469.47

Fonte: Autor (2019)

Tabela 4 – Orçamentação para disposição no aterro de Araguaína

ITEM	DESCRIÇÃO	TOTAL
1.1	DISTÂNCIA (Km)	400
1.2	IDA E VOLTA	2
1.3	IDAS POR MÊS	78
1.4	PREÇO KM RODADO (TABELA DE FRETE)	R\$ 0.67
1.5	PREÇO M3 DE LODO	R\$ 0.86
1.6	EMPOLAMENTO	1.3
1.7	LODO (M3)	14
1.8	NÚMERO DE EIXOS DO CAMINHÃO	3
1.9	TOTAL KM RODADO	R\$ 125, 424.00
1.10.	TOTAL M3 LODO	R\$ 1, 220.86
1.11	DESAGUAMENTO DOS BAG's	R\$ 137, 000.00
	TOTAL MENSAL	R\$ 126, 644.86
	TOTAL ANUAL	R\$ 1,656, 043.12

Fonte: Autor (2019)

De posse dos fluxos de caixa efetuou-se a análise de viabilidade econômico-financeira, utilizando-se os indicadores econômicos de rentabilidade: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e Payback. Os indicadores foram realizados para os 5 (cinco) tipos de cenários, sendo estes:

- Cenário 01: armazenamento atual;
- Cenário 02: Transporte para o aterro de Porto Nacional;
- Cenário 03: Transporte para o aterro de Araguaína;
- Cenário 04: Relação da UGL com cenário 02;
- Cenário 05: Relação da UGL com cenário 03;

7.3.1 Valor Presente Líquido (VPL)

Para a análise de VPL foi utilizado uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 7% a.a., segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) e um prazo de concessão de 20 anos. Na Tabela 5 é possível analisar a planilha eletrônica

confeccionada no software Excel, classificando as informações econômicas de fluxo de caixa para os 5 (cinco) tipos de cenário.

Tabela 5 – Fluxo de caixa de 20 anos para cada cenário

ANO	CENÁRIO 01	CENÁRIO 02	CENÁRIO 03	CENÁRIO 04	CENÁRIO 05	TMA
0	-R\$641, 304.85	-R\$641, 304.85	-R\$641, 304.85	-R\$660, 487.89	-R\$660, 487.89	7%
1	-R\$136, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
2	-R\$136, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
3	-R\$136, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
4	-R\$641, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
5	-R\$136, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
6	-R\$136, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
7	-R\$136, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
8	-R\$641, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
9	-R\$136, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
10	-R\$136, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
11	-R\$136, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
12	-R\$641, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
13	-R\$136, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
14	-R\$136, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
15	-R\$136, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
16	-R\$641, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
17	-R\$136, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
18	-R\$136, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
19	-R\$136, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	
20	-R\$136, 304.85	-R\$887, 774.32	-R\$1,656, 043.12	R\$155, 147.60	R\$923, 416.40	

Fonte: Autor (2019)

Tabela 6 – VPL para os 05 cenários

CENÁRIO	PROCESSO	VPL
01	Armazenamento atual	-R\$3,159, 784.06
02	Transporte ao aterro da Cidade 1	-R\$10,046, 398.66
03	Transporte ao aterro da Cidade 2	-R\$18,185, 449.28
04	UGL – Aterro cidade 1	R\$983, 148.02
05	UGL – Aterro cidade 2	R\$9,122, 198.63

Fonte: Autor (2019)

Na Tabela 6 é possível observar que nos cenários 1, 2 e 3 os respectivos fluxos de caixa apresentaram-se negativos uma vez que estas disposições trariam somente despesas para a implantação e operação, não gerando retorno monetário para a concessionária.

Como observado nas tabelas de orçamentação, a UGL necessitaria de um investimento inferior para implantação e manutenção em comparação com a disposição em aterro sanitário. Dessa forma, para os cenários 4 e 5 o fluxo de caixa foi analisado como sendo o valor de economia que a concessória teria em dispor na agricultura ao invés da utilização de aterro sanitário, apresentando assim, um valor positivo para o fluxo de caixa e para o VPL.

7.3.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR é uma taxa que demonstra o retorno que o projeto dará ao investidor, podendo ser comparada com a TMA utilizada no VPL ou com a TIR de outros projetos de mesma finalidade, auxiliando na tomada de decisões quanto a implantação do projeto a ser estudado.

No presente trabalho, foi observado a TIR em comparação com a TMA (Taxa Mínima de Atratividade) e com os cenários 4 e 5, uma vez que os demais apresentaram uma taxa interna de retorno inferior a 0 devido ao valor negativo do fluxo de caixa como apresentado no item 7.3.1.

De acordo com os cálculos, a TIR para os cenários 4 e 5 foram de 23% e 139% respectivamente, apresentando viabilidade financeira visto que a TMA foi de 7% a.a. Esses resultados demonstram que em 20 anos (prazo de concessão) a implantação e operação da UGL trará um retorno (rentabilidade) de 23% em comparação com a disposição do lodo no aterro de Porto Nacional (cenário 4) e 139% em comparação a disposição no aterro de Araguaína (cenário 5).

7.3.3 Payback

Para analisar o tempo que os investimentos iniciais se igualarão ao valor investido para os cenários 4 e 5 foi utilizado o cálculo apresentado no item 6.5.2.1.3.

O cenário 4 apresentou um payback de 4.29 anos, ou seja, a concessionária levaria este período para igualar o investimento da implantação da UGL em relação com a disposição no aterro sanitário de Porto Nacional.

O cenário 5 apresentou um payback de 0.72 anos, ou seja, a concessionária levaria este período para igualar o investimento da implantação da UGL em relação com a disposição no aterro sanitário de Araguaína.

7.3.4 Matriz FOFA

Para o planejamento estratégico de um novo empreendimento é necessário a avaliação dos ambientes externos e internos à organização, analisando os pontos fortes e fracos, bem como as oportunidades e ameaças para o novo negócio. Dessa forma, para a implantação da UGL foi realizado uma matriz FOFA que aborda os itens referenciados. Esta técnica foi realizada com o intercâmbio de conhecimentos de profissionais da área de engenharia civil, engenharia elétrica, engenharia ambiental e direito. A análise pode ser observada na Tabela 7.

Tabela 7 – Matriz FOFA

FATORES POSITIVOS (FORÇAS)		FATORES DE ATENÇÃO (FRAQUEZAS)
AMBIENTE INTERNO	1) Área para implantação do projeto. 2) Menor custo de operação em comparação com a alternativa de disposição em aterro. 3) Abertura de novos negócios; 4) Expansão do investimento no tratamento de efluentes; 5) Rentabilidade provada pelo VPL e TIR; 6) Obtenção de produto com ótima qualidade, Classe A.	1) Mão de obra treinada; 2) Custo de investimento; 3) Custo de transporte e monitoramento; 4) Composição química do lodo; 5) Tempo de estabilização e maturação do lodo para agricultura
OPORTUNIDADES		AMEAÇAS
AMBIENTE EXTERNO	1) Proximidade da UGL com áreas potenciais de recebimento; 2) Parcerias com agricultores e municípios; 3) Parcerias com universidades e institutos de pesquisa; 4) Primeira empresa de saneamento do Norte a executar este projeto; 5) Existência de legislação sobre o projeto;	1) Rigidez da legislação CONAMA 375/2006; 2) Inexistência de Termos de Referência do órgão ambiental local; 3) Dependência do mercado externo; 4) Riscos inerentes de corresponsabilidade legal.

Fonte: Autor (2019)

7.3.5 Alternativas de disposição do lodo na agricultura local

A legislação vigente apresenta restrições quanto ao tipo de cultivo que pode receber o resíduo como adubo, sendo proibida a utilização em pastagens, cultivo

de olerícolas, tubérculos, raízes e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entra em contato com o solo. A Resolução CONAMA 375/2006 define, ainda, restrições quanto aos locais, não sendo permitido a aplicação em unidades de conservação, com exceção das Áreas de Proteção Ambiental (APA), Área de Preservação Permanente (APP), Área de Proteção aos Mananciais (APM).

Dessa forma, de acordo com as restrições mencionadas acima, foram pautadas áreas próximas que se enquadram quando ao tipo de cultivo e local, tornando-se aptas a receberem o resíduo como adubo, são elas:

- Plantação de Teca, localizada entre Lajeado e Miranorte;
- Plantação de Eucalipto, localizada em Miracema;
- Viveiro Municipal de Miracema;
- Plantação de Cana-de-açúcar, localizada em Pedro Afonso;
- Viveiro Municipal de Palmas;
- Plantação de grama, localizada próximo a Porto Nacional.

É cabível mencionar, que as áreas que apresentam possibilidades de se tornarem receptoras do resíduo não são somente as citadas acima. Dessa forma, com um estudo mais detalhado a quantidade de locais aptos pode ser ampliado, agregando ao leque de agricultores que utilizarão o novo adubo proveniente do tratamento do esgoto.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O lodo proveniente do esgotamento sanitário de Palmas é classificado como tipo A pela Resolução CONAMA 375/2006;
- De acordo com os dados de Valor Presente Líquido (VPL) a disposição final na agricultura se tornaria mais viável ao final do tempo de concessão em comparação com a disposição em aterro sanitário, uma vez que renderia um valor de R\$ 983.148,02 em comparação com o cenário 04 e de R\$9.122.198,63 em comparação com o cenário 05;

- Pela análise da Taxa Interna de Retorno (TIR) a implantação e operação da UGL também traria rentabilidade para o empreendimento ao final do tempo de concessão, alcançando uma taxa de retorno de 23% para o cenário 04 e 139% para o cenário 05;
- O Payback para os cenários 04 e 05 seriam significativamente abaixo do tempo de concessão, sendo de 4,29 anos e 0,72 anos respectivamente;
- Por meio da Matriz FOFA foi possível listar para o ambiente interno as principais forças, como: existência de área para implantação do projeto; menor custo de operação em comparação com a alternativa de disposição em aterro; rentabilidade provada pelo VPL e TIR; e as principais fraquezas, sendo: mão de obra treinada; custo de investimento, transporte e monitoramento; e tempo de estabilização e maturação do lodo para agricultura;
- A Matriz FOFA apresentou ainda as principais oportunidades, como: proximidade da UGL com áreas potenciais de recebimento; parcerias com agricultores, municípios, universidades e institutos de pesquisa; primeira empresa de saneamento da região Norte a executar este projeto; e ameaças que o ambiente externo à organização pode apresentar para este novo empreendimento, como: rigidez da legislação CONAMA 375/2006; inexistência de Termos de Referência do órgão ambiental local; dependência do mercado externo; e riscos inerentes de corresponsabilidade legal;
- Mediante pesquisas locais foi observado que a agricultura estadual contém cultivos que podem receber este adubo, como a plantação de Teca, localizada entre Lajeado e Miranorte; plantação de Eucalipto, localizada em Miracema; Viveiro Municipal de Palmas e Miracema; e a plantação de Cana-de-açúcar, localizada em Pedro Afonso;
- O lodo produzido pelo sistema de esgotamento sanitário doméstico, que antes era considerado um passivo ambiental, apresenta condições de ser transformado em um novo produto que poderá se tornar fonte de incentivo à agricultura local, bem como marketing ambiental para a empresa de serviços de saneamento básico, por meio da disposição ambientalmente adequada deste resíduo;

- Para pesquisas futuras, é cabível realizar testes em escala piloto do tratamento proposto para o lodo, demonstrando de forma prática a eficiência dos processos para desaguamento e desinfecção do resíduo.

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Curitiba: Sanepar, 2001. 484 p.

ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F.; **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. 3. ed. Belo Horizonte: Depto. Eng. Sanitária e Ambiental-UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484 p.

ARAÚJO, F. F. de.; GIL, F. C.; TIRITAN, C. S. **Lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de *Brachiaria decumbens* e na atividade da desidrogenase**. Pesquisa Agropecuária Tropical., v. 39, n. 1, p. 1-6, jan./mar. 2009.

ARGEL, K. D. R. V. (2010). **“Caracterização de cenários de exposição a perigos microbiológicos relacionados ao uso agrícola de biossólidos”** In: Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em medicina Veterinária, 92p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. **Avaliações de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos**. Sanare, 17:94-101, 2002.

BATISTA, L.F. (2015). **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental

e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-168/2015, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197p.

BEECHER, N. **Moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource**. In: LEBLANC, R. J.; MATTHEWS, P; RICHARD, R. P. (Ed.). Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge and Biosolids Management. Malta: Progress Press, 2008. p. 15 – 83.

BERTON, S. R.; NOGUEIRA, T. A. R. **Uso de Lodo de esgoto na agricultura**. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. (Ed.). **Uso Agrícola de Lodo de Esgoto: avaliação após a Resolução n.375 do Conama**. Botucatu: FEPAF, 2010. p.31-50.

BETTIOL, W.; DE CAMARGO, O (2006). **“Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura”**. In: Embrapa Meio Ambiente-Livros científicos.

BEZERRA, K. M. **Caracterização do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário da região metropolitana de Fortaleza visando sua utilização na agricultura**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

BITTENCOURT, S. **Gestão do processo de uso agrícola do lodo de esgoto no estado do Paraná: aplicabilidade de Resolução CONAMA 375/06**. Tese, Pós de Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BOVI, M. L. A. et al. **Lodo de esgoto e produção de palmito em pupunheira**. R. Bras. Ci. Solo, v. 31, p. 153-166, 2007. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n1/16.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2014.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Série

Histórica 2012. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 05/09/2014.

BRASIL. Presidência da República Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: <<http://portal.saude.gov.br>>. Acesso em: 29/03/2019.

CESAR, R.G.; ÁLVARO, T.T.; SILVA, M.B.; COLONESE, J.; PEREIRA, C.; POLIVANOV, H.; EGLER, S.G.; BIDONE, E.D.; CASTILHOS, Z.C. **Biodisponibilidade de contaminantes em solos brasileiros tratados com lodo de esgoto: uma abordagem ecotoxicológica utilizando bioensaios com organismos aquáticos e edáficos**. Geochimica Brasiliensis, in press, 2011. p. 41-49.

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

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

FERNANDES, F. (2000) **“Estabilização e Higienização de Bio sólidos”**. In: Betiol, W.; Camargo, O.A (eds.). Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto. Jaguariúna: Embrapa, 45-68.

FERNANDES, F.; LOPES, D.D.; ANDREOLI, C. V.; SILVA, S. M. C. P. (2001). **“Avaliação de alternativas e gerenciamento do lodo na ETE”**, In: Lodo e esgotos: tratamento e disposição final – princípios do tratamento biológico de

águas residuárias, vol.06. DESA – UFMG (eds), SANEPAR. Belo Horizonte, MG, 308 309.

FRANCO, A.; MARQUES, M. O.; MELO, W. J. de. **Sugarcane grown in an oxisol amended with sewage sludge and vinasse: nitrogen contents in soil and plant.** Sci. Agric., Piracicaba, v.65, n.4, p.408-414, july./aug. 2008.

FREDDO, A. **Caracterização físico-química de lodo proveniente de duas estações de tratamento de esgoto da região oeste do Paraná.** Trabalho de Conclusão de Curso, Coordenação de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, 2014.

GEYER, A. L. B. **Contribuição ao estudo da disposição final e aproveitamento da cinza de lodo de estações de tratamento de esgotos sanitários com adição ao concreto.** 2001. 238f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; VON SPERLING, M. **Remoção da umidade de lodos de esgotos.** In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final.** Belo Horizonte: UFMG Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Curitiba: Sanepar, 2001. p.159259.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. (2005) **Tratamento de esgotos domésticos.** 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 969 p.

LAMASTRA, L., SUCIU, N. A., TREVISAN, M. **Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer.** Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 2018.

LASHEEN, M.R., AMMAR, N.S. (2009) **“Assessment of metals speciation in sewage sludge and stabilized sludge from different wastewater treatment plants”.** In: Journal of Hazardous Materials, 164, p. 740–749.

LESSA, G. T. **Contribuição ao estudo da viabilidade da utilização do lodo de estação de tratamento biológico de esgoto misto na construção civil.** 2005. 135f.

Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LIMA, M. R. P. **Uso de Estufa Agrícola para Secagem e Higienização de Lodo de Esgoto**. 285f. Tese (Doutorado em Engenharia) Escola Politécnica, Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo, 2009.

LUDUVICE, M.; FERNANDES, F. **“Principais tipos de transformação e descarte do lodo”** In: VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F. (eds) **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA-UFMG. p.339-423. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 6.

MACHADO M. F. S. **A situação brasileira dos bio sólidos**. 828 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente). Universidade de Campinas. Campinas, 2001.

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

Melo, W.J., Marques, M.O. (2000). **“Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas”**. In: Betitoli, W. e Camargo, O.A.(eds), Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, SP. EMPRAPA Meio Ambiente, p.11 24.

Metcalf, B.; Eddy, I.N.C. (1991). **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 3ª ed., 765-926, New York: McGraw-Hill. E.U.A.

MUSSE, C. L. B. **Avaliação das potencialidades da cinza de lodo de esgoto da ETE Goiânia como adição mineral na produção de argamassa de cimento portland**. 2007. 133f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós - Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

Nascimento, C., W., A.; Barros, D., A., S.; Melo, E., E., C.; Oliveira, A., B. (2004). **“Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto”**. In: Revista Brasileira de Ciência do Solo, (28), p.385-392.

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

OLIVEIRA, R.F.; GAMBÔA, F.A.R; SANTOS, F.R.S. (2003). “**Conceitos de logística reversa e colaboração aplicados à indústria de especialidade químicas**”, In: Anais do X SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção. Bauru/SP: Faculdade de Engenharia. Bauru.

PAPADIMITRIOU, C.A., HARITOU, I., SAMARAS, P., ZOUBOULIS, A.I. (2008). “**Evaluation of leaching na ecotoxicological properties of sewage sludge-fly ash mixtures**”. In: Environmental Research, 106, 340–348.

PARRAVICINI, V; SVARDAL, K; HORNEK, R; KROISS, H. **Aeration of anaerobically digested sewage sludge for COD and Nitrogen removal: optimization at large-scale**. In: Wastewater biosolids sustainability: technical, managerial and public synergy, 2007, New Brunswick. Proceedings...New Brunswick: IWA, 2007. p. 691-698.

PASSAMANI, F.R.F., KELLER, R., **GONÇALVES, R.F. (2002) “Higienização de lodo utilizando caleagem e pasteurização em uma pequena estação de tratamento de esgoto combinando reator UASB e biofiltro aerado submerso”**. In: Anais do XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancun: México.

PEGORINI, E.S. (2002). “**Avaliação de impactos ambientais do programa de reciclagem agrícola de lodo de esgoto na região metropolitana de Curitiba**”. In: Dissertação de mestrado. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

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

SKLADANY, G.J., METTING JR., F.B. 1993. **Bioremediation of contaminated soil**. p. 483 - 513. In: Metting Jr. F.B. (ed.) Soil Microbial Ecology. Applications in Agricultural and Environmental Management. Marcel Dekker, Inc. New York. 646 p.

SOCOL, V.T.; PAULINO, E.C.; PEREIRA, J.T.; CASTRO, E.A.; COSTA, A.O.; HENNING L; ANDREOLI, C. (2010) “**Organismos patogênicos presentes em lodo**

de esgoto a ser aplicado no solo e a Resolução nº375 do CONAMA". In: Coscione A.R.; Nogueira T.A.R.; Pires A.M.M. (eds): **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº375 do CONAMA**. 1ª ed. Botucatu: FEPAF, p.83-112.

TSUTIYA, M.T (2001b). **"Alternativas de disposição final de biossólido"**. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J. & MARQUES, M.O., eds. Biossólidos na agricultura. São Paulo, SABESP, Escola Politécnica – USP, ESALQ, UNESP, p.133-180.

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

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande: Epgraf, 1994. p. VI-1 – VI-17.

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

ZÁBRANSKÁ, J.; DOHÁYOS, M.; JENICEK, P.; KUTIL, J (2000). **"Thermophilic process and enhancement of excess activated sludge degradability- two ways of intensification of sludge treatment in the Prague Central Wastewater Treatment Plant"**. In:Water Science & Technology, 49, (9) 265-272.

ZÁBRANSKÁ, J.; DOHÁYOS, M.; JENICEK, P.; KUTIL, J (2000). **"Thermophilic process and enhancement of excess activated sludge degradability- two ways of intensification of sludge treatment in the Prague Central Wastewater Treatment Plant"**. In:Water Science & Technology, 49, (9) 265-272.

ZANATTA, M. C. K. **Caracterização da toxicidade de lodos de estação de tratamento de esgoto com vistas a sua aplicação agrícola**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia, Departamento de Tecnologia e Inovação. Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.