



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U. nº 198, de 14/10/2016
AELBRA EDUCAÇÃO SUPERIOR - GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO S.A.

DIANA PEREIRA DE MEDEIROS

**ESTUDO PRELIMINAR DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE ESTUFA
SOLAR PARA SECAGEM DE LODO PRODUZIDO EM ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO: ESTUDO DE CASO PARA ETE NORTE EM
PALMAS - TO**

Palmas – TO

2020

DIANA PEREIRA DE MEDEIROS

ESTUDO PRELIMINAR DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE ESTUFA
SOLAR PARA SECAGEM DE LODO PRODUZIDO EM ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO: ESTUDO DE CASO PARA ETE NORTE EM
PALMAS - TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Me Dalton Cardozo Bracarense

Palmas – TO

2020

DIANA PEREIRA DE MEDEIROS

ESTUDO PRELIMINAR DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE ESTUFA
SOLAR PARA SECAGEM DE LODO PRODUZIDO EM ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO: ESTUDO DE CASO PARA ETE NORTE EM
PALMAS - TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA)

Orientador: Prof. Me Dalton Cardozo Bracarense

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Dalton Cardozo Bracarense

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Me Kênia Lopes Parente

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Dr. Giulliano Guimarães Silva

Avaliador

Instituição de Ensino e Pesquisa em Palmas – TO

Palmas – TO
2020

DEDICATÓRIA

Aos

Meus familiares.

Em especial:

Meus pais - Lindalva e Baltazar;

Meu irmão – Adriano;

Meus amigos – Stella, Antônio Bruno, Cláudia Crhistina, Fabiana, Lívía Maria e Roseany;

AGRADECIMENTO

Quero aqui agradecer primeiramente a DEUS, pois sem sua misericórdia, amor e cuidado eu não teria conseguido chegar até aqui. Agradeço em especial aos meus pais, Lindalva e Baltazar, que juntamente com meu irmão Adriano sempre me apoiaram em todos os sentidos, me motivando na busca de mais uma conquista e realização pessoal, mesmo nos momentos em que desanimei foram minha fortaleza e me ajudaram a enxergar meu potencial novamente. Agradeço aos meus amigos em especial ao casal, Antônio Bruno e Stella que não apenas me incentivaram, como também se tornaram meus fiadores voluntariamente, apenas por confiarem em mim, jamais esquecerei essa atitude quando eu não mais enxergava chance de permanecer na faculdade. Aos amigos Cláudia Cristina, Fabiana, Héllida, Kátia, Roseany, Loyane, Lívia Maria e Ramon por sempre estarem me motivando. As minhas amigas mãe e filha, Aparecida e Tabita pelas palavras de otimismo, mas principalmente por me acolheram em sua casa tantas vezes quando me senti só na cidade. Aos mestres em especial ao meu orientador Dalton Bracarense que me acompanhou desde o TCC I, me ajudou com seus conhecimentos, mas principalmente me auxiliou em lidar com situações adversas sem se deixar abater, obrigada pelo cuidado, atenção comigo desde o início e por ter aceitado meu pedido para ser sua orientanda. A professora Kênia Parente pelo cuidado e atenção de sempre comigo, ao professor Edvaldo que sem perceber me ajudou na decisão de permanecer no curso. Ao meu namorado Paulo Víctor que não acompanhou essa luta desde o início, porém chegou no final dela e ainda sim contribui para essa conquista. Agradecer claro as minhas amigas que estiveram ao meu lado desde o início, outras que Deus me apresentou mais no final. Amigas essas que serei com certeza eternamente grata por todas as palavras, por todas as ajudas que contribuíram para eu chegar até aqui, por todas as vezes que ouviram meus desesperos de pensar “não vou conseguir” ou “não vai dá tempo”. A vocês: Ariella, Gyselle e Maysa.

RESUMO

MEDEIROS, Diana Pereira de. **ESTUDO PRELIMINAR DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE ESTUFA SOLAR PARA SECAGEM DE LODO PRODUZIDO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO: ESTUDO DE CASO PARA ETE NORTE EM PALMAS - TO**. 2020. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas – TO, 2020.

A atividade de se tratar as águas residuárias, promove a redução de poluentes nos esgotos domésticas, bem como nos mananciais que os recebem. Porém mesmo promovendo a redução das cargas poluidoras, esta alternativa de tratamento origina um subproduto, denominado biossólido. O mesmo é rico em matéria orgânica e também exige um tratamento e uma destinação final adequada. A disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários é uma das grandes preocupações das concessionárias de tratamento de esgoto, pois além de ser um problema ambiental, por sobrecarregar esses espaços, também é causadora de uma elevada despesa, quando avaliados os custos com transporte e disposição final desse material.

Com base em literaturas especializadas e estudos práticos realizados em outras pesquisas, este trabalho sugeriu o estudo preliminar da viabilidade de implantação de estufa solar de secagem do lodo produzido na Estação de tratamento de Esgoto – ETE Norte da cidade de Palmas – TO.

O principal enfoque da avaliação foi o desempenho desse tipo de tecnologia para secagem do lodo originado nas etapas de tratamento de esgoto da estação, bem como as condições apropriadas de uso, do material seco, isso considerando o alcance dos padrões de qualidade para esse subproduto, de acordo com as literaturas especializadas e legislações vigentes.

Para elaboração do projeto foram levantadas algumas informações à cerca da unidade de tratamento, como: vazão de projeto, população atendida, área livre disponível, volume diário de lodo produzido. Após o levantamento foram realizados orçamentos dos materiais necessários para construção da estufa solar de secagem do lodo produzido, para alimentação da planilha orçamentária do projeto.

A implantação de estufas solares de secagem de lodo produzido em estações de tratamento de efluentes, atualmente é a alternativa mais viável levando em consideração o custo benefício. Palavras-chave: Lodo de esgoto, estufa solar de secagem, custo.

ABSTRACT

MEDEIROS, Diana Pereira de. **ESTUDO PRELIMINAR DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE ESTUFA SOLAR PARA SECAGEM DE LODO PRODUZIDO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO: ESTUDO DE CASO PARA ETE NORTE EM PALMAS - TO.** 2020. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas – TO, 2020.

The activity of being treated as wastewater, promotes the reduction of pollutants in domestic sewage, as well as in the springs that restore them. However, even promoting the reduction of polluting loads, this treatment alternative generates a by-product, called biosolid. It is rich in organic matter and also requires proper treatment and disposal. The disposal of solid waste in sanitary landfills is one of the major concerns of sewage treatment concessionaires, because in addition to being an environmental problem, because it overloads these spaces, it is also the cause of a high expense when transport and final disposal costs occur. of that material.

Based on specialized literature and practical studies carried out in other researches, this work suggested the preliminary study of the feasibility of implementing a solar drying oven for the sludge produced at the Sewage Treatment Station - ETE Norte in the city of Palmas - TO.

The main focus of was the performance of this type of technology for drying the sludge originated in the sewage treatment stages of the station, as well as the appropriate conditions of use, of the dry material, considering the reach of the quality standards for this by-product, according to the specialized literature and current legislation.

For the preparation of the project, some information about the treatment unit was raised, such as: project flow, population served, free area available, daily volume of sludge produced. After the survey, budgets were made for the materials provided for the construction of the solar drying oven for the sludge produced, to feed the project's budget spreadsheet.

The implementation of solar greenhouses for drying sludge produced in effluent treatment plants, is currently the most viable alternative taking into account the cost benefit.

Keywords: Sewage sludge, solar drying oven, cost.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Resumo dos parâmetros de referência para monitoramento de efluentes	23
Figura 2. Localização da área de estudo, Palmas –TO, Brasil.	38
Figura 3. Estação de tratamento ETE NORTE em Palmas – TO.	39
Figura 4. Planilha de custos para implantação e operação - Centrífuga	23
Figura 5. Planilha de custos para implantação e operação – Estufa Solar de Secagem....	38
Figura 6. Diagrama esquemático	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CRF 503	Códigos de Regulamentos Federais dos Estados Unidos (40 CRF 503)
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
NBR	Norma Brasileira
NMP	Número Mais Provável
OD	Oxigênio dissolvido
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial hidrogênico
SES	Sistemas de Esgotamento Sanitário
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors (Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo)
UFC	Unidades Formadoras de Colônias

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 PROBLEMA	12
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo Geral.....	12
1.2.2 Objetivos Específicos	12
1.3 JUSTIFICATIVA	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 ÁGUAS RESIDUÁRIAS	14
2.2 ESGOTAMENTO SANITÁRIO.....	14
2.2.1 Sistemas individuais coletivos	15
2.3 TRATAMENTO DE ESGOTO.....	15
2.3.1 Níveis de tratamento de esgoto	15
2.4 SISTEMAS ANAERÓBICOS	18
2.5 CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO	20
2.5.1 Caracterização Quantitativa dos Esgotos (vazões)	20
2.6 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DO ESGOTO	22
2.6.1 Características das Impurezas	22
2.7 LODO DE ESGOTO	23
2.8 PRODUÇÃO DE LODO NOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO	24
2.8.1 Tipos de subprodutos sólidos gerados	24
2.9 LODOS ATIVOS	26
2.9.1 A água nos lodos.....	27
2.10 SECAGEM DO LODO	29
2.10.1 Secagem por estufa solar	30
2.10.2 Secagem por centrifugação	31
2.11 LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS.....	32

2.11.1	Disponibilidade dos recursos hídricos no Brasil.....	32
2.11.2	Política Nacional de Recursos Hídricos.....	33
2.11.3	Resolução CONAMA nº. 357/2005.....	34
2.11.4	Resolução CONAMA nº. 430/2011.....	36
2.11.5	Resolução CONAMA nº 375/2006	36
2.11.6	Resolução CONAMA 498/2020	36
3	METODOLOGIA	36
3.1	PALMAS	37
3.1.1	Estação de Tratamento de Esgoto ETE NORTE em Palmas – TO.....	38
3.2	ÁREAS ENVOLVIDAS NO ESTUDO.....	39
3.3	PROJETOS E ETAPAS	39
3.3.1	Orçamento.....	40
3.3.2	Construção	40
3.3.3	Implantação.....	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	INVESTIMENTO ESTIMADO PARA IMPLANTAR O PROJETO.....	41
4.1.1	Custo do investimento	41
4.1.2	Estimativa de área da estufa.....	48
4.1.3	Avaliação da condição atual – Secagem por centrifugação com a condição proposta – Estufa solar de secagem	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
	ANEXOS.....	55

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento desordenado dos centros urbanos do país, a construção e instalação de estações de tratamentos de esgoto são cada vez mais necessárias, porém na grande totalidade não se fazem presentes nos projetos de governo dos gestores, sendo que o tratamento de efluentes, em muitas ocasiões não existe, ou nem mesmo é prioridade na maioria das cidades, o que remete a falta de acesso da população a condições mínimas de um dos principais componentes do saneamento básico.

O tratamento das águas residuárias, promove a redução de poluentes nos esgotos domésticos, bem como nos mananciais que recebem esse produto. Mesmo promovendo a redução das cargas poluidoras, esta atividade como toda alternativa de tratamento, dá origem a um subproduto, denominado biossólido. Este subproduto é rico em matéria orgânica e também requer tratamento e destinação final adequada. A etapa de tratamento ou processamento do biossólido com características que permitem a sua reciclagem de maneira racional ou ambientalmente segura, deve ser considerada como uma das etapas do sistema de tratamento de efluentes.

As poucas cidades que possuem SES, sistemas públicos ou privados, atuam de maneira eficaz no tratamento do esgoto doméstico, mas ligado diretamente a separação da parte líquida “ efluente tratado”, da sólida o “lodo” do composto, onde a parcela líquida é lançada nos corpos hídricos receptores, após apresentar dados de atendimento as legislações vigentes, no caso a resolução Conama nº 357/2005 que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluente no meio ambiente.

Em relação a parte sólida, no caso o “lodo”, a grande maioria das concessionárias não possuem um tratamento eficaz e adotam alternativas que amenizam o problema de imediato, postergando-o a longo prazo. A solução para a problemática do lodo gerado em ETEs não está atrelada somente a dificuldade do que se fazer com o resíduo, mas também em como e de forma fazer, de modo que a tratativa seja mais econômica e eficaz.

As despesas com as tratativas dos problemas com o lodo vão além de gastos com energia elétrica, pois para retirada e destinação dos resíduos da unidades um dos fatores que mais contribuem para o aumento nos custos são os gastos com transportes e destinação do material.

1.1 PROBLEMA

A ausência de alternativas eficientes na disposição final adequada do lodo gerado por estações de tratamento de esgoto é uma das grandes preocupações das companhias de saneamento públicas e privadas do país. O gerenciamento do lodo, composto principalmente por água, é uma atividade de grande complexidade e alto custo. Assim sendo, qual a melhor alternativa diante das características climáticas do Tocantins para destinar o lodo produzido na Estação de Tratamento de esgoto ETE Norte em Palmas – TO, a secagem de lodo por meio de estufa solar seria uma solução interessante?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Verificar a viabilidade da implantação de uso de estufa solar para secagem de resíduos sólidos na ETE Norte em Palmas - TO.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Coletar dados de produção de resíduos sólidos da ETE Norte em Palmas -TO;
- Pesquisar ETEs que estejam utilizando estufas solares para secagem de lodo gerado na unidade de tratamento;
- Comparar custos de implantação e operação de uma estufa solar para secagem de lodo produzido na ETE Norte em Palmas -TO;

1.3 JUSTIFICATIVA

A disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários é um problema ambiental, pois além de sobrecarregar os aterros, influenciam negativamente nos custos com transporte e com disposição final do material. O lodo é um subproduto derivado das etapas de tratamento das estações de efluentes domésticos e industriais, ele nada mais é que uma mistura de substâncias que contém minerais, colóides e material orgânico decomposto. O mesmo possui duas classificações, sendo considerado orgânico e inorgânico.

É um resíduo que possui tratamento complexo e caro, pois para que o mesmo ocorra, são necessários a contribuição de variáveis como: tecnologia, disposição final e espaço físico disponível.

Cada uma dessas variáveis, podem alterar as características físicas, químicas e biológicas do lodo, trazendo maior complexidade na atividade fim, que por sua vez possui dois objetivos principais: a redução de volume do material e a estabilização da matéria orgânica. Por outro lado, do ponto de vista econômico, com a interferência dessas alterações são requeridos maiores investimentos em equipamentos de ponta e insumos, de modo a promover eficácia no objetivo das unidades de tratamento, levando ao aumento nos custos operacionais.

No Brasil a Resolução CONAMA N° 375, de 29 de agosto de 2006, define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.

Atualmente em nosso país os tipos de tratamento do lodo mais utilizados são: adensamento, estabilização, desaguamento, secagem térmica e incineração, todas com necessidade de melhorias e implantação de processos adicionais para se chegar ao resultado ideal. Para este fim já existe no mercado uma nova tecnologia, as estufas solares de secagem de lodo. A sua utilização complementa os outros tipos de tratamento do lodo promovendo um salto nos resultados almejados na redução de volume de material e estabilização da matéria orgânica, bem como na redução de consumo de energia elétrica, conseqüentemente contribuindo para redução de custos financeiros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Comumente chamadas de esgoto (palavra com origem no latim e que significa *exgutta*), águas residuárias é a denominação das águas, que após a utilização humana, seja esse uso comercial, industrial ou doméstico, tem suas características naturais alteradas, ocasionando a necessidade de um tratamento adequado da mesma para posterior destinação final. Pois para cada uso humano das águas, há um tipo de água residuária, ou melhor, esgoto, há ser tratado (TUNDISI, 2009).

A produção em longa escala de água residuária é consequência inevitável de todas as sociedades contemporâneas. Os efluentes domésticos são prejudiciais para o ambiente e sua biota, sendo imprescindível seu tratamento antes de lançados nos corpos hídricos receptores. No caso de efluentes gerados em residências e comércios o tratamento recomendado é a condução do mesmo, por meio da rede coletora de esgoto até uma Estação de Tratamento de Esgoto, que por sua vez, tem a função de reduzir ao máximo as cargas poluidoras do efluente, por meio de medidas de controle para posterior lançamento em corpos hídricos. Apesar da preocupação com tratamento de esgoto na fase líquida, uma boa parte dele ainda é lançado *in natura* nos corpos hídricos, mas como nas fases de tratamento são gerados outros resíduos que também necessitam de um gerenciamento adequado, como é o caso do lodo originado nas etapas físicas, químicas e biológicas do tratamento das estações. Torna-se indispensável ações de melhorias, no que se refere a busca de tecnologias que atendam às necessidades. Atualmente uma das técnicas mais utilizadas nos países desenvolvidos, é a estufa solar de secagem de lodo, pois trata-se de um processo de alta tecnologia, que permite a reutilização do lodo ou a sua destinação final de forma adequada em aterros sanitários.

2.2 ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Segundo Aisse (2000), o efluente produzido apresenta suas características em função da sua origem tal como doméstica, industrial, pluvial, da variação horária, do comprimento e do estado de conservação da rede coletora, bem como dos períodos do ano, tal como mais chuvosos ou secos. O tratamento deste efluente consiste na remoção dos principais poluentes presentes nas águas residuárias, a fim de retornarem ao corpo hídrico sem alterações e com características condizentes as exigências das legislações ambientais.

De acordo com Sperling (2005) há duas principais variantes, ou seja, duas divisões para os sistemas coletivos: o sistema unitário ou combinado, onde os esgotos e as águas da chuva são conduzidos ao seu destino final, dentro da mesma tubulação e o sistema separador, que possui tubulações separadas para conduzir os esgotos sanitários e as águas residuárias.

O sistema separador, por sua vez se divide em: sistema convencional (utilizado na maior parte das cidades) e sistema simplificado (utilizado como solução econômica de coleta dos esgotos em vários projetos nas últimas décadas).

2.2.1 Sistemas individuais coletivos

Os sistemas individuais promovem soluções no local, são usualmente adotados para atendimento unifamiliar, embora possa atender a certo número de residências próximas entre si. Consistem no lançamento de excretas em privadas higiênicas, ou dos esgotos em fossas gerados em uma ou poucas unidades habitacionais, usualmente envolvendo infiltração no solo, os sistemas individuais são indicados para locais onde a densidade ocupacional for baixa. Já os sistemas coletivos são indicados para locais com elevada densidade populacional (SPERLING, 2005).

2.3 TRATAMENTO DE ESGOTO

O principal objetivo do tratamento do esgoto doméstico é: remover o material sólido, reduzir a demanda bioquímica de oxigênio, eliminar microrganismos patogênicos e reduzir as substâncias químicas indesejadas. Para tal demanda é necessário a decisão por quais níveis adotar para o tratamento do esgoto. Os níveis de tratamento de esgoto nada mais são, do que a separação das etapas do sistema de tratamento dentro das estações e a especificação de quais unidades os compõem (SPERLING, 2005).

2.3.1 Níveis de tratamento de esgoto

2.3.1.1 Tratamento Preliminar

Os mecanismos básicos de remoção são de ordem físicas. As unidades que o compõem são o gradeamento cuja função é a remoção de materiais grosseiros (sólidos e areia) e a calha Parshall que possibilita a medição da vazão, na entrada dos sistemas de tratamento, uma vez que a mesma possui dimensões padronizadas, onde o valor medido do nível do líquido pode ser correlacionado com a vazão.

Uma outra forma de medição de vazão adotada, embora que não muito usual para esgoto bruto são os vertedores (retangulares ou triangulares) e mecanismos para a medição em tubulações fechadas (SPERLING, 2005).

As principais finalidades de remoção dos sólidos grosseiros são: a proteção dos dispositivos de transporte dos esgotos (bombas e tubulações), proteção das unidades de tratamento subsequentes e proteção dos corpos receptores (SPERLING, 2005).

A remoção dos sólidos grosseiros é feita frequentemente por meio de grades, mas pode-se usar também peneiras rotativas, estáticas ou trituradores. No gradeamento, o material de dimensões maiores do que o espaçamento entre as barras é retido. Há grades grossas, médias e finas, dependendo do espaço livre entre as barras. A remoção do material retido pode ser manual ou mecanizada (SPERLING, 2005).

As finalidades básicas da remoção de areia são:

- Evitar abrasão nos equipamentos e tubulações;
- Eliminar ou reduzir a possibilidade de obstrução em tubulações, tanques orifícios, sifões e outros;
- Facilitar o transporte do líquido, principalmente a transferência de lodo, em suas diversas fases.

Para Sperling (2005) a remoção da areia contida nos esgotos é feita através de unidades especiais denominadas desarenadores. O mecanismo de remoção da areia é simplesmente o de sedimentação: os grãos de areia, devido às suas maiores dimensões e densidade, vão para o fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica, sendo de sedimentação bem mais lenta, permanece em suspensão e seguindo para as unidades de jusante. Há formatos diferentes dos desarenadores, que podem ser retangulares (bastante comuns), quadrados (com fundo semi-cônico) e outros. As caixas de areia podem ser sem aeração (mais comuns) ou aeradas (menos comuns). Existe uma diversidade de processos para a retirada e o transporte da areia sedimentada, desde os manuais até os completamente mecanizados.

2.3.1.2 Tratamento Primário

Destina-se a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes. Os esgotos após passarem pela unidade de tratamento preliminar, ainda contêm sólidos em suspensão não grosseiros, os quais podem ser facilmente removidos em unidades de sedimentação. Uma boa parte destes sólidos em suspensão é compreendida pela matéria orgânica em suspensão. Assim, sua remoção por processos mais simples, como a

sedimentação, implica na redução da carga de DBO dirigida ao tratamento secundário, onde sua remoção é de certa forma mais custosa.

A eficiência de remoção de sólidos em suspensão situa-se em torno de 60 a 70%, e a de DBO em torno de 25 a 35%.

Os tanques de decantação podem ser circulares ou retangulares. Os esgotos fluem vagarosamente através dos decantadores, permitindo que os sólidos em suspensão, possuindo uma densidade maior do que a do líquido circundante, sedimentem gradualmente no fundo. Essa massa de sólidos é denominada lodo primário bruto. Em estações de tratamento de esgotos, ela é retirada por meio de uma tubulação única em tanques de pequenas dimensões ou através de raspadores mecânicos e bombas em tanques maiores. Materiais flutuantes, como óleos e graxas, tendo uma menor densidade que o líquido circundante, sobem para a superfície dos decantadores, onde são coletados e removidos do tanque para posterior tratamento.

Os decantadores primários são utilizados principalmente antes da etapa biológica de processos de tratamento como lodos ativados e reatores aeróbios com biofilmes. Com a atual tendência de utilização de reatores anaeróbios, nestes processos de tratamento de esgotos os decantadores primários estão sendo substituídos, em novos projetos, por reatores UASB. Ao invés de se ter uma remoção de DBO em torno de 25 a 35% com os decantadores primários, passa-se a ter uma eficiência em torno de 70%, possibilitando uma redução do volume das unidades do tratamento de jusante, além de economia de energia (SPERLING, 2005).

A eficiência do tratamento primário na remoção de sólidos em suspensão e, em decorrência, DBO, pode ser aumentada através da adição de agentes coagulantes. Isto é denominado tratamento primário avançado. Os coagulantes podem ser o sulfato de alumínio, cloreto férrico ou outro, auxiliado ou não por um polímero. O fósforo pode ser também removido por precipitação. A geração de lodo é maior, como resultado da maior quantidade de sólidos removidos do líquido, bem como dos produtos químicos adicionados. O lodo primário pode ser digerido em digestores convencionais, mas em alguns casos pode ser também estabilizado por meio de cal (estabilização alcalina), simplificando o fluxograma, mas aumentando ainda mais a geração de lodo a ser disposto (SPERLING, 2005).

2.3.1.3 Tratamento Secundário

Para Sperling (2005) seu principal objetivo é a remoção da matéria orgânica. Esta se apresenta nas seguintes formas:

- Matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel ou filtrada), a qual não é removida por processos meramente físicos, como o de sedimentação, que ocorre no tratamento primário;

- Matéria orgânica em suspensão (DBO suspensa ou particulada), a qual é em grande parte removida no eventual tratamento primário, mas cujos sólidos de sedimentabilidade mais lenta persistem na massa líquida.

Vários processos de tratamento secundário são concebidos de forma a acelerar os mecanismos de degradação que ocorrem naturalmente nos corpos receptores. Assim, a decomposição dos poluentes orgânicos degradáveis é alcançada, em condições controladas, em intervalos de tempo menores do que nos sistemas naturais.

A essência do tratamento secundário de esgotos domésticos é a inclusão de uma etapa biológica. Enquanto nos tratamentos preliminar e primário predominam mecanismos de ordem física, no tratamento secundário a remoção da matéria orgânica é efetuada por reações bioquímicas, realizadas por microrganismos. Os microrganismos convertem a matéria orgânica em gás carbônico, água e mineral celular (crescimento e reprodução dos microrganismos). Em condições anaeróbias tem-se também a produção de metano. A decomposição biológica do material orgânico requer a manutenção de condições ambientais favoráveis, como temperatura, pH, tempo de contato com outros e, em condições aeróbias, oxigênio (SPERLING, 2005).

Esse tipo de tratamento inclui as unidades do tratamento preliminar, mas pode ou não incluir as unidades de tratamento primário. Existe uma grande variedade de métodos de tratamento em nível secundário, sendo que os mais comuns são: lagoas de estabilização e variantes, processos de disposição sobre o solo, reatores anaeróbios, lodos ativados e variantes e reatores anaeróbios com biofilmes (SPERLING, 2005).

2.4 SISTEMAS ANAERÓBICOS

De acordo com Chernicharo (2008) há em nosso país um elevado nível de conhecimento no campo de tratamento anaeróbio, embora que ainda seja bastante localizado. Nos últimos anos, as diversas instituições têm se dedicado a trabalhos de pesquisas fundamentais e aplicados nessa área, tendo contribuído significativamente para evolução e uma maior disseminação da tecnologia de tratamento anaeróbio no Brasil. Dessa forma algumas empresas de saneamento investiram maciçamente nessa área, nos últimos anos, dispondo atualmente de amplo conhecimento acerca de projeto, construção e operação de reatores anaeróbios. Todos os compostos orgânicos em princípio podem ser degradados por

via anaeróbia, porém esse processo se mostra mais eficiente e mais econômico quando os dejetos são facilmente biodegradáveis.

As condições climáticas do nosso país são fatores contribuintes para que o uso dessa tecnologia de tratamento de esgotos domésticos venha sendo cada vez mais difundida, e deixe o país em uma posição de vanguarda no cenário mundial, em relação à aceitação e a disseminação de reatores anaeróbios, em especial os de fluxo ascendente e manta de lodo UASB.

Um alto grau de satisfatoriedade e aplicação são obtidos quando os sistemas anaeróbios são aplicados ao tratamento de efluente, que se dá devido as características resultantes do processo, tal como baixo custo e produção de sólidos, simplicidade operacional, alta eficiência e condições ambientais favoráveis como altas temperaturas (MORAES; FERREIRA, 2011).

Os reatores de manta de lodo, denominados reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors), ou na tradução para o português Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo tiveram sua origem na Holanda, na década de setenta, após trabalhos desenvolvidos pela equipe do Prof. Gatzke Lettinga, na Universidade de Wageningen. Os reatores de manta de lodo (UASB), embora tenham sua origem na Holanda, no Brasil são projetados levando em consideração a existência de Normas Brasileiras reativas ao projeto de tanques sépticos e de filtros anaeróbios (NBR 7.229/1993 e NBR 13.969/1997 respectivamente), nessas normas também são tratados em maior profundidade os aspectos de projeto dos reatores UASB (CHERNICHARO, 2008).

Chernicharo (2008) comentava que o processo de funcionamento de um reator UASB consiste de um fluxo ascendente de esgotos através de um leito de lodo denso e de elevada atividade. O perfil de sólidos no reator varia de muito denso e com partículas granulares de elevada capacidade de sedimentação, próximas ao fundo (leito de lodo), até um lodo mais disperso e leve, próximo ao topo do reator (manta de lodo). A estabilização da matéria orgânica ocorre em todas as zonas de reação (leito e manta de lodo), sendo a mistura do sistema promovida pelo fluxo ascensional do esgoto e das bolhas de gás. O esgoto entra pelo fundo e o efluente deixa o reator, através de um decantador interno localizado na parte superior do reator. Um dispositivo de separação de gases e sólidos, localizado abaixo do decantador, garante as condições ótimas para a sedimentação das partículas que se desgarram da manta de lodo, permitindo que estas retornem à câmara de digestão, ao invés de serem arrastados para fora do sistema. Embora parte das partículas mais leves sejam perdidas

juntamente com o efluente, o tempo médio de residência de sólidos no reator é mantido suficientemente elevado para manter o crescimento de uma massa densa de microrganismos formadores de metano, apesar do reduzido tempo de detenção hidráulica.

Um dos princípios fundamentais do processo é a sua habilidade em desenvolver uma biomassa de elevada atividade. O segundo princípio fundamental do processo é a presença de um dispositivo de separação de gases e sólidos, localizado na parte superior do reator. O principal objetivo deste dispositivo é a separação dos gases contidos na mistura líquida, de tal forma que uma zona propícia à sedimentação seja criada no extremo superior do reator.

De acordo com Chernicharo (2008) os critérios de projeto de reatores UASB para casos de efluentes domésticos deverão ser específicos.

Carga orgânica volumétrica (kgDQO/m³.d) : massa de matéria orgânica aplicada, por dia, por unidade de volume do mesmo. O critério utilizado para este parâmetro para estações em escala real tem sido inferiores a 15 kgDQO/m³.

$COV = (Q \times S)/V$, onde:

Q=vazão (m³/d)

S = concentração de substrato afluente (kgDQO/m³)

V = volume total do reator (m³)

Tempo de detenção hidráulica (horas):

$TDH = V/Q$

V = volume do reator (m³)

Q = vazão (m³ /d)

2.5 CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO

2.5.1 Caracterização Quantitativa dos Esgotos (vazões)

Segundo Sperling (2005) há basicamente duas variantes dos sistemas de esgotamento sanitário:

- Sistema individual ou sistema estático (solução no local, individual ou para poucas residências), consistem no lançamento de excretas (em privadas higiênicas, solução unifamiliar) ou dos esgotos (em fossas) gerados em uma ou poucas unidades habitacionais, usualmente envolvendo infiltração no solo. Esta solução pode funcionar satisfatoriamente e

economicamente se a densidade de ocupação for baixa e se o solo apresentar boas condições de infiltração.

- Sistema coletivo ou sistema dinâmico (solução com afastamento dos esgotos da área servida), indicados para locais com elevada densidade populacional, como no meio urbano. Consiste em canalizações que recebem o lançamento dos esgotos, transportando-os ao seu destino final, de forma sanitariamente adequada. Os sistemas coletivos, por sua vez possuem duas variantes que são: o sistema unitário ou combinado, onde os esgotos sanitários e as águas de chuva são conduzidos ao seu destino final, dentro da mesma canalização e o sistema separador o qual os esgotos sanitários e as águas de chuva são conduzidos ao seu destino final, em canalizações separadas.

Sperling (2005) considera que a adoção das variantes, sistema separador ou combinado dos sistemas coletivos, se deve a observação de alguns aspectos como vantagens e desvantagens da opção escolhida, em nosso meio tem-se adotado o sistema separador, devido aos pontos: afastamento da águas pluviais, menores dimensões das canalizações de coleta e agastamento das águas residuárias, possibilidade do emprego de diversos materiais para as tubulações de esgotos, tais como tubos cerâmicos, de concreto, PVC ou em casos especiais de ferro fundido, possível planejamento de execução das obras por partes, considerando a importância para comunidade e possibilidades de investimentos, melhoria das condições de tratamento dos esgotos sanitários, não ocorrência de extravasão dos esgotos nos períodos de chuva intensa.

Existem três fontes distintas para a origem dos esgotos das cidades que contribuem a estação de tratamento de esgoto. São elas: esgotos domésticos (incluindo residências, instituições e comércio), águas de infiltração e despejos industriais (diversas origens e tipos de indústrias). Para caracterização, tanto quantitativa, quanto qualitativa dos esgotos afluentes à ETE, é necessária a análise em separado de cada um destes três itens (SPERLING, 2005).

A quantidade de esgotos sanitários depende dos seguintes fatores: da quantidade de água fornecido ou consumida pela população, da quantidade de águas de chuva que se junta ao esgoto e das águas de chuva que infiltram na rede coletora de esgoto. Por serem fatores que promovem alterações principalmente no volume de esgoto que entra nas estações, eles podem ser responsáveis por alterações no processo de tratamento no decorrer da estação. Por esse motivo faz-se necessário o controle da vazão de entrada no sistema, por meio de dimensionamentos do projeto prevendo esses interferentes, de modo que não alterem o

processo de tratamento nas unidades de jusante, embora estas também sejam dimensionadas para conviver com a variação de vazão horária típica (SPERLING, 2005).

Normalmente a vazão doméstica de esgotos é calculada com base no consumo de água da respectiva localidade. Tal, por sua vez, é usualmente calculada em função da população de projeto e de um valor atribuído para o consumo médio diário de água por cada habitante, denominado Quota Per Capita (QPC). Antes de se apresentar as fórmulas e os parâmetros cálculo, é importante observar que para o projeto de uma estação de tratamento de esgotos não basta considerar apenas a vazão média. É necessária também a quantificação dos valores mínimos e máximos de vazão, por razões hidráulicas e de processo (SPERLING, 2005).

2.6 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DO ESGOTO

2.6.1 Características das Impurezas

Os diversos componentes presentes na água, e que alteram o seu grau de pureza, podem ser retratados, de uma maneira ampla e simplificada, em termos das suas características físicas, químicas e biológicas. Estas características podem ser traduzidas na forma de parâmetros de qualidade da água (SPERLING, 2005). As principais características da água podem ser expressas como: parâmetros físicos, parâmetros químicos e parâmetros biológicos.

Para caracterização dos esgotos são utilizados os mesmos parâmetros que para água, embora com algumas particularidades nas metodologias, como filtração de amostras. Os principais parâmetros de qualidade das águas residuárias que possuem destaque especial são na sua caracterização são:

- Sólidos (Totais, Fixos e voláteis)
- Indicadores de matéria orgânica (COT, DBO5-20° e DQO)
- Nutrientes (Fósforo total e Nitrogênio amoniacal total)
- Microbiológicos ou indicadores de contaminação fecal (Coliformes Termotolerantes)

Figura 1. Resumo dos parâmetros de referência para monitoramento de efluentes

Tabela 1.0 – Parâmetros de referências para o monitoramento de efluentes de acordo com a Resolução CONAMA 430/2011 - Art. 16 e 21

Parâmetros	Unidade	Valores Máximos
Coliformes termotolerantes	NMP/mL	*
Demanda bioquímica de oxigênio	mg/L	120 ou 60% de remoção
Demanda química de oxigênio	mg/L	*
Nitrogênio amoniacal total	mg/L	20
Fósforo total	mg/L	*
Sólidos Totais	mg/L	*
Sólidos Fixos	mg/L	*
Sólidos Voláteis	mg/L	*

*não se aplica

Fonte: Resolução CONAMA 430/2011 – Art. 16 e 21

2.7 LODO DE ESGOTO

Atualmente o termo “lodo” é a designação dada aos subprodutos sólidos do tratamento de esgotos. Os processos de conversão e absorção de parte da matéria orgânica ocorrida nos processos biológicos de tratamento fazem parte da biomassa microbiana, também denominada de lodo biológico ou secundário, por ser composto principalmente de sólidos biológicos é denominado biossólido. A adoção do termo biossólido depende de avaliações das características químicas e biológicas do mesmo, constatando compatibilidade com uma utilização produtiva como, por exemplo, na agricultura.

De acordo com Metcalf&Eddy (2016) lodo é qualquer material sólido, ou corrente com concentração elevada de sólidos não dissolvidos, produzido nos processos primários, secundários ou avançado de tratamentos de efluentes, que não tenham sido submetidos a nenhum processo de redução de patógenos ou atração de vetores. Mas especificamente biossólidos é o lodo resultante do processo de tratamento de efluentes que tenham sido estabilizados e que atendem ao critério de 40 CFR 503 da Agência Americana de Proteção Ambiental, e dessa forma, podem ser aproveitados. Nesse mesmo contexto os autores mostram a classificação do biossólidos de acordo com a CRF 503, que estabelece critérios de atendimento dos níveis de poluentes do material seco, ou seja, o biossólidos após serem classificados, ainda devem ter níveis de concentrações e atender as exigências de redução de atração de vetores citados no 40 CFR 503.

De acordo com a classificação os biossólidos de Classe A são aqueles com menos de 1.000 NMP de coliformes termotolerantes por grama de lodo seco, menos de 3 NMP de Salmonela por 4 g de lodo e que atendam a uma das seis opções de estabilização apresentadas no 40 CFR 503. Já os biossólidos de Classe B são aqueles com menos de 2×10^6 unidades

formadoras de colônia (UFC), ou número mais provável (NMP), de coliformes termotolerantes por grama de bio sólidos secos (METCALF&EDDY, 2016).

- **Lodos Ativados**

O processo de lodos ativados teve origem em experiências com a utilização da aeração na tentativa de tratar esgoto primários, sem a necessidade da atividade dos microrganismos. A denominação surgiu na Inglaterra, provém do fato de se acreditar no início que o próprio lodo contido nos esgotos se tornava ativado. Atualmente se sabe que a atividade não se origina do lodo e, sim, do próprio esgoto, por meio da formação de novo flocos. Estes por sua vez, provém do processo de decantação (ANDREOLI,2014).

Sob esta denominação compreende-se então a depuração dos esgotos por meio de flocos ativados. O processo pode ser assimilado a um processo de autodepuração artificialmente acelerada. Os fenômenos envolvidos são exatamente os mesmos observados em rios e lagos, com a diferença que os organismos responsáveis pela depuração se encontram em quantidade exorbitante, concentrados em um espaço restrito. A superfície dos mesmos monta em 2000 até 10000 m² por metro cúbico de tanque de aeração. Por meio de aeração artificial consegue-se aduzir oxigênio em quantidade suficiente para que os microrganismos possam sobreviver apesar de sua aglomeração. Imprime-se também um movimento a água, a fim de evitar a deposição dos flocos na soleira, onde os organismos pereceriam devido à falta de oxigênio (IMHOFF, 1985).

Ainda de acordo com Inhoff (1985) a depuração biológica dos esgotos se realiza em duas fases. Primeiramente, uma parte dos poluentes orgânicos é oxidada para a obtenção de energia, sendo que ao mesmo tempo se forma nova matéria celular. Em uma segunda fase, as bactérias se aglomeram em flocos facilmente sedimentáveis. A flocculação biológica só é possível quando termina a fase de crescimento bacteriano e são excretados certos polímeros naturais. Estes têm comprimento suficiente para estabelecer pontes entre as bactérias.

2.8 PRODUÇÃO DE LODO NOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

2.8.1 Tipos de subprodutos sólidos gerados

Para Sperling (2014) os principais subprodutos sólidos gerados no tratamento do esgoto são:

- Material gradeado;
- Areia;
- Escuma;

- Lodo primário (também chamado de lodo bruto, este material é geralmente formado por sólidos sedimentáveis). O lodo produzido nessa etapa tem cor geralmente cinza, é pegajoso, e em muitos casos possui odor bastante desagradável;

- Lodo secundário (é o subproduto que é removido diretamente de reatores biológicos);

- Lodo químico (caso haja etapa físico-química);

- Lodo biológico (Após tratado é denominado biossólido. Originário do tratamento feito por sistemas biológicos);

Os subprodutos sólidos por serem gerados em diversas unidades do tratamento das ETEs acabam requerendo um tratamento, considerado essencial ao processo. O termo fase sólida para o lodo, foi convencionado devido a constituição do mesmo, pois na maior parte das etapas, ele encontra-se na proporção de mais de 95% de água.

A problemática do lodo, leva ao planejamento do gerenciamento, bem como a análise dos aspectos a serem considerados e quantificados. São eles:

- Produção de lodo na fase líquida;

- Descarte de lodo da fase líquida;

- Descarte de lodo da fase sólida;

Segundo Sperling e Gonçalves (2014) a produção de lodo a ser gerado é uma função fundamental do sistema tratamento utilizado para a fase líquida, que em princípio, todos os processos de tratamento biológico geram lodo.

De acordo com Andreoli (2014) os processos que recebem o esgoto bruto em decantadores primários geram lodo primário, composto pelos sólidos sedimentáveis do esgoto bruto. Na etapa biológica de tratamento, tem-se o denominado lodo biológico ou lodo secundário, que é a própria biomassa crescida às custas do alimento do esgoto afluente. Caso a biomassa não seja removida ela tende a se acumular no sistema, podendo eventualmente sair com o efluente final, deteriorando sua qualidade em termos de sólidos em suspensão e matéria orgânica. Dependendo do tipo de sistema, o lodo primário pode ser enviado para o tratamento juntamente com o lodo secundário. Nesse caso, o lodo resultante da mistura passa a ser chamado lodo misto. Em sistemas de tratamento que incorporam uma etapa físico-química, quer para melhorar o desempenho de decantador primário, quer para dar um polimento ao efluente secundário, tem-se o lodo químico. Em todos esses casos é necessário o descarte do lodo, ou seja, sua retirada da fase líquida. Porém nem todos os sistemas de tratamento de

esgotos necessitam de descarte contínuo da biomassa. Alguns sistemas de tratamento conseguem armazenar o lodo por todo horizonte de operação da estação, a exemplo disso temos: lagoas facultativas, outros permitem um descarte apenas eventual, como é o caso dos reatores anaeróbios e outros exigem uma retirada contínua ou bastante frequente, a exemplo os lodos ativados (FERNANDES, 2014).

Lodo Primário

Este só é gerado em estações que possuem uma etapa de tratamento primário, ou seja, a decantação primária. O lodo secundário é gerado em todos os processos de tratamento biológico (FERNANDES, 2014).

2.9 LODOS ATIVOS

Segundo Metcalf&Eddy (2016) o lodo ativado apresenta, em geral, um aspecto floculento e coloração marrom. Se a cor do lodo for mais escura, ele pode estar se tronando séptico. Se a cor for mais clara que o usual, significa que a aeração está sendo insuficiente com uma tendência de formação de um lodo que sedimenta mais lentamente. O lodo em condições adequadas não apresenta odor desagradável. O lodo pode se tornar séptico rapidamente e passar a emitir um odor desagradável. O lodo ativado pode ser digerido adequadamente por processo aeróbio, mas não anaeróbio.

O processo de lodos ativados foi originado após a percepção de que as experiências com a aeração dos efluentes, não eram eficazes em seus resultados, pois o tratamento de esgoto por simples aeração não ocorria. Para que houvesse o processo seria necessário promover conjuntamente a atividade microbiana. O termo lodos ativados teve origem na Inglaterra e provém inicialmente do fato de se acreditar que o lodo contido nos esgotos se tornaria ativado. Atualmente já se sabe que a atividade do lodo, não vem do lodo e sim do próprio esgoto, por meio da formação de novos flocos. Estes por sua vez após a decantação, é que se torna lodo ativado (FERNANDES, 2014).

O processo de lodos ativados acontece por meio de duas unidades, sendo elas: o tanque de aeração e o decantador secundário. No tanque de aeração ocorre a decomposição aeróbia do substrato orgânico solúvel e a formação de flocos biológicos para posterior sedimentação no decantador secundário. A elevada concentração de biomassa no tanque de aeração é mantida através da recirculação dos sólidos sedimentados no decantador secundário, mantendo a biomassa por mais tempo no sistema e a garantindo uma elevada eficiência na remoção da matéria orgânica. Em relação a parcela dos sólidos sedimentados e não recirculados, esta é removida do processo, caracterizando a produção excedente de lodo, ou

seja, lodo secundário. Assim como o lodo primário, o lodo secundário também deve ser espessado, estabilizado e desidratado. O tanque de aeração dispõe de dispositivos de aeração (ar difuso ou aeradores superficiais) para o fornecimento do oxigênio dissolvido necessário ao processo de estabilização biológica aeróbia. Já o decantador secundário apresenta configuração similar ao decantador primário. O processo de lodos ativados pode ou não ser precedido do tratamento primário (FERNANDES, 2014).

2.9.1 A água nos lodos

De acordo com Sperling (2014) a redução de umidade é uma atividade unitária fundamental para a redução de massa e volume do lodo produzidos em excesso nas Estações de Tratamento de Esgoto. Existem duas etapas para remoção da umidade dos lodos no fluxo do lodo de estações de tratamento. São eles:

- Adensamento ou espessamento;
- Desaguamento ou desidratação;

A etapa de adensamento é utilizada com maior frequência nos processos de tratamento primários, lodos ativados e filtros biológicos percoladores, tendo importantes implicações no dimensionamento e na operação dos digestores. Já o desaguamento realizado com o lodo digerido, tem impacto importante nos custos de transporte e destino final do lodo. Nas duas situações a remoção da umidade do lodo exerce grande influência no manuseio do lodo, isso devido a variação no comportamento mecânico do teor de sólidos.

As principais razões para se realizar o desaguamento são:

- Redução de custo de transporte para o local de disposição;
- Melhoria nas condições de manejo do lodo, já que ao lodo desaguado é mais facilmente transportado;
- Aumento do poder calorífico do lodo, através de redução da umidade com vistas à preparação para incineração;
- Redução do volume para disposição em aterro sanitário ou reuso na agricultura;
- Diminuição da produção de lixiviados quando da sua disposição em aterros sanitários;

Ainda por (VON SPERLING, 2014), a ligação da água aos sólidos nos lodos deve-se a forças intermoleculares de diferentes tipos, distribuindo-se em quatro classes distintas, de acordo com a facilidade de separação.

- Água livre;
- Água adsorvida;
- Água capilar;

- Água celular;

A remoção da água livre é realizada de forma consistente por simples ação gravitacional ou por flotação. É o que ocorre no processo de adensamento, que pode produzir lodos ainda fluídos mas com teor de sólidos aproximadamente de 5%.

Tendo como referência um lodo com 2% de ST, a eficiência do adensamento pode resultar na redução de volume do lodo de ordem de 60% com relação ao volume original. Outro exemplo de remoção de água livre é a etapa inicial de desaguamento de lodos em leitos de secagem, marcada pelo rápido escoamento (percolação) de água nas primeiras horas após a disposição do lodo sobre a soleira drenante (ANDREOLI, 2014).

A água adsorvida e a capilar exigem forças consideravelmente maiores para serem separadas dos sólidos presentes no lodo. Estas forças podem ser de origem química quando do uso de floclulantes, ou mecânicas, quando se usa o processo de desaguamento mecanizados, tais como filtros prensa ou centrífugas. Nesse processo se obtêm teores de sólidos superiores a 30%, resultando em um material denominado torta, de aparência semissólida, com consistência compatível com a manipulação através de pá ou transporte através de roscas transportadoras. A remoção das águas livre, adsorvida e capilar do lodo (originalmente a 2% ST) pode resultar em uma redução do volume original de 90% a 95% (ANDREOLI, 2014).

A água celular é a parte da fase sólida e só pode ser removida através de forças térmicas que provoquem uma mudança no estado de agregação da água. O congelamento e, principalmente a evaporação constituem-se nas duas possibilidades disponíveis para a separação de água celular. Nesse sentido, o processo de secagem térmica é uma das mais eficientes formas de remoção de umidade de “tortas” oriundas do desaguamento de lodos orgânicos domésticos e industriais disponíveis atualmente em uso. Um teor de sólidos de até 95% pode ser obtido, tendo como produto final um sólido de aparência granulada ou em pó, dependendo do nível de secagem. Nestes casos, tendo como referência um lodo com 2% de ST, o volume final pode chegar a menos de 1% do volume original (ANDREOLI, 2014).

Processos de adensamento do lodo

- **Tratamentos adequados do lodo**

O tratamento dos diversos tipos de lodo está ligado às demandas ambientais em que as empresas estão inseridas. Nas condições atuais dos sistemas de tratamento de esgoto, grande parte dos resíduos sólidos são enviados para aterros sanitários, mas devido ao esgotamento dos mesmos e às políticas nacionais para o despejo de resíduos sólidos, as companhias de saneamento, bem como as empresas produtoras de efluentes “industriais” foram obrigadas a

buscar alternativas socioambientais responsáveis para que os resíduos sejam, pelo menos em sua grande parte, processados de forma apropriada. Essa obrigatoriedade, aliada as formas apropriadas de tratamento fazem com que a quantidade e produção de lodo sejam reduzidas de forma consideravelmente ideais. O tratamento do lodo visa principalmente, facilitar o seu manuseio a partir da diminuição de volume e reduzir de forma definitiva os gastos com a destinação adequada do resíduo.

- **Tipos de tratamento do lodo**

Os tipos de tratamentos biotecnológicos disponíveis para os diversos tipos de lodo dependem do objetivo: estabilização, incineração, secagem térmica, adensamento e desaguamento. Com esses tratamentos, é possível reverter o quadro de danos ambientais e reaproveitar o resíduo, que passa a ser visto como um subproduto útil e com valor econômico.

Assim, os tipos de tratamento do lodo podem ser:

1. Compostagem: tratamento realizado a partir da atividade de microrganismos que estão na composição dos próprios resíduos. Este é um tratamento natural de resíduos orgânicos.
2. Incineração: resíduos são incinerados a uma temperatura de aproximadamente 1200°C. Dessa forma, o volume do lodo é reduzido.
3. Digestão aeróbia: indicado para pequenas instalações, a digestão aeróbia é um processo onde bactérias aeróbicas sofrem fermentação para se transformar em acetato e produzir metano.
4. Digestão anaeróbia: é um tratamento feito por decomposição para gerar biogás. Os resíduos restantes podem ser tratados como composto orgânico.
5. Biotecnologia: são consórcios formados por microrganismos que atuam com a finalidade de consumir grande parcela dos sólidos voláteis presentes em sistemas de tratamento, aumentando a idade do lodo e trazendo uma redução significativa do lodo em excesso. Com esta solução é possível ganhar mais tempo e espaço nos tanques com a redução da formação do lodo.

2.10 SECAGEM DO LODO

Os modos convencionais de secagem do lodo são unidades que possui como finalidade desidratar o material digerido por meios naturais, em digestores aeróbios ou anaeróbios. Conferindo ao lodo uma massa volumar menor e, portanto, constata-se uma disposição do material digerido a boiar durante o método de secagem, retendo-se na superfície e admitindo o

desprendimento do fluido intersticial pela parte inferior. Com o procedimento de drenagem prevista abaixo do sistema admite a remoção e afastamento deste líquido (AISSE et al., 1998).

O tempo indispensável para o ciclo de secagem do lodo em um leito, é composto por quatro períodos, sendo:

$$T_t = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \text{ (dias)}$$

T_1 = Tempo para preparação do leito e descarga do lodo;

T_2 = Tempo de percolação;

T_3 = Tempo de evaporação para se atingir a fração desejada de sólidos;

T_4 = Tempo para remoção dos sólidos secos.

Os períodos T_1 e T_4 dependem essencialmente de fatores relacionados com gerenciamento do leito (AISSE et al., 1998).

2.10.1 Secagem por estufa solar

De acordo com Metcalf&Eddy (2016) um método para melhorar o desaguamento e a secagem de biossólidos líquidos, adensados ou desaguados é a secagem solar em leitos de secagem cobertos. Sistemas de secagem solares não são geralmente, utilizados para o desaguamento de lodos primários não digeridos, em razão de problemas associados à geração de maus odores e da necessidade de secagem superior a 90% para obtenção de biossólidos Classe A, com 75 % de secagem para biossólidos estabilizados. O sistema de secagem solar, que nada mais é do que uma estufa sofisticada, consiste de uma câmara translúcida, com base retangular, dotada de sensores para medir as condições atmosféricas de secagem, aberturas para ventilação tipo persianas, ventiladores de circulação e ventilação forçada dispositivo eletrodinâmico para movimentação dos biossólidos e um sistema automático para controle do ambiente interno. A principal fonte de energia para o sistema é a radiação solar.

Ainda por Metcalf&Eddy (2016), na maioria do sistema de secagem solar, os biossólidos desaguados mecanicamente são distribuídos na estufa tanto manualmente como mecanicamente. Também é possível distribuir o lodo líquido diretamente na estufa de secagem, embora a área adicional necessária não compense a eliminação da etapa de desaguamento mecânico. A secagem solar é mais adequada para regiões tropicais ou semiáridas, embora existam instalações em regiões com climas subtropical e montanhoso, um sistema automático de monitoramento avalia as variáveis climáticas controladas, como temperatura, umidade e radiação solar, e o sistema de controle indica uma ou mais condições

de operação que podem otimizar as condições internas do leito da estufa de secagem. A estufa dispõe de ventiladores de circulação e exaustores de ar para possibilitar a secagem convectiva e o controle das condições climáticas no seu interior. Os biossólidos mecânicos específicos, dependendo do fabricante do sistema. Além disso, o calor residual de processos pode ser utilizado para aumentar a eficiência do sistema de secagem solar e reduzir a área necessária para o leito de secagem. Com esse sistema, é possível obter um material seco peletizado com um teor de sólidos de até 90%.

Diante das dificuldades encontradas, na busca por novas técnicas e processos que adaptem os melhores custos operacionais da secagem do lodo, o Estado do Tocantins possui como vantagem motivadora na utilização dessa técnica, pois possui altas temperaturas na maioria dos meses do ano, a opção da secagem do lodo por estufas solares torna-se uma alternativa altamente promissora. Com a utilização de estufas solares para aquecer o lodo, restando líquidos com o calor, e secando todo o material substancial a uma redução volumétrica e agrupamentos de microrganismos patogênicos. De acordo com Lima (2010) em seu estudo realizado no Espírito Santo, ao fim desse processo de tratamento do lodo, ele se torna um material granular peletizado, biologicamente consolidado e enquadrado como biossólidos Classe A, de acordo com as exigências da legislação vigente, com concentração de sólidos acima de 80% e volume menor ao inicial, diminuindo assim, os valores com disposição final.

2.10.2 Secagem por centrifugação

Segundo Metcalf&Eddy (2016) o processo de centrifugação é amplamente utilizado na indústria para a separação de líquido de diferentes massas específicas e de lamas adensadas ou para a remoção de sólidos de correntes líquidas. Este processo é aplicável para desaguamento de lodos de estações de tratamento de efluentes. As centrífugas utilizadas para o adensamento de lodo, também podem ser utilizadas para o desaguamento de lodos ou biossólidos.

Nos equipamentos de centrifugação, os biossólidos, ou o lodo, são alimentados com uma vazão constante, em um tambor rotativo, no qual ocorre a separação dos sólidos presentes no lodo, que são acumulados em uma torta da fase líquida denominada clarificado. O clarificado retorna para a alimentação do sistema de tratamento de efluentes, ou é tratado separadamente, caso necessário. A torta de lodo é descarregada por um parafuso sem fim, em um contêiner ou uma correia transportadora. Dependendo do tipo de lodo ou de biossólidos, a concentração de sólidos na torta obtida varia entre 20 a 30%. Recomenda-se a obtenção de tortas de lodo com concentração de sólidos acima de 25% para processamento por

incineração, secagem ou transporte para processo externo, aplicação no solo e disposição em aterros sanitários.

Ainda por Metcalf&Eddy (2016) os produtos químicos utilizados para o condicionamento são adicionados para obter um desempenho de desaguamento adequado, incluindo a concentração de sólidos na torta obtida e no clarificado resultante, sendo geralmente adicionados na linha de alimentação de lodo ou diretamente na centrífuga. As dosagens típicas para o condicionamento de lodos com polímeros variam de 1,0 a 25 g/Kg de lodo em base seca. A área necessária para instalação de centrífuga é menor que a requerida para outros dispositivos de desaguamento com a mesma capacidade, e o custo inicial para a sua aquisição e instalação é menor. Os elevados custos associados ao consumo de energia contrabalançarão os baixos custos iniciais. Uma atenção especial também deve ser dada à fundação para a instalação das centrífugas, que deve ser bastante resistente para suportar os esforços causados pela vibração do equipamento, assim como para o isolamento acústico da área de instalação, em função do ruído produzido durante a operação. Uma fonte adequada de suprimento de energia elétrica é necessária em função da potência dos motores a ser utilizados. Como as centrífugas ficam confinadas, o controle de odores pode ser mais fácil em comparação aos outros tipos de sistemas de desaguamento. Contudo, é necessário prever uma ventilação adequada do local de instalação das centrífugas para o controle da emissão potencial de odores e do acúmulo de umidade. Nesse contexto, a torta produzida pelas centrífugas, com maior concentração de sólidos, emite mais odores quando comparados com tortas obtidas por outros dispositivos de desaguamento, afetando de forma negativa os métodos de aproveitamento benéfico dos biossólidos, quando aplicado no solo.

2.11 LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS

2.11.1 Disponibilidade dos recursos hídricos no Brasil

O Brasil é privilegiado na disponibilidade de recursos hídricos. O País conta com 12% de toda a água doce do planeta, tem as bacias São Francisco e Paraná e cerca de 60% da bacia amazônica. Enquanto, em todo o mundo, mais de 1 bilhão de pessoas não têm acesso à água, o volume de água por pessoa no Brasil é 19 vezes superior ao mínimo estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) – de 1.700 m³/s por habitante por ano. Apesar da abundância, os recursos hídricos brasileiros não são inesgotáveis. A água não chega para todos na mesma quantidade e regularidade. As características geográficas de cada região e mudanças de vazão dos rios, que ocorrem devido às variações climáticas ao longo do ano,

afetam a distribuição e também o uso indiscriminado tanto dos mananciais superficiais quanto dos subterrâneos (BRASIL, 2010).

As perspectivas de escassez e degradação da qualidade da água colocaram em discussão a necessidade de adoção do planejamento e do manejo integrado dos recursos hídricos.

Baseando-se nessa discussão, o presente trabalho tem enfoque na eficiência dos sistemas anaeróbicos seguidos de lagoas de estabilização para tratamento de esgoto, de modo a garantir o máximo de remoção de cargas orgânicas, de nutrientes e microrganismos patogênicos antes do efluente tratado ser lançado nos corpos hídricos receptores.

2.11.2 Política Nacional de Recursos Hídricos

Em 08 de janeiro de 1997, foi sancionada a Lei nº 9.433 denominada Lei das águas que estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh). Um de seus principais objetivos é assegurar a disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados, bem como promover uma utilização racional e integrada dos recursos hídricos (BRASIL, 2010).

A lei tem como fundamento a compreensão de que a água é um bem público (não pode ser privatizada), sendo sua gestão baseada em usos múltiplos (abastecimento, energia, irrigação, indústria etc.) e descentralizada, com participação de usuários, da sociedade civil e do governo. O consumo humano e de animais é prioritário em situações de escassez.

A política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos fundamentos a seguir:

- a) a água é um bem de domínio público;
- b) a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- c) em situações de escassez, o uso prioritário da água é o consumo e a dessedentação de animais;
- d) a gestão dos recursos hídricos deve promover o uso múltiplo das águas;
- e) a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a gestão dos Recursos Hídricos;
- f) a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos são:

- a) os planos de recursos hídricos;
- b) o enquadramento dos corpos de água em classes de uso;

- c) a outorga dos direitos de uso da água;
- d) a cobrança pelo uso da água;
- e) o sistema nacional de informações sobre recursos hídricos.

Os integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos são: o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH; a Agência Nacional de Águas - ANA; os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal: os Comitês de Bacias Hidrográficas, os órgãos e as entidades da União, Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos.

2.11.3 Resolução CONAMA nº. 357/2005

A Resolução CONAMA nº. 357, de 2005, promulgada em 17 de março de 2005, revoga a Resolução CONAMA 20/86 e: “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, entre outras providências” (BRASIL, 1986).

Dentre suas considerações uma das mais relevantes é que o enquadramento dos corpos hídricos não deve ser baseado no seu estado atual, mas, sim, no nível em que deveriam estar para atender às necessidades dos usuários. Isto significa que os rios brasileiros devem ser reclassificados (BRASIL, 2005).

Esta mesma Resolução classificou as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, segundo a qualidade requerida para seus usos pretendidos, em treze classes, sendo as águas doces classificadas em cinco classes, as águas salobras e as salinas em quatro classes, cada.

As águas doces foram classificadas em classe especial, classes 1, 2, 3 e 4, sendo que as águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigentes, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes. A classe especial é a mais restritiva, enquanto a classe 4 é a menos restritiva (BRASIL, 2005).

A Resolução ainda define que enquanto não forem aprovados os enquadramentos, as águas doces serão consideradas como Classe 2 e as águas salinas e salobras Classe 1, exceto se as condições de qualidades atuais forem melhores, determinando a aplicação da classe mais rigorosa.

Conforme a classificação das águas doces, definida na Resolução, o uso a que se destinam:

* Classe especial: abastecimento humano, com desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e a preservação dos ambientes aquáticos, em unidades de conservação de proteção integral.

* Classe 1: são destinadas ao abastecimento humano, após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, irrigação de hortaliças e frutas consumidas cruas e à proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.

* Classe 2: são definidas como as águas que podem ser destinadas ao abastecimento humano, após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, irrigação de hortaliças, plantas frutíferas, áreas de lazer em que o público possa ter contato direto e à aquicultura e à atividade de pesca.

* Classe 3: podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora, à recreação de contato secundário e à dessedentação de animais.

* Classe 4: destinam-se à navegação e à harmonia paisagística.

O enquadramento da Resolução nº. 357/05 é específico para a classificação das águas superficiais. Os padrões de qualidade das águas determinados por essa Resolução, é estabelecido limites individuais, para cada substância, em cada classe. Os órgãos estaduais ou municipais responsáveis pelas diretrizes do meio ambiente, em cada Estado ou município no Brasil, podem aplicar os mesmos padrões estabelecidos na Resolução do CONAMA, complementar, ou estabelecer padrões mais restritivos.

Dentre os diversos parâmetros citados nesta resolução, neste projeto serão analisados somente os que possuem maior relevância para enquadramento, os que possuem VMP nas referências bibliográficas, sendo eles:

- Coliformes termotolerantes;
- Demanda Bioquímica de Oxigênio;
- Demanda Química de Oxigênio;
- Fósforo total;
- Nitrogênio Amoniacal total;
- Sólidos Suspensos Totais;

2.11.4 Resolução CONAMA n° 430/2011

A Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011 dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA (BRASIL,2011).

Ela também é responsável por dispor sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

O lançamento indireto de efluentes no corpo receptor deverá observar o disposto nesta Resolução quando verificada a inexistência de legislação ou normas específicas, disposições do órgão ambiental competente, bem como diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário (BRASIL, 2011).

2.11.5 Resolução CONAMA n° 375/2006

Esta resolução de 29 de junho de 2006 define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.

Os lodos de esgotos por serem características intrínseca do tratamento de esgoto em estações, por possui um crescimento proporcional ao aumento da população humana, por ser fonte de risco no que se remete a saúde pública, ao meio ambiente e por potencializar o surgimento e a proliferação de vetores de moléstias e organismos nocivos é que a destinação final ou adequada para esse subproduto é considerada emergencial.

A Resolução CONAMA n° 375/2006 estabelece os critérios de aceitação da qualidade do lodo pós tratamento de secagem, de modo a permitir sua utiliza para fins agrícolas.

2.11.6 Resolução CONAMA 498/2020

A resolução CONAMA 498 de 19 de agosto de 2020 é a lei brasileira mais atual que define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólidos em solos, e dá outras providências.

3 METODOLOGIA

O projeto proposto a princípio é um estudo de caso de trabalhos pioneiros desenvolvidos no país, utilizando a tecnologia de estufas solares de secagem de lodo gerado

em estações de tratamento de esgoto. As pesquisas em literaturas revisadas incentivaram a elaboração da proposta de viabilidade de implantação de estufas solares de secagem do lodo produzido na Estação de Tratamento de Esgoto, ETE NORTE do município de Palmas – TO.

A apresentação da proposta de construção de um sistema similar em Palmas -TO foi baseada nos resultados encontrados na utilização desse modelo de estufa, em estações de tratamento de esgoto situadas em regiões do país que possuem fatores climáticos bem mais restritivos, quando comparados aos de Palmas -TO, principalmente nos fatores temperatura e radiação solar.

Para o desenvolvimento da proposta foram feitas pesquisas no site da concessionária BRK Ambiental, com o objetivo de se conseguir algumas informações públicas sobre a ETE Norte que pudessem contribuir para avaliações e comparações com o estudo realizado no município de Vitória- ES.

O atual sistema de desague do lodo na unidade de tratamento é a secagem por meio de uma centrífuga. De acordo com o site de um fabricante e fornecedor desse tipo de equipamento, nesse processo de desague o lodo desidratado tem normalmente uma secagem entre 15% e 30% dependendo do tipo de lama e das condições de centrifugação.

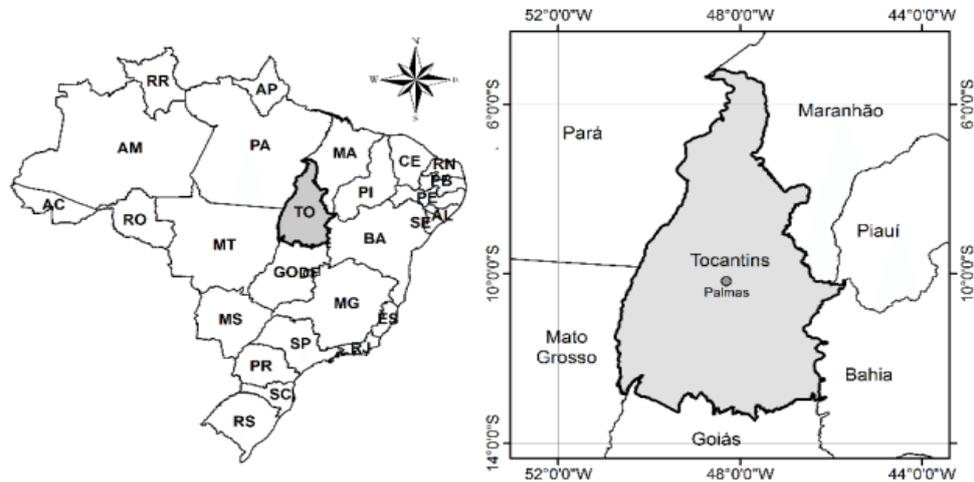
A centrífuga para desidratação de lodo é composta por um rotor cilíndrico cônico com um parafuso helicoidal em seu interior. Estes dois giram em alta velocidade e na mesma direção, o rotor gira mais rápido do que o parafuso. O biossólido é alimentado na parte central e é empurrado para a periferia graças a força centrífuga. À medida que a água que é mais leve, passa através do parafuso helicoidal é recolhida numa extremidade da centrifuga, para desidratação de lodo, este por sua vez vai se formando nas paredes do rotor, e é arrastado para a região cônica, saindo através de uma abertura na parte inferior oposta.

3.1 PALMAS

É um município brasileiro, capital e maior cidade do estado do Tocantins. Localizada na região central do estado do Tocantins possui área de 2.218,942 km², suas limitações geográficas são compreendidas entre os municípios de Aparecida do Rio Negro, Lajeado, Miracema do Tocantins, Monte do Carmo, Novo Acordo, Porto Nacional e Santa Tereza do Tocantins.

De clima tropical e de altas temperaturas, a cidade de Palmas possui condições favoráveis para construção e operação do sistema de tratamento para o lodo produzido em ETE, ou melhor a construção de um sistema de secagem solar (Estufa de secagem solar).

Figura 2. Localização da área de estudo, Palmas –TO, Brasil.



Fonte: ResearchGate.

3.1.1 Estação de Tratamento de Esgoto ETE NORTE em Palmas – TO.

A BRK Ambiental|Saneatins é a concessionária responsável por promover saneamento básico a população tocantinense, tanto no fornecimento de água tratada, quanto na coleta e tratamento do esgoto produzido. Atualmente a concessionária gerencia a operação de 17 Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) no estado do Tocantins e 03 no estado do Pará. No município de Palmas, capital do estado do Tocantins existem três estações de tratamento de esgoto, sendo uma delas a ETE Norte, a qual é foco do estudo proposto. A ETE Norte é uma das mais modernas Estações de Tratamento de Esgoto do País. Palmas foi a primeira capital a conseguir a universalização no serviço. A ETE é capaz de tratar cerca de 830 mil litros de esgoto por hora.

A ETE Norte localizada no loteamento Projeto de Assentamento Área Verde, Gleba 03, Chácaras 134, 143, 144, 145 e 146 em Palmas - TO, atende um quantitativo da população de 148.963 hab., a mesma possui capacidade de tratamento de 220 L/s, sendo o tipo de tratamento adotado composto por entrada do sistema (Efluente bruto), reatores UASB 001 e 002, reatores de lodos ativados 001 e 002, decantadores 001 e 002, flotor e finalmente a calha Pharsall (Efluente tratado).

O processo de Lodos Ativados da ETE Norte é dotado de dois tanques de aeração de seção retangular, em concreto armado, com extensão de 4,5 m, largura de 1,5 m e profundidade de 3,0 m.

Figura 3. Estação de tratamento ETE NORTE em Palmas – TO.



Fonte: Site da BRK AMBIENTAL.

3.2 ÁREAS ENVOLVIDAS NO ESTUDO

A proposta de construção de um sistema de tratamento de resíduos sólidos para essa unidade foi baseada em projetos implantados no país, bem como em sistemas pioneiros existentes em outros países e mencionados em obras como Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos de Metcalf&Eddy (2016). O primeiro passo seguido foi o levantamento de informações como: região onde a estação está localizada, as condições climáticas da região, a população atendida, volume de esgoto coletado, volume de esgoto tratado, o volume de lodo produzido, disposição final atual e área livre disponível para implantação do sistema.

3.3 PROJETOS E ETAPAS

O projeto da secagem térmica dos lodos é um processo que visa a redução da umidade através da perda da água por evaporação natural com o aquecimento natural solar para a atmosfera, bem como a redução do volume do lodo.

O sistema de secagem solar, que nada mais é do que uma estufa sofisticada, consiste de uma câmara translúcida, com base retangular, dotada de sensores para medir as condições atmosféricas de secagem, aberturas para ventilação tipo persianas, ventiladores de circulação e ventilação forçada dispositivo eletrodinâmico para movimentação dos biossólidos e um

sistema automático para controle do ambiente interno. A principal fonte de energia para o sistema é a radiação solar.

3.3.1 Orçamento

De posse do levantamento das informações da unidade em estudo, principalmente o volume de biossólido produzido diariamente e a área disponível para construção e implantação da estufa solar, parte-se para a etapa orçamentária, onde todos os materiais necessários para a construção da estufa estarão inclusos. Os itens que deverão ser orçados são:

- Concreto usinado para construção da base (piso) da estufa;
- Vigas em alumínio ou de madeira;
- Filmes plásticos para estufas;
- Sensores para medir as condições atmosféricas de secagem (Termohigrômetros e termômetros);
- Aberturas para ventilação tipo persianas;
- Ventiladores de circulação e ventilação forçada dispositivo eletrodinâmico para movimentação dos biossólidos;
- Sistema automático para controle do ambiente interno;
- Módulos solares (placas solares);
- Contratação de construtora para execução do projeto;

3.3.2 Construção

Com aprovação do projeto inicia-se a etapa de construção da estufa, onde haverá o processo de nivelamento do terreno para construção do piso com concreto usinado, bem como para instalação drenos para coleta da parte líquida do lodo. A adequada construção do piso, também é importante para posterior fixação dos pilares e vigas alumínio ou de madeira. Estas por sua vez serão responsáveis por sustentar o filme plástico que servirá como paredes e telhado da estufa.

Na parte interna serão instalados os equipamentos para monitoramento das condições ambientais internas da estufa, possibilitando o acompanhamento dos parâmetros temperatura e umidade, afim de se obter posteriormente as condições favoráveis de secagem do biossólido ali depositado.

3.3.3 Implantação

Para a implantação da estufa solar na estação de tratamento de esgoto ETE Norte deverá haver um treinamento para a equipe de operação, de modo a capacitá-los no manuseio, monitoramento e controle do sistema de secagem solar do lodo.

O monitoramento além de possibilitar o acompanhamento das características e aspectos do lodo depositado, também promoverá a criação de uma série histórica dos dados encontrados nas amostras do biossólido gerado na unidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 INVESTIMENTO ESTIMADO PARA IMPLANTAR O PROJETO

Os custos estimados para implantação do projeto envolveram a somatória de gastos com os seguintes processos e materiais: Concreto usinado para construção da base (piso) da estufa, estruturas metálicas em aço, alumínio ou de madeira, filmes plásticos para estufas, sensores para medir as condições atmosféricas de secagem (termohigrômetros e termômetros), aberturas para ventilação tipo persianas, ventiladores de circulação e ventilação forçada dispositivo eletrodinâmico para movimentação dos biossólidos, sistema automático para controle do ambiente interno, módulos solares (placas solares), contratação de empresas fabricantes de estufas agrícolas ou similares, contratação de construtora, serviço de instalação do sistema, projeto, ART de projeto de execução, licença ambiental, honorário do engenheiro elétrico, acompanhamento junto a distribuidora de energia local, mão de obra para a instalação.

4.1.1 Custo do investimento

É de grande importância que se opte por empresas que sejam referenciadas no ramo, visando a eficácia do projeto e, existindo necessidades de manutenções a empresa esteja disponível no mercado para executar os devidos ajustes, considerando que as garantias ofertadas são de longo prazo.

Para a estimativa do orçamento para a implantação e aquisição dos materiais, existem atualmente empresas sólidas no mercado com sistemas completos de secagem de lodo utilizando estufas solares como: PARKSON CORPORATION, PARKSON THERMO-SYSTEM, HUBER TECHNOLOGY e VEOLIA WATER, possuem os chamados “solar dryers”, destinados a receber o lodo líquido, denso ou desaguado com teor de sólido próximo a 20%, funcionando com uma estufa revestida de material transparente, com monitoramento das condições atmosféricas e sistema de exaustão, através dos seus sensores, tendo como sua única fonte de energia para o desaguamento a radiação solar.

Para uma maior compreensão e melhor visualização sobre qual das metodologias foi mais viável, tanto no que se refere ao seu objetivo fim, quanto aos custos envolvidos em seu

funcionamento e operação, foi elaborada uma planilha de custos com previsão de projeção para 20 anos. A planilha identifica os custos com energia, custo com contrato de descarte do material em aterro sanitário e custo com transporte do material entre a ETE e o aterro sanitário.

Figura 4. Planilha de custos para implantação e operação - Centrífuga

CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DOS PROJETOS																		
ANO	SITUAÇÃO ATUAL - CENTRÍFUGA																	
	CAPEX - CUSTO DO INVESTIMENTO (R\$)		OPEX - CUSTO COM DESPESAS (R\$)															
	IMPLANTAÇÃO DA CENTRÍFUGA	TOTAL DE DESPESAS (R\$)	CUSTO COM ENERGIA (R\$)						CUSTO COM TRANSPORTE E DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO (R\$)									
			POTÊNCIA DA CENTRÍFUGA (Kwh)	HORAS DE FUNCIONAMENTO DA CENTRÍFUGA (h)	CONSUMO DIÁRIO (Kwh)	CONSUMO ANUAL (Kwh)	VALOR TRIBUTÁRIO DA TARIFA (R\$/kwh)	CUSTO TOTAL (R\$)	CUSTO COM DISPOSIÇÃO NO ATERRO SANITÁRIO POR 1 TON (R\$)	VALOR COBRADO POR CAMINHÃO BASCULANTE (Ton/Km) (R\$)	NÚMERO DE RETIRADAS DOS CONTÊINER	VOLUME DIÁRIO DE LODO SECO RETIRADO (M³)	PESO DO LODO SECO (t)	DISTÂNCIA ATÉ O ATERRO SANITÁRIO (Km)	CUSTO DIÁRIO COM DISPOSIÇÃO NO ATERRO SANITÁRIO (R\$)	CUSTO COM TRANSPORTE UTILIZANDO CAMINHÃO BASCULANTE (R\$)	CUSTO ANUAL COM DISPOSIÇÃO NO ATERRO SANITÁRIO (R\$)	CUSTO ANUAL COM TRANSPORTE UTILIZANDO CAMINHÃO BASCULANTE (R\$)
2021	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2022	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2023	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2024	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2025	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2026	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2027	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2028	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2029	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2030	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2031	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2032	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2033	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2034	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2035	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2036	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2037	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2038	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2039	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2040	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00
2041	0,00	0,00	41	12	432,00	179580,00	0,600000	107748,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	12	2,4	60	R\$ 1.560,00	R\$ 43,20	R\$ 569.400,00	R\$ 15.768,00

A figura 4. Planilha de custos para implantação e operação da centrífuga aponta as despesas fixas que a metodologia exige para pleno funcionamento. Estas despesas são custo com energia elétrica para acionamento e funcionamento da centrífuga, com disposição do material no aterro sanitário e com o transporte do material entre a unidade de tratamento e o aterro sanitário.

Para o cálculo dos custos com consumo de energia elétrica da centrífuga foi considerada a potência da bomba, fornecida pelo fabricante, no caso 50 CV ou 41 Kwh. O produto entre a potência de 41 kwh e as 12 horas de funcionamento do sistema resultou no consumo diário de 492 kwh, este consumo diário ao final do ano gera um consumo anual de 179.580 Kwh. Já o consumo anual foi obtido pelo produto entre o consumo diário de 179.580 kwh e valor tributário da tarifa, no caso R\$ 0,60 por Kwh, resultando num montante de R\$ 107.748,00. No decorrer da planilha foram apresentadas as outras duas despesas requeridas para disposição adequado com o lodo gerado como funcionamento da centrífuga, sendo eles os custos com a disposição e o transporte do material para o aterro sanitário.

Os custos totais mensais e anuais com essas despesas foram levantados considerando e correlacionando as informações a seguir:

- Valor cobrado de R\$ 130,00 a cada tonelada para descarte do produto, sendo esse firmado no contrato entre o aterro sanitário e a concessionária para destinação final;
- Valor cobrado de R\$ 0,30 (t/km) com o transporte por caminhão basculante;
- O volume diário de lodo seco retirado da ETE, sendo este de 12m³;
- O peso do lodo seco;
- A distância de 60 km entre a estação de tratamento e o aterro sanitário;

O volume diário de 12 m³ foi calculado sobre as horas de funcionamento da centrífuga e da produção de lodo desaguado por ela, baseado no número de vezes de seu funcionamento por dia. O quantitativo de horas de funcionamento desse equipamento foi obtido avaliando as necessidades operacionais da ETE, que no período das 24 horas diárias necessita de muita atenção dos operadores para desenvolvimento das atividades exigidas no tratamento do efluente. Uma dessas atividades é justamente o acionamento e operação da centrífuga, uma vez que o equipamento requer muita atenção durante seu período de funcionamento, pois apenas para ser ligada e desligada leva 30 minutos, já para realização do processo de desagüe leva 03 horas. A cada funcionamento de 03 horas da centrífuga, esta produz em torno de 4 m³ de lodo seco, como a mesma funciona 3 vezes ao dia, obteve-se o volume de 12m³ diários.

Para o cálculo do volume de lodo seco foi considerado que o lodo produzido pela centrífuga possui em média 20% de sólidos totais, portanto destes 12 m³ de lodo tem-se 2,4 m³ de lodo seco.

O valor de R\$ 130,00 cobrado com disposição no aterro sanitário por 1 ton., foi multiplicado pelo volume diário de lodo seco resultando no consumo diário total de R\$ 1.560,00, este ao final do ano totalizando R\$ 569.400,00. Para encontrar os custos com transporte do lodo utilizando caminhão basculante, foram usados o valor de R\$ 0,30 por cada ton/km, multiplicado pelo peso seco de 2,4 m³ e pela distância de 60 km entre a estação de tratamento e o aterro sanitário, sendo o custo com caminhão de R\$ 43,20 por cada viagem, totalizando o valor final anual de R\$ 15.768,00.

Figura 5. Planilha para implantação e operação – Estufa solar de secagem

CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DOS PROJETOS																	
SITUAÇÃO SUGERIDA - ESTUFA SOLAR DE SECAGEM																	
ANO	CAPEX - CUSTO DO INVESTIMENTO (R\$)	OPEX - CUSTO COM DESPESAS (R\$)															
	IMPLANTAÇÃO DA ESTUFA SOLAR DE SECAGEM (R\$)	CUSTO COM ENERGIA (R\$)						CUSTO COM TRANSPORTE DE DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO (R\$)									
		POTÊNCIA DA BOMBA DE LODO (Kwh)	HORAS DE FUNCIONAMENTO DA BOMBA DE LODO (h)	CONSUMO DIÁRIO (Kwh)	CONSUMO ANUAL (Kwh)	VALOR TRIBUTÁRIO DA TARIFA (R\$/Kwh)	CUSTO TOTAL (R\$)	CUSTO COM DISPOSIÇÃO NO ATERRO SANITÁRIO POR 1 T _{oa} (R\$)	VALOR COBRADO POR CAMINHÃO BASCULANTE (T _{oa} /Km) (R\$)	NÚMERO DE RETIRADAS DOS CONTÊINER	VOLUME DIÁRIO DE LODO SECO RETIRADO (M ³)	PESO DO LODO SECO (t)	DISTÂNCIA ATÉ O ATERRO SANITÁRIO (Km)	CUSTO DIÁRIO COM DISPOSIÇÃO NO ATERRO SANITÁRIO (R\$/36 DIAS)	CUSTO COM TRANSPORTE UTILIZANDO CAMINHÃO BASCULANTE POR DIA (R\$)	CUSTO ANUAL COM DISPOSIÇÃO NO ATERRO SANITÁRIO (R\$)	CUSTO ANUAL COM TRANSPORTE UTILIZANDO CAMINHÃO BASCULANTE (R\$)
2021	R\$ 5.078.714,30	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2022	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2023	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2024	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2025	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2026	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2027	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2028	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2029	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2030	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2031	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2032	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2033	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2034	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2035	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2036	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2037	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2038	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2039	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2040	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00
2041	0	6,1	12	73,20	26718,00	0,00	0,00	R\$ 130,00	R\$ 0,30	3,0	4	0,8	60	R\$ 520,00	R\$ 14,40	R\$ 183.800,00	R\$ 5.256,00

Já a figura 5. Planilha de custos para implantação e operação da estufa solar de secagem mostra as despesas fixas que a metodologia exige para seu funcionamento. Estas despesas são custo com a disposição do material no aterro sanitário e com o transporte do material entre a unidade de tratamento e o aterro sanitário.

Na planilha foram considerados os custos com investimentos para implantação da tecnologia. Os valores referentes ao consumo de energia foram informados apenas em caráter demonstrativo, uma vez que os custos com o consumo de energia elétrica utilizando a potência da bomba de recalque de lodo, com 6,1 kwh e as 12 horas de funcionamento da bomba foram desconsiderados, já que para essa tecnologia o foco é o uso de irradiação solar. Para continuidade de desenvolvimento da planilha também foram apresentadas as outras duas despesas requeridas para disposição adequada do lodo produzido em estufas de secagem.

Os custos totais mensais e anuais com essas despesas foram levantados considerando e correlacionando as informações a seguir:

- Valor cobrado de R\$ 130,00 a cada tonelada para descarte do produto, sendo esse firmado no contrato entre o aterro sanitário e a concessionária para destinação final;
- Valor cobrado de R\$ 0,30 (t/km) com o transporte por caminhão basculante;
- O volume diário de lodo seco retirado da ETE, sendo este de 4 m³;
- O peso do lodo seco 0,8 t;
- A distância de 60 km entre a estação de tratamento e o aterro sanitário;

O volume diário de 4 m³ foi extraído do volume de 12 m³ de lodo úmido, sendo que após permanência do biossólido na estufa por um dia, considerou-se um o deságue de apenas 4 m³ do produto. Para o cálculo do volume de lodo seco foi considerado que o lodo produzido pela estufa solar possui em média 20% de sólidos totais, portanto destes 4 m³ de lodo tem-se 0,8 t de lodo seco.

O valor de R\$ 130,00 cobrado com disposição no aterro sanitário por 1 ton, foi multiplicado pelo volume diário de lodo seco resultado no consumo diário total de R\$ 520,00, este ao final do ano totalizando R\$ 189.800,00. Para encontrar os custos com transporte do lodo utilizando caminhão basculante foram usados o valor de R\$ 0,30 por cada ton/km, multiplicado pelo peso seco de 0,8 m³ e pela distância de 60 km entre a estação de tratamento e o aterro sanitário, sendo o custo com caminhão de R\$ 14,40 por cada viagem, totalizando o valor final anual de R\$ 5.256,00.

O orçamento da estufa foi realizado levando em consideração valores cobrados por empresas do ramo, que fabricam as estufas de acordo com as dimensões desejadas, e respeitando a Norma NBR 16032/2012. Outros elementos complementares a construção e implantação da estufa solar foram orçados por meio do SICRO-TO, cuja última atualização foi em julho de 2020, além de análises de preços em meio digital.

4.1.2 Estimativa de área da estufa

Em função da ausência de dados e informações concretas ligados a geração de biossólidos da ETE Norte, o ponto de partida para definição da área construída da estufa foi a avaliação da eficiência encontrada nos modelos desse tipo de estufa, as quais utilizam a irradiação solar para seu funcionamento, aproveitando o alto índice de insolação da região e facilitando a instalação desse tipo de prática desenvolvida na região sudeste do país. Outro ponto analisado foram os percentuais de remoção de umidade, de redução nos teores de sólidos totais e a redução do volume do lodo relacionados a quantidade de dias necessários para finalização do tratamento por essa metodologia, bem como com a altura da camada de lodo inicial do processo.

No projeto desenvolvido na região sudeste as condições definidas para estimativa da área da estufa foram o teor de secagem (ciclos) estipulado para 36 dias, ocorrendo o revolvimento a cada 3 dias, totalizando um quantitativo de 3 revolvimentos por semana.

A forma de disposição do lodo adotada foi a formação de camada com 10 cm de altura, o tipo de lodo utilizado o digerido, com adição ou não de cal hidratada e os teores de umidade inicial e final, correlacionados com os percentuais de sólidos totais existentes no volume de lodo completam o grupo de fatores contribuintes para execução do projeto.

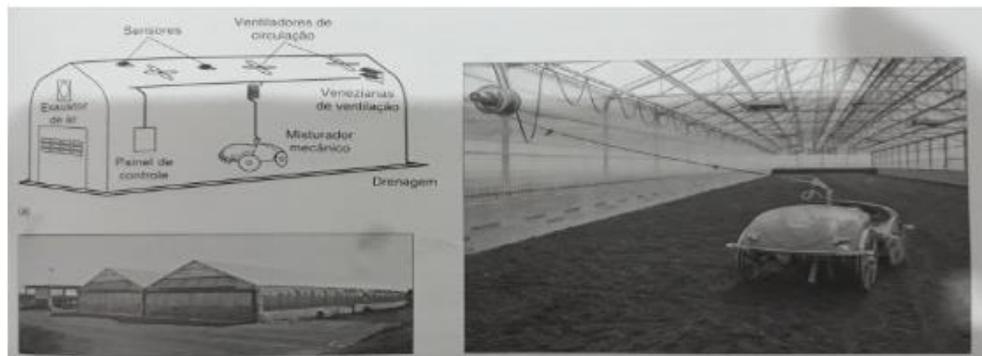
A exemplo direto de estação apresentadas na referência, tem-se a ETE Araçás que envia para a estufa o volume de 157 m³/dia, sendo que nesse quantitativo foi encontrado 18% de ST ligados ao volume de lodo (LIMA, 2010).

Com objetivo de estimar as dimensões para a construção da estufa o mais próximo possível da realidade, tomou-se como base para efeito de cálculo hipotético, a ideia de que o biossólido representa de 1% a 2% do volume de esgoto tratado nas unidades, assim, como o volume de esgoto tratado na ETE Norte é de 220 L/s, foi considerado apenas 1% desse valor, ou seja 2,2 L/s ou 190,08 m³/dia. O volume de 190,08 m³/dia foi comparado com os quatro volumes encaminhados para as estufas das estações de tratamento estudadas no estado do

Espírito Santo, conforme a referência bibliográfica estudada (LIMA, 2010). Dentre os volumes citados na tese de referência, o valor de 157 m³/dia foi o que mais se aproximou do resultado considerado como volume tratado da ETE Norte, no caso 190,08 m³/dia, permitindo a utilização das mesmas dimensões para a construção da estufa sugerida para tal volume.

No estudo as dimensões consideradas para o projeto da maior estação estudada foram 4 m de altura livre, 40,00 m de largura e 270 m de comprimento.

Figura 6. Diagrama esquemático



Fonte: Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos (METCALF&EDDY)

Com base nas dimensões sugeridas para o projeto e no preço cobrado por um fabricante para a construção de uma estufa agrícola de área de 87,50 m², calculou-se um valor aproximado do investimento apenas para construção da parte estrutural da estufa.

Como uma estufa de 87,50 m² custa R\$ 9.186,88, e a área do projeto é de 43.200 m², então o valor de implantação da mesma foi de R\$ 4.535.693,90.

4.1.3 Avaliação da condição atual – Secagem por centrifugação com a condição proposta – Estufa solar de secagem

A busca por meios que facilitem ou mesmo possibilitem o transporte e a destinação final do lodo nas ETEs, leva as empresas do ramo a investirem em tecnologias que tragam tal benefício. Como o desaguamento do lodo tem como principal objetivo a redução de volume, este processo se torna primordial para o alcance da meta almejada.

Para maior fundamentação da proposta de construção da estufa solar de secagem, o estudo foi direcionado para uma nova analogia, dessa vez confrontando a metodologia atual de secagem do lodo existente na ETE Norte (Secagem por centrífuga elétrica) com a metodologia proposta neste trabalho (Estufa solar de secagem).

Devido à ausência de informações reais e mais concretas a respeito do sistema de tratamento da ETE Norte, foi considerado que o mecanismo de secagem de lodo produzido

por ela ocorre por meio de uma centrífuga do tipo decanter. Os dados apresentados foram calculados, baseados em especificações de fabricantes desse tipo de equipamento para secagem de lodo de ETE e novamente na capacidade de tratamento da unidade 220 L/s. Assim, as dimensões consideradas para a centrífuga foram: comprimento total de 3675 mm, largura total de 1580 mm e altura total de 1720 mm.

Para um sistema de tratamento similar ao da ETE Norte, o biossólido gerado em reatores UASB, Reatores de Lodos Ativados (RLAs) é conduzido a tanques, denominados tanques de lodo, estes são construídos no mesmo nível do solo e possuem profundidade de 2 m. Em seguida o lodo é recalado por meio de uma bomba com potência de 7,5 CV ou 6,1 kwh e direcionado para dentro da centrífuga do tipo decanter com 50 CV ou 41 kwh de potência, havendo o acondicionamento do subproduto e preenchimento da área reservada do equipamento para que ocorra o processo de desidratação, no qual são aplicadas forças centrífugas no lodo, promovendo a separação das fases líquidas das sólidas.

Estimando que a vazão de tratamento é 792 m³/h, a produção média de lodo é na faixa de 14 m³/h com teor de sólidos totais de 3 a 5%. No processo de desidratação desses 14 m³/h de lodo são necessárias em média 04h de funcionamento do equipamento, sendo 30 minutos para ser ligado e mais 30 para ser desligado, ao final se obtém um volume de lodo seco de aproximado de 4 m³ com teor médio de 20% de sólidos totais. Após todo o processo a parte líquida evaporada é devolvida ao processo por meio mangotes de alta resistência, onde uma das extremidades é conectado no equipamento e a outra é direcionada para o local de descarte. O material seco obtido é acondicionado em caçambas para resíduos de 3 m³ de capacidade, para posterior descarte em aterro sanitário de outro município localizado a 60 Km de unidade. O descarte deve ser feito por uma empresa especializada no ramo, contratada para retirar as caçambas com os resíduos a cada enchimento, além de transportá-las para o aterro sanitário.

O volume de lodo seco foi dimensionado levando em consideração o volume do lodo úmido 14 m³/h, as horas de funcionamento da centrífuga 04h e os horários de funcionamento do sistema. Das 24h diárias, são retiradas 03:30h referentes ao horário sazonal, período em que o sistema não pode utilizar energia elétrica da concessionária de energia, restando apenas 20:30h para serem trabalhadas todas as necessidades de operação da estação. Dessas 20:30h foram considerados os horários de funcionamento da centrífuga, no caso as 04h para desempenhar todo o processo. Considerando a existência de outras atividades que demandam atenção da operação, foi convencionado que a centrífuga deve funcionar 3 vezes ao dia, a exceção do período que envolve o horário sazonal, este compreendido entre às 17:45h e às

21:05h dos dias úteis da semana, sendo este um intervalo em que os sistemas de elevatórias devem permanecer desligados, de acordo com o contrato entre as concessionárias de energia e de saneamento. Isso com o objetivo de reduzir consumo de energia elétrica no horário considerado do pico, ou seja, de maior consumo nas cidades. Como o lodo seco é acumulado em caçambas com volume de 3 a 5 m³, e a cada funcionamento da centrífuga é produzido um quantitativo de lodo suficiente para encher uma caçamba, então foi considerado que são produzidas 3 caçambas/dia com volume médio de 4 m³ cada, totalizando o volume de 12 m³/dia com o teor médio de 20% de ST. O volume seco do lodo seco foi calculado extraindo 20% do volume seco do lodo, ou seja 20% de 12m³/dia.

No mercado local, o custo com a retirada do material para o aterro sanitário é na faixa de R\$ 130,00/t, multiplicando esse valor por 12 m³/dia, ou seja, pelo volume diário de lodo seco produzido na ETE, tem-se um total de R\$ 1.560,00 ao dia, convertendo esse custo para uma despesa mensal, serão um total de R\$ 46.800,00/mês, que ao final do ano serão R\$ 569.400,00. Os custos com transporte foram calculados levando em consideração os valores tabelados no SICRO/TO, onde o transporte com caminhão basculante com caçamba estanque com capacidade de 14 m³ para rodovias pavimentadas foi determinado em R\$0,30/Ton. Km. Em relação ao consumo de energia foi estimado o valor de R\$ 0,60 kwh para tarifa tributária.

A planilha de custo para implantação e operação dos dois projetos, também auxiliou na obtenção de valores com custos anuais para as três variáveis de comparação entre as metodologias, afim de visualizar qual das duas é mais viável.

Tomando como base os valores cobrados para o fluxo de retiradas e descarte do material em aterro sanitário, com o transporte desse material e com o consumo de energia elétrica necessários para o objetivo fim, estimou-se que esses mesmos custos feitos com o lodo seco oriundo da estufa solar de secagem, fossem bem inferiores aos gastos com a utilização da centrífuga, considerando que somente a cada 36 dias teria-se material suficiente para descarte em aterro sanitário.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elevada produção de lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgoto, que por sua vez leva ao acúmulo desse material nos pátios das concessionárias de saneamento, desencadeia na necessidade primária de se reduzir o volume desse subproduto nas unidades,

bem como na urgência de se tratar o biossólido reduzindo os teores de sólidos fixos, voláteis e de microrganismos presentes no lodo, possibilitando outras alternativas para sua destinação final.

Como o trabalho foi baseado em literatura revisada sobre o assunto, vale ressaltar que diante do cenário exposto anteriormente e das vantagens que o município de Palmas -TO possui, quando analisada as condições climáticas da região a qual se encontra localizada, é que se propõe esse projeto de construção e implantação de um sistema de secagem de lodo por estufa solar.

Com a análise dos dados encontrados na planilha de custos de implantação e operação dos projetos com despesas de energia, retirada do material da ETE e com transporte do produto, pode-se perceber que mesmo existindo reduções significativas na instalação e operação da estufa solar de secagem, principalmente no aspecto de consumo de energia e com as despesas geradas com transporte e destinação final, ainda sim a implantação da tecnologia de estufas solares não é uma alternativa viável para o momento, uma vez que seus custos totais de implantação são superiores ao da tecnologia utilizada atualmente na unidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISSE, M.M. Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

AISSE, M.M.; AMARAL, C.; SOVIERSOSKI, A. Estudo da desidratação do lodo anaeróbio, obtido em reatores tipo RALF, através do uso de leito de secagem. Relatório impresso, ISAM: Curitiba, 8 p., 1998.

BAIRD, C. Química Ambiental. 2^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

RESEARCHGATE, ESTADO-DO-TOCANTINS-BRASIL. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Localizacao-da-area-de-estudo-estado-do-Tocantins-Brasil_fig1_322080906>. Acesso dia 16 de outubro de 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução CONAMA n.º. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n.º. 53, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 09 de novembro de 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução CONAMA n.º. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.º. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n.º. 92, 16 mai. 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 09 de novembro 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução CONAMA n.º. 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-3752--006_103464.html>. Acesso em: 16 de outubro de 2020.

DE LEMOS CHERNICHARO, C. A. Reatores anaeróbios. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais. 2. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2007.

LIMA, M.R.P. Uso de estufa agrícola para secagem e higienização do lodo de esgoto. Escola Politécnica Universidade de São Paulo. São Paulo: UPSP, 2010.

MASCARENHAS, L.C.A.; VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L.; Avaliação do desempenho lagoas de polimento rasas, em série, para pós tratamento de efluentes de reatores UASB. Revista engenharia sanitária ambiental. v. 9 – nº 1, p. 45 – 54, 2004.

MORAES, S. F.; FERREIRA, O. M. Tratamento anaeróbio: avaliação do conjunto reator e filtro biológico – Estudo de caso CEASA/GO. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/TRATAMENTO%20ANAERÓBIO%20-%20AVALIAÇÃO%20DO%20CONJUNTO%20REATOR%20E%20FILTRO%20BIOLÓGICO.PDF>> Acesso em: 16 de novembro 2020.

VON SPERLING, M. Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais. 3. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2005.

ANDREOLI, C. V; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais. 2. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2014.

METCALF&EDDY|AECOM. Tradução: Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos. 5. Ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2016.

ANEXOS

CopySpider Scholar [Apoiar o CopySpider](#) Português [Log](#)

[Exportar relatório](#) [Exportar relatório PDF](#) [Visualizar](#) [Gerador de Referência Bibliográfica \(ABNT, Vancouver\)](#)

TCC II _DIANA Pereira de Medeiros _04.02.2021.docx (04/02/2021):

Documentos candidatos

pnqa.ana.gov.br/Publ... [1,99%]
icmbio.gov.br/cepsul... [1,89%]
rodadas.anp.gov.br/a... [1,89%]
sigh.sp.gov.br/enqu... [1,19%]
sistemasinter.cetesb... [0,98%]
ulbra-to.br/bibliote... [0,77%]
gov.br/mma/pt-br [0,03%]
onlinelibrary.wiley... [0,02%]
sciencedirect.com/to... [0,00%]

Arquivo de entrada: TCC II _DIANA Pereira de Medeiros _04.02.2021.docx (11180 termos)

Arquivo encontrado	Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)	
pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CON...	4487	307	1,99	Visualizar
icmbio.gov.br/cepsul/Images/stories/legi...	5281	306	1,89	Visualizar
rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round9/simi...	5107	303	1,89	Visualizar
sigh.sp.gov.br/enquadramentosocorposda...	1166	146	1,19	Visualizar
sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/normas/11...	1937	128	0,98	Visualizar
ulbra-to.br/biblioteca/digital/uploads/do...	11740	176	0,77	Visualizar
gov.br/mma/pt-br	720	4	0,03	Visualizar
onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/...	614	3	0,02	Visualizar
sciencedirect.com/topics/chemical-engine...	210	0	0,00	Visualizar