unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

MARCELA TERSI PEREIRA

Estudos preliminares para o projeto de reforma de uma miniestação de tratamento de esgoto

Guaratinguetá-SP
2016

MARCELA TERSI PEREIRA

Estudos preliminares para o projeto de reforma de uma miniestação de tratamento de esgoto

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. João Ubiratan de Lima e Silva

Co-Orientadora: Profª Drª Isabel Cristina de Barros Trannin

Guaratinguetá
2016

Tersi Pereira, Marcela
T315e Estudos preliminares para o projeto de reforma de uma mini estação de tratamento de esgoto / Marcela Tersi Pereira – Guaratinguetá, 2017.
109 f.: il.
Bibliografia : f. 103-108

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.
Orientador: Prof. Dr. João Ubiratan de Lima e Silva
Co-Orientadora: Prof.ª Drª Isabel Cristina de Barros Trannin

1. Saneamento. 2. Resíduos orgânicos. 3. Esgotos. 4. Água – Estações de tratamento. I. Título.

CDU 628

Luciana Máximo
Bibliotecária/CRB-8 3595

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

MARCELA TERSI PEREIRA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE **GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL

Prof. Dr. Enos Arneiro Nogueira da Silva

Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. João Ubiratan de Lima e Silva

Orientador/UNESP-FEG

Profª Drª Isabel Cristina de Barros Trannin

Co-Orientadora

Prof. Dr. Celso de Souza Catelani

UNESP-FEG

Dezembro de 2016

DADOS CURRICULARES

MARCELA TERSI PEREIRA

NASCIMENTO	16.09.1994 – SÃO PAULO/SP
FILIAÇÃO	João Batista Pereira Helena Regina Tersi Pereira
2012/2018	Curso de Graduação: Engenharia Civil Universidade Estadual Paulista – "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Guaratinguetá.

Nós continuamos em frente
Abrindo novas portas
Fazendo coisas novas
Porque somos curiosos
e curiosidade nos leva a novos caminhos
(Tradução – Walt Disney)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha família, que me ajudou e me guiou até aqui. Ao meu pai, João Batista Pereira, por sempre me mostrar que devo manter os pés no chão; à minha mãe, Helena Regina Tersi Pereira, por sempre acreditar em mim; e à minha irmã, Renata Tersi Pereira, que sempre quis o meu melhor.

Também gostaria de agradecer àquele que sempre esteve ao meu lado, Carlos Augusto Marcondes dos Santos, por ter me apoiado nos momentos bons e ruins.

Gostaria de agradecer à segunda família que pude encontrar nestes cinco anos em Guaratinguetá, a Bela Espelunca. Foram muitos momentos de amadurecimento e principalmente de aprender a amar cada uma das pessoas que passaram na minha vida, que me ajudaram nos momentos de riso e de lágrimas.

Agradeço ao meu orientador Prof Dr João Ubiratan de Lima e Silva e a minha co-orientadora Profª Drª Isabel Cristina de Barros Trannin, que me acompanharam por este processo e estiveram ao meu lado quando eu precisei. Quero agradecer especialmente à Profª Isabel, por ter me acompanhado nas minhas descobertas profissionais e sempre ter acreditado em mim.

Ao Prof. Dr. Celso Catelani, pela ajuda e apoio quando eu precisei. Ao Prof. Dr. George de Paula Bernardes, pela ajuda com muros de arrimo. Ao Prof Dr. José Luz Silveira, pelas informações e ajuda no projeto.

Ao Teodoro e ao Técnico Flávio, pelo suporte nas análises deste Trabalho de Graduação.

PEREIRA, M.T. **Estudos preliminares para o projeto de reforma de uma MiniEstação de tratamento de esgoto**. 2016. 109 f. Trabalho de Graduação (Graduando em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo realizar estudos preliminares para o projeto de reforma e reativação da mini estação ecoeficiente de tratamento de esgoto e reuso de água – MiniEETERA, da Universidade Estadual Paulista, campus de Guaratinguetá, visando o atendimento às normas construtivas e à legislação vigente. A MiniEETERA foi avaliada para verificar se o projeto implantado atendia em sua totalidade o tratamento proposto, bem como, o estado de conservação de seus componentes e a possível existência de fontes de poluição e inconformidades, visando a proposição de reforma e adequação às normas e legislação, além de melhorias. Após estas avaliações, foi elaborada uma proposta de reforma para a adequação e reativação da MiniEETERA, visando o atendimento às normas NBR 9648/1986, NBR 7229/1993, NBR 13969/1997 e NBR 12209/2011. Verificou-se que alguns componentes da estação não correspondem ao tratamento proposto no projeto. Foram identificadas fontes de poluição e inadequações à tópicos de todas as normas consideradas e observou-se estágio avançado de deterioração dos componentes da estação. Também foi constatado que a MiniEETERA funcionou por um curto período de tempo (2007 a 2010), sem aplicar o reuso de água, conforme projeto. Estes estudos preliminares foram importantes para fundamentar a proposta de reforma e adequação da MiniEETERA, sendo recomendada a interdição desta estação até a execução do projeto de reforma e adequação às normas e legislações brasileiras. Este trabalho foi importante, pois, após adequação, a MiniEETERA poderá ser utilizada em trabalhos científicos. Este trabalho também contribui na proteção ambiental e da saúde pública.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento básico. Resíduos orgânicos. Tratamento de esgoto descentralizado.

PEREIRA, M.T. **Preliminary studies to a mini treatment plant reform project**. 2016. 109 f. Graduate work (Graduate in Civil Engineering) – College of Engeneering of the Campus of Guaratinguetá, State University of São Paulo (UNESP), Guaratinguetá, 2016.

ABSTRACT

This study objective was to realize of preliminary studies to a mini treatment plant reform and reactivation project of the mini ecoefficient wastewater treatment plant – MiniEETERA, of State University of São Paulo (UNESP), campus of Guaratinguetá, to meet the constructive norms and laws applicable. The MiniEETERA was evaluated to verify the attendance of the implemented project to the initial purpose, as well as the conservation state of its components and the possible existence of pollution sources and unconformities, and to propose the reform and adequacy to the norms and laws, besides improvements. After these evaluations, a proposal of reform was elaborated to the adequacy and reactivation of the MiniEETERA, seeking the meeting with the norms, NBR 9648/1986, NBR 7229/1993, NBR 13.969/1997 and NBR 12209/2011. It was verified that some components of the plant did not correspond to the treatment proposed in the project. Sources of pollution and inadequacies to topics of all the norms considered were identified and advanced state of deterioration of the plant components was observed. It was also verified that the MiniEETERA worked for a small period of time (2007 to 2010), without applying the water reuse as it was determined in the Project. These preliminary studies were important to fundament the proposition of reform and adequacy of the MiniEETERA, being recommended the interdiction of this plant until the reform and adequacy of the MiniEETERA to the norms and Brazilian laws happens. This study was important because, after the adequacy, the MiniEETERA can be used in scientific studies. This work also contributes in the environmental and human safety protection.

KEYWORDS: Sanitation. Organic waste. Decentralized wastewater treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Unesp, Campus de Guaratinguetá, com a localização da MiniEETERA.....47

Figura 2 – Representação esquemática dos componentes da MiniETE implantada na Unesp, campus de Guaratinguetá.....59

Figura 3 - Tanque séptico, denominado de sistema de retenção de resíduos por Godoy Júnior (2010), utilizado no pré-tratamento do esgoto. (a) Projeto apresentado (b) Projeto implantado.....60

Figura 4 – Sistema de tratamento por meio de biodigestores anaeróbios de fluxo ascendente, em manto de lodo, UASB, disposto em série.....62

Figura 5 – Pós-tratamento por meio de biodigestor com a função de criar ambiente aeróbio, seguido de um ambiente anóxico, confeccionado em PVC e concreto armado, com volume de tancagem de 9m³.....63

Figura 6 – Anéis do biodigestor no processo de tratamento aeróbio.....64

Figura 7 – Último componente do sistema de lagoas, onde o efluente gerado na MiniETE é direcionado para a captação da SAEG.....65

Figura 8 – Croqui da MiniETE com pontos gerados pelo levantamento altimetrico (a) e distancias medidas com trena (b).....67

Figura 9 – Planta da Unesp, campus de Guaratinguetá, com o trajeto até a MiniETE destacado em vermelho.....71

Figura 10 – Tanque séptico cheio, após seis anos de desativação da MiniETE da Unesp, campus de Guaratinguetá, com fissuras nas bordas.....84

Figura 11 - Acúmulo de água na tampa do tanque séptico observado em dia de chuva.....84

Figura 12 – Terceiro biodigestor anaeróbio, apresentando irregularidades construtivas no dimensionamento e confecção do muro de arrimo, com risco de desabamento do talude e danos aos transitantes. (a) vista lateral, com a visível inclinação do muro de arrimo; (b) vista superior do muro de arrimo e (c) trincas no muro de arrimo, com risco de desabamento.....87

Figura 13 – Geocélula da marca Maccaferri com potencial de uso para manutenção do muro de arrimo do talude.....88

Figura 14 – Avaliação do estado de conservação das válvulas de inspeção e bombeamento do sistema de biodigestores anaeróbios e do biodigestor aeróbio.....89

Figura 15 – Válvula de inspeção e bombeamento do biodigestor aeróbio danificada.....89

Figura 16 – Válvula de inspeção e bombeamento do segundo biodigestor anaeróbio danificada.....89

Figura 17 – Teste de percolação realizado na área da MiniETE da Unesp, campus de Guaratinguetá. (a) trincheira de 30cmx30cmx40cm de profundidade e colocação de 10cm de brita zero; (b) colocação de lâmina d'água de 20cm sobre a camada de pedregulho; (c) cronometragem do tempo de percolação dos 20cm de lâmina d'água.....90

Figura 18 - Caixa de esgoto, com mecanismo de controle de entrada do esgoto para a captação da MiniETE (a) ou para a captação da SAEG (b).....94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de altura da lâmina d'água no primeiro biodigestor anaeróbio e volume acima do nível d'água calculado.....49

Tabela 2 – Cálculos realizados da diferença de volumes entre as medições, vazão entre as medições e vazão média em m^3s^{-1} e $mm^3\ s^{-1}$ do primeiro biodigestor anaeróbio.....50

Tabela 3 – Diâmetros e altura dos tubos de PVC utilizados nos cálculos no primeiro biodigestor anaeróbio.....50

Tabela 4 – Dados metereológicos nos dias 20, 21 e 22 de junho.....51

Tabela 5 – Pressão de saturação do vapor d'água em função da temperatura.....52

Tabela 6 – Dados metereológicos convertidos e cálculo da evaporação no primeiro biodigestor anaeróbio, de acordo com metodologia de Rohwer (1931).....52

Tabela 7 – Evaporação calculada no período para o primeiro biodigestor anaeróbio.....53

Tabela 8 – Dados de altura da lâmina d'água no segundo biodigestor anaeróbio e volume acima do nível d'água calculado.....54

Tabela 9 – Cálculos realizados da diferença de volumes entre as medições, vazão entre as medições e vazão média em m^3s^{-1} e $mm^3\ s^{-1}$ do segundo biodigestor anaeróbio e vazamento da válvula no segundo biodigestor anaeróbio.....54

Tabela 10 – Diâmetros e altura dos tubos de PVC utilizados nos cálculos no segundo biodigestor anaeróbio.....54

Tabela 11 – Dados metereológicos nos dias sete e oito de julho.....55

Tabela 12 – Dados metereológicos convertidos e cálculo da evaporação no segundo e terceiro biodigestor anaeróbio, de acordo com metodologia de Rohwer (1931).....55

Tabela 13 – Evaporação calculada no período para o segundo biodigestor anaeróbio.....56

Tabela 14 – Dados de altura da lâmina d'água no terceiro biodigestor anaeróbio e volume acima do nível d'água calculado.....56

Tabela 15 – Cálculos realizados da diferença de volumes entre as medições, vazão entre as medições e vazão média em m^3s^{-1} e $mm^3\ s^{-1}$ do terceiro biodigestor anaeróbio.....57

Tabela 16 – Diâmetros e altura dos tubos de PVC utilizados nos cálculos no terceiro biodigestor anaeróbio.....57

Tabela 17 – Evaporação calculada no período para o terceiro biodigestor anaeróbio.....57

Tabela 18 – Dados obtidos no levantamento altimétrico em campo.....66

Tabela 19 – Perfil geológico da área de captação da água da Unesp, campus de Guaratinguetá.....69

Tabela 20 – Tabela 20 – População no bloco de salas de aula em abril de 2016.....70

Tabela 21 – População da Unesp, campus de Guaratinguetá em abril de 2016.....70
Tabela 22 – Evaporação detectada no primeiro biodigestor anaeróbio quando realizado o controle de vazão.....85
Tabela 23 – Evaporação detectada no segundo biodigestor anaeróbio quando realizado o controle de vazão.....85
Tabela 24 – Evaporação detectada no terceiro biodigestor anaeróbio quando realizado o controle de vazão.....86

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 15
2.1. OBJETIVO GERAL 17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 18
3.1. PANORAMA DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL 18
3.2. POLUENTES DO ESGOTO 18
3.3. COMPONENTES DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO 25
3.3.1. **Tratamento preliminar** 26
3.3.2. **Tratamento primário** 27
3.3.3. **Tratamento secundário** 31
3.3.4. **Tratamento terciário** 36
3.4. TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO 40
3.5. LEGISLAÇÃO E NORMAS DA ABNT 42
3.6. REUSO DE ÁGUA 44
4. MATERIAL E MÉTODOS 46
4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 46
4.2. METODOLOGIA PARA ADEQUAÇÃO DA MINIEETERA 48
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 59
5.1. AVALIAÇÃO DO PROJETO DA MINIEETERA 59
5.2. CONFORMIDADE DO PROJETO E NORMATIZAÇÃO EXIGIDA 65
5.2.1. NBR 9648/1986 65
5.2.2. NBR 7229/1993 75
5.2.3. NBR 13969/1997 78
5.2.4. NBR 12209/2011 81
5.3. ESTUDO DE DETERIORAÇÃO 83
5.4. ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO 90
5.5. ESTUDO DE FONTES POLUIDORAS OU DE VETORES 93
5.6. REUSO DE ÁGUA 98
5.7. RECOMEDAÇÕES 101
6. CONCLUSÕES 102
REFERÊNCIAS 103

LISTA DE SIGLAS

PVC: Policloreto de Vinila

MiniETE: Mini Estação de Tratamento de Esgoto

MiniEETERA: Mini Estação Ecoeficiente de Tratamento de Esgoto e Reuso de Água

ANA: Agência Nacional das Águas

SAEG: Companhia de Serviços Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá

ABNT NBR: Associação Brasileira de Normas e Técnicas Norma Brasileira

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

IBAMA: Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

STS: Seção Técnica de Saúde

1. INTRODUÇÃO

O tratamento de esgoto é necessário para o uso de água proveniente de rios e córregos para beber água, pescar e nadar (USEPA, 2004).

Na primeira metade do século 20, a poluição nos cursos d'água resultou na ocorrência frequente de baixo teor de oxigênio dissolvido, matança de peixes, proliferação de algas e contaminação por bactérias. Desde então, o crescimento industrial e da população aumentaram as demandas nos recursos naturais, alterando a situação dramaticamente. O progresso em reduzir a poluição mal alcançou o crescimento da população, as mudanças nos processos industriais, os desenvolvimentos tecnológicos, as mudanças no uso do solo, as inovações nos negócios, e muitos outros fatores (USEPA, 2004).

Questões sobre a poluição da água agora dominam a preocupação do público a respeito da qualidade da água e da manutenção de ecossistemas saudáveis (USEPA, 2004). Segundo estudos realizados pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 2014), a cada dólar investido em água e esgoto, economizam-se 4,3 dólares em saúde mundial.

O tratamento descentralizado de esgoto é uma alternativa importante, pois gera oportunidade de reuso do efluente tratado em áreas próximas ao seu tratamento, aumentando a oferta hídrica na região, diminuindo os custos relativos a transporte de esgoto e diminuindo as chances de degradação ambiental. Além disso, o estudo de reuso de água em universidades pode ajudar a estabelecer diretrizes para seu emprego em território nacional, podendo complementar a legislação e gestão específica para este tema.

A Universidade Estadual Paulista – Unesp, é um importante núcleo científico no Brasil. Atualmente, o campus de Guaratinguetá tem seu esgoto recolhido, tratado e disposto pela Companhia de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá (SAEG). No entanto, em 2010, Godoy Júnior projetou e construiu uma Mini Estação Ecoeficiente de Tratamento de Esgoto e Reuso de Águas – MiniEETERA, com o intuito de estudar o biogás gerado por ela. Esta estação operou por 3 anos (2007 a 2010) e coletava somente o esgoto gerado pelo Bloco de sala de aulas (bloco cinco), pela administração e cantina.

A qualidade da água deve respeitar os padrões estabelecidos para não trazer perigo à sociedade ou meio ambiente. O tratamento de esgoto interfere diretamente na qualidade dos recursos hídricos. Existe vasta bibliografia a respeito do tratamento de esgotos no Brasil e no mundo, além de diretrizes, normas e legislações específicas.

Este trabalho é importante para a Unesp, campus de Guaratinguetá, pois estuda a reativação de MiniEETERA para que esta seja utilizada em trabalhos científicos de professores de diversos departamentos dentro desta unidade. Além disso, os estudos preliminares para o projeto de adequação da miniestação, buscando o atendimento das normas e da legislação vigente no Brasil, pode contribuir com a proteção ambiental e a saúde pública e dos usuários do campus. Por se tratar de um projeto piloto visando o tratamento de esgoto na unidade, a manutenção deste, pode servir de primeiro passo para que todo o esgoto produzido no campus seja tratado nesta e em outras estações a serem construídas no campus. Estes estudos preliminares se justificam pelo fato desta MiniEETERA não estar em funcionamento há seis anos e bastante depreciada e, além disso, apresentar problemas relacionados à adequação às normas construtivas e à legislação.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Realizar estudos preliminares para o projeto de reforma e reativação da MiniEETERA da Universidade Estadual Paulista, campus de Guaratinguetá, visando o atendimento às normas construtivas e à legislação vigente.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar revisão bibliográfica sobre o panorama atual do Saneamento Básico no Brasil, sobre as normas construtivas e legislação vigente, sobre os componentes de uma estação de tratamento de esgoto e sobre reuso de água;
- Avaliar em campo o projeto implantado na Unesp, campus de Guaratinguetá, o estado de conservação dos componentes da MiniEETERA e identificar possíveis fontes de poluição;
- Avaliar as instalações da MiniEETERA e identificar as inconformidades do projeto implantado para a proposição de reforma e adequação às normas e legislação vigente;
- Propor melhorias para a MiniEETERA, que beneficiem os usuários do campus.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. PANORAMA DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

O Brasil ocupava, até o ano de 2011, a 112ª posição em um ranking de 200 países, no setor de saneamento básico, segundo o Instituto Trata Brasil (2014) e o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (2014). Além disso, a pontuação do Brasil no Índice de Desenvolvimento do Saneamento (IDS) foi de 0,581 em 2011, pontuação inferior a de alguns países do Norte da África e do Oriente Médio.

Em 2011, 61,52% do volume de esgoto gerado nos 100 maiores municípios brasileiros não recebeu tratamento adequado – volume correspondente a 3500 piscinas olímpicas (Instituto Trata Brasil, 2014).

Apesar da situação precária do Brasil, existem iniciativas que procuram incentivar a ampliação do tratamento de esgoto no país. A Agência Nacional de Águas (ANA), por meio da resolução nº 601, de 25 de maio de 2015, ofereceu recursos para empreendimentos que visassem à ampliação do tratamento de esgoto no Brasil, vinculados ao programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (Prodes) – que incentiva a implantação ou ampliação de ETEs por empreendimentos destinados ao tratamento de esgotos com capacidade inicial de tratamento de no mínimo 270 kg dia^{-1} de DBO (cujos recursos para implantação da estação não originem da União) para reduzir os níveis de poluição em bacias hidrográficas, principalmente nas bacias do São Francisco, Paraíba do Sul, Rio Doce, Paranaíba e Piranhas-Açu. Além de considerar a capacidade inicial de tratamento, o Prodes também considera a situação dos municípios em relação à qualidade da água, conforme a portaria ANA nº 62/2013 (na categoria de estado crítico estão 137 cidades de 10 estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro e São Paulo).

A implantação de estações de tratamento de esgoto (ETEs) é importante para que se tratem satisfatoriamente os esgotos gerados e cumpra-se a legislação vigente (AZZOLINO NETO, 2015).

3.2. POLUENTES DO ESGOTO

Os poluentes do esgoto podem ser, entre outros, a matéria orgânica, que pode ser medida por parâmetros como a demanda bioquímica de oxigênio; materiais solúveis ou suspensos, também avaliados por parâmetros como a turbidez e a cor; elementos químicos inorgânicos e orgânicos sintéticos; temperatura de efluente incompatível com corpos d' água; metais óleos e graxas; cloretos e íon sulfeto.

Algumas substâncias poluentes presentes nos esgotos demandam o oxigênio dissolvido (OD) na água. O OD é um elemento chave na qualidade da água que é necessário para manter a vida aquática. Existe uma demanda na disponibilidade natural de OD por muitos poluentes do esgoto, denominada de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), e este parâmetro é usado para avaliar o nível de tratamento de esgoto direcionado a poluentes orgânicos ou amônia, que são os elementos de maior demanda de oxigênio. Substâncias que demandam oxigênio podem ter origem no esgoto doméstico, em resíduos industriais e agrícolas, e de origem vegetal e animal, como no processamento de alimentos, em fábricas de papel, produção de couro, e outros processos de manufatura. Estas substâncias são geralmente transformadas em outros elementos químicos por bactérias (USEPA, 2004).

A desinfecção do esgoto e a cloração da água potável diminuiu a ocorrência de doenças de transmissão hídrica, como a febre tifoide, cólera, e desinteria, que continuam sendo problemas em países em desenvolvimento. Micro-organismos infecciosos ou patógenos podem ser carregados para os mananciais superficiais ou subterrâneos a partir do esgoto de cidades e instituições, por alguns tipos de resíduos industriais, ou pela contaminação por escoamento da água da chuva sobre resíduos de animais domésticos ou selvagens. Os seres humanos podem entrar em contato com esses patógenos ao beber água contaminada, por atividades recreativas ou outras atividades de contato. Técnicas de desinfecção modernas reduzem drasticamente o risco de propagação de doenças de contaminação pela água (USEPA, 2004).

Os micro-organismos típicos encontrados em águas naturais e no esgoto são bactérias, fungos, protozoários, rotíferos, algas, helmintos e vírus (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998). Os organismos patogênicos encontrados no esgoto podem ter sido descartados por seres humanos infectados por doenças ou portadores de doenças particulares. Os principais organismos causadores de doença no esgoto são as bactérias, os parasitas (protozoários e helmintos) e vírus. Organismos patogênicos causados por bactérias tipicamente causam doenças do trato gastrointestinal, como febre tifoide e paratifoide, disenteria, diarreia, e cólera (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

Nutrientes, como carbono, nitrogênio e fósforo são essenciais para os organismos vivos e são os principais elementos presentes na água. Quantidades grandes destes nutrientes estão presentes no esgoto, em certos resíduos industriais, e pela drenagem de águas expostas a fertilizantes. O tratamento secundário biológico convencional não remove fósforo e nitrogênio em nenhuma extensão – ele na verdade, converte a forma orgânica destes nutrientes em sua forma mineral, que é mais facilmente aproveitada por plantas. Quando um excesso destes

nutrientes superestimula o crescimento de plantas na água, o resultado causa condições desagradáveis, interfere no processo de tratamento da água para obter água potável, e causa sabor e odor desagradável. O depósito de grandes quantidades de nutrientes, principalmente fósforo e ocasionalmente nitrogênio, cria o cenário de riqueza de nutrientes que resulta no crescimento excessivo de algas, que bloqueia a luz solar e prejudica plantas e animais aquáticos com a redução do oxigênio dissolvido na água à noite. O despejo de nutrientes em quantidades que excedem a habilidade do corpo d'água afetado de assimilá-los resulta em uma condição chamada eutrofização (USEPA, 2004).

O nitrogênio está presente em efluentes nas formas amoniacal, orgânica, nitrito e nitrato. Em efluentes domésticos, o nitrogênio está presente principalmente como nitrogênio amoniacal (em torno de 60%) e nitrogênio orgânico (em torno de 40%). Nitrito e nitrato ocorrem em pequenas quantidades, geralmente, menos de 1% do nitrogênio total, uma vez que o esgoto doméstico não apresenta quantidade de oxigênio dissolvido suficiente à ação das bactérias nitrificantes (COUTO e NAVAL, 2006). O nitrogênio presente em efluentes domésticos provem da atividade humana. O material fecal contribui com nitrogênio orgânico através das proteínas, que sofrem ação decompositora bacteriana, com consequente liberação de nitrogênio amoniacal. O valor referente ao nitrogênio total considera a composição dos teores de amônia, nitritos, nitratos e nitrogênio orgânico (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

O nitrogênio na forma de nitrito é relativamente instável e facilmente oxidado para a forma de nitrato, e mesmo presente em baixas concentrações, o estudo dele é importante por se tratar de substância tóxica para a maioria dos peixes e espécies aquáticas. O nitrito presente no efluente é oxidado pelo cloro, e pode aumentar o custo da cloração. Já o nitrato é controlado, pois pode ter efeito sério e fatal em crianças – no estômago de crianças pequenas, o nitrato pode ser reduzido a nitrito novamente, que pode se ligar à hemoglobina e reduzir a transferência de oxigênio para as células (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

O nitrogênio, assim como o fósforo, é conhecido como nutriente ou bioestimulante. Porque o nitrogênio é peça principal na síntese de proteína, os dados de nitrogênio são utilizados para avaliar a tratabilidade por meio de processos biológicos. No caso da falta deste nutriente, é necessário a adição deste, no esgoto a ser tratado (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

O fósforo também é essencial para o crescimento de algas e outros organismos biológicos. Esgotos municipais, por exemplo, podem ter uma concentração de fósforo de 4 a

12 mg L^{-1}. As formas de fósforo que podem ser encontradas em soluções aquosas são o ortofosfato, o polifosfato e o fósforo orgânico (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

A medida do valor de pH é um meio de expressar a concentração do íon hidrogênio, pois trata-se do logaritmo negativo da concentração do íon hidrogênio. O pH no qual a existência de quase toda a vida biológica é possível se encontra na faixa entre 5 e 9, e por isto, esgotos que se encontram fora desta faixa são dificilmente tratados biologicamente. Se o pH do efluente não for corrigido antes da descarga no corpo receptor, o pH do corpo d'água pode ser alterado. Além disso, o pH também interfere nas reações de nitrificação e desnitrificação (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

A avaliação do Carbono Orgânico Total (COT) é realizada de maneira instrumental em uma amostra de água. A metodologia deste teste utiliza calor e oxigênio, radiação ultravioleta, oxidantes químicos, ou alguma combinação destes métodos para converter carbono orgânico e dióxido de carbono que é medido por um analisador de infravermelho ou por outros meios. No esgoto, este teste pode ser utilizado para medir seu potencial poluidor e, algumas vezes, é possível relacionar este teste com a DBO (recomendado, pois este teste demora de 5 a 10 minutos apenas para ser realizado) (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

O teste da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é um dos mais comuns para o tratamento do esgoto. Se oxigênio suficiente é fornecido, a decomposição biológica aeróbia da matéria orgânica acontece até que todo o resíduo seja consumido. Primeiro, uma porção do resíduo é oxidado para obter energia para a célula e, simultaneamente, parte do resíduo é convertido tecido celular novo usando parte da energia liberada durante a oxidação. A partir deste momento, as células novas começam um processo chamado respiração endógena. Estas três reações consomem oxigênio e, por isto, um parâmetro a ser conferido para checar a eficiência do tratamento é a taxa de DBO (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998). No princípio da decomposição do esgoto, a taxa de DBO é alta, e vai decrescendo até atingir seu valor mínimo quando a estabilização se completa. A determinação deste parâmetro é importante para indicar o teor de matéria orgânica biodegradável (AZZOLINO NETO, 2015).

A medida de gases dissolvidos, como a amônia, dióxido de carbono, sulfato de hidrogênio, metano e oxigênio são realizadas para se manter a operação da estação de tratamento de esgoto. As medidas de oxigênio e amônia dissolvidos monitoram o controle do processo de tratamento biológico aeróbio. A presença do sulfato de hidrogênio é determinada por ser um gás com mau odor e tóxico, além de corroer o encanamento de concreto. As

medidas do metano, do dióxido de carbono e da amônia são usados na operação de reatores anaeróbios (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

Existe também uma grande variedade de elementos químicos inorgânicos e químicos orgânicos sintéticos presente nos esgotos. Exemplos incluem detergentes, materiais de limpeza, metais pesados, fármacos, pesticidas orgânicos sintéticos, herbicidas, químicos industriais e resíduos de suas manufaturas. Muitas dessas substâncias são tóxicas para a vida aquática e muitos são perigosos para humanos. Alguns são conhecidos por ser altamente venenosos em pequenas concentrações, e outros podem causar problemas de sabor e odor, ou não ser eficientemente removidos por métodos de tratamento convencionais (USEPA, 2004).

O íon sulfato ocorre naturalmente na maioria dos reservatórios de água e está presente também no esgoto. O enxofre é necessário na síntese de proteínas e é liberado em sua degradação. A reação que ocorre no esgoto produz H_2S, que pode ser oxidado biologicamente para ácido sulfúrico, que é corrosivo para encanamento de concreto usualmente empregado no transporte do esgoto, este efeito corrosivo pode afetar seriamente a integridade do encanamento. Os sulfatos, quando reduzidos a sulfitos, podem atrapalhar também os processos biológicos, quando sua concentração exceder 200 mg L^{-1}. Felizmente, a ocorrência de concentrações superiores a 200 mg L^{-1} são raras (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

Todos os organismos vivos requerem uma variedade de quantidades de elementos metálicos, como o ferro, o cromo, o cobre, o zinco e o cobalto, para um crescimento adequado, entretanto, a alta concentração de metais pode ser tóxica. Por este motivo, as concentrações de diferentes metais devem ser determinadas para que o efluente possa ser usado na irrigação ou na percolação no solo. Para verificar a possibilidade do uso do efluente tratado em atividades agrícolas, é importante que sejam determinados o cálcio, o magnésio e o sódio, para a determinação da taxa de absorção do sódio, assim como a determinação da concentração dos metais arsênio, cádmio, cobre, chumbo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio, e zinco (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

A concentração de cloretos é parâmetro importante quando se trata de esgoto em respeito às aplicações no reuso do efluente tratado. Cloretos encontrados na água em estado natural são resultado da lixiviação de rochas e solo que contém tais componentes; em áreas costais, a presença de cloretos pode acontecer por intrusão de água salgada nos corpos d'água. O esgoto doméstico, industrial e os resíduos agrícolas podem ser fontes potenciais de cloretos. No esgoto, o cloreto tem um crescimento diário, por exemplo, o excreta humano contém em média 6 g de cloretos por pessoa por dia. Em áreas nas quais a dureza da água é alta, a adição de produtos que diminuem este fator também pode aumentar a concentração de cloretos. Os

métodos de tratamento convencionais não removem cloretos, concentrações mais altas que as normais em corpos d'água podem ser indicador de despejo de efluente (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

O termo óleos e graxas, geralmente, inclui as gorduras, os óleos, as ceras e outros constituintes relacionados achados no esgoto. A medição deste parâmetro se dá com a extração da amostra do resíduo com triclorotrifluoretano. Por causa das propriedades dos óleos e graxas, a sua presença no esgoto pode provocar muitos problemas em tanques sépticos, sistemas de coleta de esgoto, e no tratamento do esgoto. Óleos e graxas, quando em contato com filtros de areia, se acumulam no filtro e limitam a transferência de oxigênio, podem gerar um comprometimento do filtro. Se óleos e graxas não são removidos no tratamento de esgoto, estes chegam aos corpos d'água, interferindo na vida biológica de águas superficiais, e criando filtros que interferem na transmissão da luz (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

Os constituintes do esgoto podem ser físicos, químicos e biológicos. O esgoto contém uma variedade de material sólido, variando de pedaços de farrapos à matéria coloidal. Na caracterização do esgoto, materiais grosseiros são removidos antes de a amostra ser analisada quanto ao material sólido. Desta maneira, denominam-se sólidos totais a parcela que permanece na amostra após esta ter sido evaporada e secada a 103-105 graus Celsius. De maneira similar, podemos denominar os sólidos suspensos, com a diferença que estes foram filtrados previamente e secos em temperatura de 180ºC. Sólidos totais suspensos são os que passaram pelo filtro (secos em temperatura de 103-105ºC), e já os sólidos dissolvidos se tratam dos que não ficaram retidos (secos em temperatura de 180ºC). O termo "sólidos totais voláteis" se refere aos sólidos que podem ser volatizados e queimados quando os sólidos totais são inflamados a 550^{o}C. Ao resíduo destes processos, chamamos sólidos totais fixos. (STANDARD METHODS, 2012).

A turbidez é a medida das propriedades de dispersar luz da água e é outro teste utilizado para indicar a qualidade do efluente tratado, em relação à matéria coloidal e suspensa. A medida da turbidez é feita com a comparação da intensidade da luz dispersada pela amostra com a luz dispersada por uma amostra de referência (STANDARD METHODS, 2012). O princípio é o de que a matéria coloidal dispersa ou absorve a luz, impedindo sua transmissão (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

A cor do esgoto é causada por sólidos suspensos, material coloidal, e substâncias dissolvidas. A cor causada por sólidos suspensos é conhecida como cor aparente, enquanto que a causada por material coloidal e substâncias dissolvidas é conhecida por cor verdadeira

(desta maneira, ela é obtida pela filtragem da amostra) (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

A condutividade elétrica da água é uma medida da habilidade de uma solução conduzir corrente elétrica. Como a corrente é transportada por íons em uma solução, sua concentração afeta este parâmetro. Desta maneira, este é um indicativo indireto da concentração dos sólidos totais dissolvidos. A condutividade do efluente também é um parâmetro muito importante para se determinar a adequabilidade deste para a irrigação, pois indica a salinidade deste após o tratamento (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

Outro parâmetro importante é a determinação do odor, pois o público se tornou mais preocupado com a operação adequada de estações de tratamento de esgoto. O odor de esgoto recém-gerado não é ofensivo, mas uma variedade de componentes malcheirosos é liberada quando a decomposição do esgoto se dá de maneira anaeróbia (sendo o principal componente o sulfato de hidrogênio). Odores podem ser medidos por métodos sensoriais e instrumentais. Os métodos sensoriais pelo sistema olfativo humano podem providenciar informação significativa mesmo em níveis de detecção muito baixos, como resultado, este método é usualmente utilizado em plantas de tratamento (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

De acordo com a Resolução Conama 430/2011, a temperatura do efluente deve ser inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura. Em algumas áreas, água usada para resfriamento em plantas de energia e indústrias é descartada em canais em temperaturas elevadas. Até mesmo o descarte de efluentes de estações de tratamento de esgoto ou água da chuva afetados pelo calor do verão pode acontecer em temperaturas acima da temperatura do corpo receptor, e elevar a temperatura do canal. Descargas não verificadas de efluentes com temperatura elevada podem alterar seriamente a ecologia de um lago, canal o estuário (USEPA, 2004; CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

A medida da temperatura do esgoto também é importante porque a maioria dos sistemas de tratamento de esgoto incluem processos biológicos que dependem da temperatura do meio. A temperatura do esgoto pode variar em relação às estações do ano, além da localidade geográfica. Este parâmetro afeta as reações químicas, as taxas de reação e a vida aquática, temperaturas ótimas para a atividade bacteriana variam de 25 a 35 graus Celsius, e a digestão aeróbica e nitrificação param quando a temperatura chega a 50 graus Celsius (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

De acordo com Azzolino Neto (2015), o esgoto pode ser sanitário ou industrial, sendo o primeiro constituído, principalmente, de despejos domésticos, podendo conter uma parcela

de águas pluviais e, eventualmente, parcela não significativa de despejos industriais. Já o segundo provém da utilização da água para qualquer fim industrial e é extremamente diverso devido à variedade de matérias primas e processos produtivos, sendo o tratamento deste especificado pelas características de uso de cada indústria. O esgoto sanitário causa poluição orgânica e bacteriológica e o industrial geralmente produz a poluição química (PESTANA e GANGHIS, 2008). Outra classificação possível sobre os sistemas de esgotamento, de acordo com a NBR 9648/1986, é a de esgoto sanitário (despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária), esgoto doméstico (despejo liquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas) e esgoto industrial (despejo líquido resultante dos processos industriais respeitados os padrões de lançamento estabelecidos). Segundo o IBAMA (2009), os sistemas podem ser de esgotamento unitário ou combinado (no qual o esgoto, as águas de infiltração e as águas pluviais se encontram em um único sistema), de separador parcial (no qual parcelas de águas pluviais – provenientes de telhados e pátios dos domicílios – encontram-se no sistema junto ao esgoto e as águas de infiltração), e de separador absoluto (no qual o esgoto e as águas de infiltração estão em sistema independente); sendo o último utilizado geralmente no Brasil, por despender menor custo, além de empregar tubos mais baratos, oferecer mais flexibilidade para execução por etapas e reduzir o custo do afastamento das águas pluviais.

O volume de esgoto a ser tratado em um sistema é função da população e da indústria local durante um período de 20 a 30 anos, e o volume de esgoto gerado anualmente deve ser controlado pelas vazões obtidas nos medidores instalados em pontos do sistema (PESTANA e GANGHIS, 2008).

3.3. COMPONENTES DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Segundo a norma brasileira NBR 12209/1992, a estação de tratamento de esgoto (ETE) é o conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios e sistemas de utilidade, que tem por fim reduzir as cargas poluidoras presentes no esgoto sanitário e condicionar a matéria residual proveniente do tratamento.

As ETEs são dimensionadas e construídas para captar esgotos domésticos, industriais e comerciais (USEPA, 2004). O tratamento do esgoto é um processo de múltiplos estágios dimensionado com a finalidade de restaurar a qualidade da água residual antes de ela ser reinserida em corpos d'água como canais, rios ou lagos. O objetivo é de reduzir ou remover totalmente a matéria orgânica, sólidos, nutrientes, organismos causadores de doença e outros poluentes no esgoto (WUJEK e DAGOSTINO, 2010).

O tratamento de esgoto adequado, junto com o abastecimento de água limpa tem se tornado uma grande questão (USEPA, 2004).

Em uma ETE, podem existir muitas unidades com diversos processos de tratamento, sendo possível dividi-los em quatro níveis: preliminar, primário, secundário e terciário (WUJEK e DAGOSTINO, 2010; DE OLIVEIRA, 2004; USEPA, 2004).

O nível empregado no tratamento de esgoto depende da análise das condições locais. Muitos processos de tratamento são conhecidos e cada um deles se diferencia por suas vantagens e desvantagens quanto à área necessária para sua implantação, sua eficiência no tratamento, a utilização ou não de equipamentos eletromecânicos e o consequente consumo de energia, e a necessidade ou não de mão de obra especializada (NUVOLARI *et al.*, 2003). A seguir são descritos os quatro níveis de tratamento de esgoto realizados nas ETEs.

3.3.1. **Tratamento preliminar**

O tratamento preliminar é uma etapa onde os sólidos grosseiros são retirados para que haja proteção de equipamentos como bombas (para que não sejam desgastadas), para que não ocorra entupimento de canos e para que exista também a proteção dos corpos receptores. Ele é planejado de maneira a não permitir a entrada de objetos estranhos no sistema, como areia, cascalho, restos de planta, pequenos animais, partículas grandes de alimentos, pedaços de tecido, brinquedos, canecas e garrafas, pedaços de papel, de plástico, de madeira, de algodão, absorventes higiênicos, fraldas descartáveis, cabelo e até fetos humanos abortados; prevenindo a abrasão nos equipamentos e tubulações causada principalmente pela areia (WUJEK e DAGOSTINO, 2010; DE OLIVEIRA, 2004; USEPA, 2004; NUVOLARI *et al.*, 2003; BNDES, 1997). Os resíduos coletados são geralmente destinados a aterros sanitários (WUJEK e DAGOSTINO, 2010).

Nesta etapa, são utilizadas unidades como grades, peneiras, trituradores, desaneradores e controladores de vazão, sendo mais comuns as grades, os desaneradores e os controladores de vazão (WUJEK e DAGOSTINO, 2010; DE OLIVEIRA, 2004; USEPA, 2004; NUVOLARI *et al.*, 2003), descritos a seguir. Também são utilizados tanques de flutuação para a retirada de óleos e graxas em caso de esgoto industrial, com alto teor dessas substâncias (BNDES, 1997).

Grades: nesta unidade, são removidos sólidos grosseiros com diâmetro maior que a dimensão dos furos da tela (que ficam retidos) (SABESP), quanto ao espaçamento entre as barras, as grades podem ser classificadas em grosseiras (espaçamento entre 5 e 10 cm), médias (entre 2 a 4 cm) e finas (entre 1 e 2 cm) (SABESP; NUVOLARI *et al.*, 2003). Pode haver ou não a necessidade de mais de uma grade, sendo que, no caso de mais de uma, estas são intercaladas

para a remoção dos materiais citados (NUVOLARI *et al.*, 2003). A inclinação das grades em direção ao fluxo permite que os resíduos sejam retidos na superfície superior do escoamento e o acesso para limpeza manual ou mecânica (USEPA, 2004).

Peneira Rotativa: as peneiras podem substituir o sistema de gradeamento ou decantadores primários dependendo do tamanho das partículas e da natureza dos sólidos a serem retidos, e elas tem por finalidade reter sólidos de granulometria superior aos que seriam retidos pelo furo da tela. O funcionamento das peneiras rotativas ocorre de maneira que o fluxo atravessa o cilindro de gradeamento em movimento, de dentro para fora e os sólidos são retidos pela resultante de perda de carga na tela e removidos continuamente para serem recolhidos em caçambas (SABESP).

Caixa de areia: a caixa de areia ou desarenador remove a areia presente no esgoto, retendo partículas com diâmetro relativo maiores que 2mm. Normalmente estas unidades precedem o bombeamento, principalmente no caso de bombas centrífugas (NUVOLARI *et al.*, 2003). A remoção da areia é muito importante, principalmente em sistemas combinados, onde há mistura do esgoto com água pluvial. Grandes quantidades de areia entrando num sistema de tratamento podem causar sérios problemas operacionais, tais como, desgaste excessivo de bombas e outros equipamentos, entupimento de dispositivos de aeração ou diminuição da capacidade de tanques necessários para o tratamento (USEPA, 2004). O mecanismo de remoção da areia se dá pela sedimentação (SABESP). Geralmente, após as caixas de areia, instalam-se medidores de vazão como os do tipo vertedouro ou calhas Parshall (NUVOLARI *et al.*, 2003).

3.3.2. **Tratamento primário**

O tratamento primário tem por objetivo a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis ou flotáveis (WUJEK e DAGOSTINO, 2010; DE OLIVEIRA, 2004; USEPA, 2004; BNDES, 1997).

Nesta etapa o esgoto ainda contém material orgânico dissolvido e constituintes inorgânicos junto com sólidos suspensos, que podem ser removidos por processos como a sedimentação ou decantação por gravidade, a coagulação química ou a filtração (USEPA, 2004). No caso da decantação ou sedimentação, o esgoto é mantido em baixa velocidade por certo tempo de retenção, permitindo às partículas sólidas de maior densidade sedimentarem e à gordura, ou escuma, flutuar para o topo (WUJEK e DAGOSTINO, 2010), poluentes dissolvidos ou muito finos para permanecer suspensos não são removidos eficientemente por este tipo de tratamento (USEPA, 2004). Os principais componentes do tratamento primário estão descritos a seguir.

Decantadores Primários: são geralmente empregados em estações de tratamento de esgoto de grande porte (DE OLIVEIRA, 2004) e podem ser circulares ou retangulares (SABESP). Quando o esgoto entra nos tanques de sedimentação, ele diminui sua velocidade, e os sólidos suspensos gradualmente sedimentam na base. Esta massa com o material sedimentado (composta significativamente pela matéria orgânica que estava em suspensão) é chamada de lodo primário, que pode ser enviado diretamente para a digestão em adensadores (SABESP, 2016; USEPA, 2004; BNDES, 1997) e os materiais flutuantes de menor densidade junto com as graxas e óleos são removidos na superfície. A eliminação média da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é de 30% (BNDES, 1997).

Tanques Sépticos: existem alternativas para estações menores de tratamento de esgoto, em que os estágios primário e secundário se combinam (USEPA, 1991). Tanques sépticos são geralmente utilizados neste caso (WUJEK e DAGOSTINO, 2010). Os tanques sépticos, ou decanto-digestores, têm função de permitir a sedimentação e formação do lodo (e seu armazenamento), e também digestão em ambiente anaeróbio – nesta reação, é gerado o gás natural (CH_4 + CO_2), pequenas quantidades de gás sulfídrico (H_2S), entre outros (NUVOLARI *et al.*, 2003). No interior do tanque séptico, na camada superficial do líquido, forma-se uma camada composta de gorduras e substâncias graxas, junto a gases oriundos da decomposição anaeróbia, a este conjunto dá-se o nome de escuma (WUJEK e DAGOSTINO, 2010; NUVOLARI *et al.*, 2003). Por isso, no dimensionamento da saída do tanque séptico, devem ser construídos defletores ou deslocar a saída do efluente clarificado para um nível abaixo da superfície (NUVOLARI *et al.*, 2003). Os sólidos acumulados no fundo do tanque e a escuma recebem tratamento posterior como lodo (WUJEK e DAGOSTINO, 2010).

O efluente clarificado do tanque séptico é ainda altamente contaminado por coliformes fecais e tem relativamente alta DBO solúvel (NUVOLARI *et al.*, 2003), as bactérias aeróbias e anaeróbias digerem até 50% dos sólidos encontrados no esgoto que chega ao tanque séptico (WUJEK e DAGOSTINO, 2010).

Os tanques sépticos são relativamente baratos e precisam de pouco método para manutenção, podem ser de concreto, metal, fibra de vidro ou plástico e, geralmente, são cobertos com grama – neste caso, um acesso ao tanque é construído para a limpeza (WUJEK e DAGOSTINO, 2010).

O tamanho de um tanque séptico é baseado no volume de esgoto entrando no sistema, pois, segundo Wujek e Dagostino (2010), este deve permitir a detenção do esgoto por no mínimo dois dias baseado na vazão máxima diária, para instalações comerciais, a vazão é geralmente baseada no número de pessoas visitando ou trabalhando no local. Os tanques

sépticos podem ser simples, ou de câmara dupla, para melhorar a eficiência do tratamento (WUJEK e DAGOSTINO, 2010; NUVOLARI *et al.*, 2003). O tanque séptico deve ser inspecionado anualmente e ter seu conteúdo drenado regularmente (WUJEK e DAGOSTINO, 2010).

Tanques Aeróbios: podem substituir tanques sépticos em estações de pequeno porte. Eles são constituídos de um tanque de resíduos, uma câmara de aeração e uma câmara de sedimentação. Tanques aeróbios pré-fabricados usam processos de tratamento de esgoto similares aos processos de tratamento de esgoto municipais (WUJEK e DAGOSTINO, 2010). Estes tanques trabalham mais eficientemente que tanques sépticos, e por isso podem ser menores em tamanho. Para permanecerem efetivos, os componentes destes tanques devem ter manutenção regular e monitoramento contínuo. Além disso, um tanque anaeróbio deve ser usado numa base regular para que as bactérias sobrevivam em um fluxo constante, por isto, sistemas aeróbios não devem ser utilizados em sistemas não regulares (WUJEK e DAGOSTINO, 2010). Em sistemas de grande porte, a aeração ocorre por meio de tanques de aeração (SABESP).

Coletores pressurizados: são canalizações de pequeno diâmetro que geralmente se encontram após sistemas de tratamento primário, superficialmente enterradas (geralmente abaixo da linha do congelamento, ou a um mínimo de 75 cm – o que for maior), que seguem os perfis do solo. Tipicamente, os diâmetros médios são de 5 cm e 15 cm e o material destas é, geralmente, Ploricloreto de Polivinila (PVC) (USEPA, 1991). Estas canalizações geralmente são precedidas por uma pequena bomba, que pode ser uma bomba trituradora dos sólidos presentes no esgoto, ou um sistema de tanque séptico seguido de bombas de efluente, que tem a função de não permitir a passagem de sólidos, grãos, graxas e material fibroso que poderia causar problemas no bombeamento e transporte do efluente em encanamento de pequeno diâmetro; a retenção do esgoto em ambos os cenários favorece o tratamento primário neste tipo de sistema (USEPA, 1991). Em áreas onde rochas podem ser encontradas na escavação para instalar os coletores da linha principais, coletores pressurizados podem ser favoráveis quanto ao custo-benefício, pois as valas profundas necessárias para a construção de coletores convencionais têm preço elevado em sua execução. Outras situações onde a sua construção se torna interessante é a de locais onde o nível freático é alto (o benefício, neste caso, está novamente relacionado às escavações rasas necessárias para este tipo de sistema), situações onde a topografia torna o uso de coletores por gravidade não favorável e situações onde as casas servidas são muito espaçadas uma das outras, causando alto custo na instalação de coletores convencionais (USEPA, 1991). O equipamento de coletores pressurizados pode

também ser utilizado em conjunto com o de sistemas convencionais, em casos onde a altitude da casa ou do porão dela é muito baixa para a utilização de escoamento por gravidade (USEPA, 1991).

Sistemas à vácuo: são sistemas de coleta patenteados nos Estados Unidos em 1888, e sua diferença se encontra basicamente na separação da água preta (proveniente de vasos sanitários) e cinza (proveniente de pias de banheiro, chuveiros, banheiras e máquinas de lavar roupas), assim como o local de interface do fluxo por gravidade e vácuo, e o dimensionamento de bombas, válvulas, linhas, etc. Eles são usados como coletores de esgoto, que podem levar até estruturas de sistema primário (USEPA, 1991). O esgoto escoa por gravidade de uma ou mais residências a um tanque de armazenamento de 114 litros. Conforme o nível do esgoto sobe neste reservatório, o ar é comprimido e detectado por um sensor que está conectado à válvula controladora, que em determinado momento recebe o comando do sensor de se abrir e então fica aberta por um período ajustado de tempo, que varia de 3 a 30 segundos, dependendo do local da válvula, geralmente significando o tempo igual a duas vezes o tempo requerido para admitir o esgoto e, então, se fecha (ou seja, durante o ciclo de abertura, o tanque de armazenamento é evacuado). Desta maneira, ar em pressão atmosférica é permitido no sistema após o esgoto (USEPA, 1991). A estação de vácuo é o coração deste sistema e é similar à de uma estação de bombeamento em um sistema convencional. Estes sistemas usam bombas de vácuo em estações centrais para evacuar o ar das linhas, criando uma pressão diferencial (USEPA, 1991). A sequência normal de operação é: primeiro o esgoto de um serviço individual escoa por gravidade para um tanque de armazenamento, então o sensor ativa a válvula para que o esgoto e ar entrem no sistema, então o esgoto é transportado para uma série de cilindros rotativos ocos, que se movem a uma velocidade de 38-45 cm s^{-1}, criando um fluxo em espiral; cada cilindro vai eventualmente se desintegrar pela fricção com os canos, levando o esgoto para o próximo cilindro, o levando assim até a estação a vácuo (USEPA, 1991). As condições gerais que favorecem o uso de sistemas a vácuo são: solos instáveis, terrenos planos, terreno ondulado com pequenas mudanças de altitude, nível freático alto, restrições nas condições de construção, rochas e desenvolvimento urbano em áreas rurais (USEPA, 1991).

Coletores à gravidade de pequeno diâmetro: estes coletores estão ganhando rapidamente popularidade em áreas sem coleta de esgoto, devido ao seu baixo custo de construção. Diferentemente de coletores convencionais, o tratamento primário é providenciado em cada conexão e só o esgoto que já passou por um processo de sedimentação é coletado. Grãos, gorduras e outros sólidos que podem causar obstrução na rede coletora são separados do

esgoto e retidos em interceptores e tanques sépticos instalados a montante de cada conexão. Com os sólidos removidos, a rede coletora não precisa ser dimensionada para carregar sólidos como os coletores convencionais (USEPA, 1991). Os custos de construção são reduzidos porque, neste sistema, os coletores podem acompanhar a topografia mais perto e contornar obstáculos sem a instalação de poços de limpeza. Os tanques interceptores fazem parte do sistema, e estão tipicamente localizados em propriedade privada, mas geralmente de propriedade e manutenção da empresa utilitária que serve o distrito. A rede coletora, geralmente de dutos de plástico, tem diâmetro típico de 5 a 10 cm, entretanto, dutos de 3 cm de diâmetro também têm sido usados (USEPA, 1991).

3.3.3. **Tratamento secundário**

Após o tratamento primário, o efluente passa pelo tratamento secundário, que é o principal responsável pela remoção da carga orgânica não sedimentável presente no efluente (geralmente, utilizam-se sistemas biológicos). São reproduzidos os fenômenos naturais de estabilização da matéria orgânica que ocorreriam no corpo receptor em menor velocidade (DE OLIVEIRA, 2004; USEPA, 2004; BNDES, 1997). Após o tratamento primário e secundário a DBO deve ser reduzida em 90% (BNDES, 1997).

Algumas alternativas são mais utilizadas. No Brasil, é muito frequente o uso de lodos ativados, lagoas, filtro biológico aeróbio - fixo ou suspenso no substrato (USEPA, 2004) - e reator anaeróbio de manda te lodo (DE OLIVEIRA, 2004).

No processo em que o crescimento das bactérias se dá fixo ao substrato, o crescimento microbial acontece na superfície de pedras ou meio plástico. O efluente escoa por este meio junto com ar para prover oxigênio ao processo. Processos que utilizam este método são os filtros biológicos, biotorres, e discos biológicos. Processos fixos no substrato são efetivos na remoção da matéria orgânica do efluente (USEPA, 2004).

No processo de crescimento bacteriano suspenso no substrato, similar ao processo fixo, o dimensionamento é feito de maneira a remover matéria orgânica e nitrogênio orgânico (se tratamento adicional não é providenciado). Nestes processos, o crescimento microbial é suspenso em uma mistura aerada (com ar injetado ou oxigenação mecânica, ou ambos). Processos que utilizam este método são as variações de lodo ativado, valas de oxigenação, e reatores de batelada. O método de crescimento suspenso aumenta a velocidade do trabalho da bactéria aeróbia e outros micro-organismos na digestão da matéria orgânica devido ao ambiente rico que garante maior eficiência. No tanque de aeração, o efluente é vigorosamente misturado com ar e micro-organismos acostumados às condições do efluente, por várias horas. O excesso da biomassa formada é removido (sedimenta no fundo do tanque antes do

efluente seguir para a próxima etapa de tratamento ou ser descartado), e parte da biomassa pode ser usada novamente (USEPA, 2004).

Lodos ativados: trata-se de sistema mecanizado e aeróbio que remove a matéria orgânica por meio da atividade bacteriana cultivada no tanque de aeração, formando uma biomassa que irá sedimentar com o aumento da densidade, no decantador, chamada de lodo secundário, e parte deste lodo deve voltar ao reator para que haja a manutenção da atividade bacteriana. O oxigênio pode ser dissolvido no sistema por meio de aeradores mecânicos superficiais ou por tubulações no fundo do tanque (BNDES, 1997).

No Brasil, há um número superior de estações do tipo Lodos Ativado, que é um dos sistemas mais difundidos no mundo (DE OLIVEIRA, 2004), mesmo já existindo um grande número de alternativas tecnológicas acessíveis (BNDES, 1997). Este tipo de tratamento tem alta produção de lodo, por se tratar de sistema aeróbio. Geralmente, boa porte do lodo retirado do sistema ainda contém alta quantidade de matéria orgânica, podendo ser degradado em digestores anaeróbios de lodo, antes da disposição final em aterros sanitários, ou condicionamento em solos (DE OLIVEIRA, 2004). Outro fator negativo relacionado à aeração é o uso intensivo de energia em sua operação, e este conjunto eleva o custo de operação desses sistemas (DE OLIVEIRA, 2004; USEPA, 2004; BNDES, 1997).

A escolha pelo sistema de Lodos Ativados muitas vezes se dá devido à qualidade do efluente a ser tratado e pela redução da área necessária para o tratamento (BNDES, 1997; VON SPERLING, 1997), pois as unidades necessárias para este tratamento são relativamente pequenas (USEPA, 2004). Além disso, este sistema é muito favorável por produzir um efluente bastante limpo (DE OLIVEIRA, 2004), e quando operado e mantido corretamente, o processo é geralmente livre de moscas e odores (USEPA, 2004; BNDES, 1997). A eliminação de DBO alcança de 85 a 98% e a de patogênicos de 60 a 90% (BNDES, 1997). A efetividade do processo pode ser comprometida por níveis elevados de componentes tóxicos no efluente, sendo necessário um controle destes em tratamentos industriais (USEPA, 2004).

Ar difuso: trata-se de um sistema de tratamento que utiliza aeração mecanizada feita por meio de bombeamento de ar comprimido (bolhas finas, médias ou grandes) transportado até difusores no fundo do tanque de aeração (que pode ter vários formatos e profundidades). O dimensionamento do sistema considera que quanto menor a bolha, maior a eficiência na transferência de oxigênio, e maiores os problemas relacionados à manutenção, além disso, a eficiência na redução da DBO e no tratamento assemelha-se à eficiência da lagoa de estabilização aerada (BNDES, 1997), vista mais à frente.

Filtros Biológicos de Alta Taxa: a estabilização da matéria orgânica é realizada por bactérias, que crescem aderidas a um suporte, de 90 a 180 cm, que permite o crescimento de muitos micro-organismos anexos a ele (USEPA, 2004). O processo se dá com a aplicação do esgoto na superfície por meio de distribuidores rotativos, fazendo com que este escorra pelo tanque e saia pelo fundo (BNDES, 1997). Há diversos tipos de filtro, tanto anaeróbios quanto aeróbios, que têm muitos tipos de material base (DE OLIVEIRA, 2004). Sistemas de tratamento mais antigos geralmente usavam pedras e carvão, já novos sistemas usam bolas de plástico, folhas convergentes, plástico ondulado, ou outro tipo de meio sintético, que providencia maior área de superfície e um melhor ambiente para o tratamento biológico (USEPA, 2004). A matéria orgânica digerida fica retida pelas bactérias do suporte, de maneira que exista alta eficiência na remoção da DBO (80 a 93%) e uma remoção de patógenos entre 60 e 90% (BNDES, 1997). Os micro-organismos crescem formando uma película no meio, chamado biofilme, realizando a digestão da matéria orgânica (DE OLIVEIRA, 2004 e USEPA, 2004), no entanto, porções da biomassa também se desprendem do meio e devem ser sedimentados em outro tanque de tratamento (USEPA, 2004). O filtro biológico também pode ser instalado como pós-tratamento de processos anaeróbios (BNDES, 1997). A instalação de filtros biológicos não requer área extensa e exige uma mecanização relativamente simples, entretanto, o custo de implantação é alto, além de existirem inconvenientes na dificuldade de limpeza do sistema e proliferação de insetos, além disso, quando o funcionamento se dá de maneira aeróbia, a quantidade de lodo gerada impacta em um alto custo no tratamento do lodo e na sua disposição final (BNDES, 1997). O filtro de alta taxa requer menor área que os demais, porém é necessário que haja a recirculação do líquido (CHERNICHARO et al., 2001). Quando aeróbios, são geralmente de concreto armado, circulares, e abertos à atmosfera (DE OLIVEIRA, 2004).

Biofiltro Aerado Submerso: trata-se de um sistema mecanizado e aeróbio que compreende um reator biológico de culturas bacterianas, fixadas em suporte (instalado em altura média no reator). Seu funcionamento ocorre de maneira que o esgoto flui pela base do reator (por meio de um duto), onde também é introduzida a aeração, e é filtrado pelo material no suporte chegando ao nível superior com qualidade superior à quando entrou no reator. A grande vantagem na utilização deste sistema está na reduzida necessidade de área para o processo de tratamento, além da possibilidade de estes reatores estarem enterrados no subsolo (BNDES, 1997).

Tratamento com Oxigênio Puro: trata-se também de um sistema mecanizado, no qual o processo aeróbio utiliza o oxigênio puro no lugar do ar atmosférico. Esta alternativa apresenta

alta eficiência se comparado aos sistemas aerados convencionais, pois a redução da DBO alcança valores de 90 a 95%, em tempo reduzido e mesmo com altos teores de matéria orgânica. Além destes fatores, deve-se considerar o controle total de maus odores, a produção reduzida de lodo, a demanda por pequena área e equipamentos de pequeno porte, e o gasto em energia (equivalente a 30% da energia requeria em processos com ar atmosférico). Este método é mais indicado para tratamento de efluentes industriais devido ao custo envolvido em sua instalação e operação (BNDES, 1997).

Reator anaeróbio de manta de lodo: o reator anaeróbio de manta de lodo, conhecido como UASB, assim como outros sistemas anaeróbios, é conhecido como ineficiente, muito sensível e causador de odores. Ele chega a uma remoção de DQO e DBO na faixa de 65 a 75%, sendo necessário, muitas vezes o pós-tratamento de seu efluente (DE OLIVEIRA, 2004). As vantagens deste sistema são sua baixa demanda de área, custo reduzido de construção e operação em relação a sistemas aeróbios, e baixa produção de lodo (CAMPOS et al., 1999). Os sistemas anaeróbios geram metano em seu processo (gás do efeito estufa que não deve ser emitido à atmosfera, além de gerar risco de explosão se não manuseado corretamente). Pode-se aproveitar este biogás gerado, ou simplesmente queimá-lo. Muitas pesquisas mostram bons resultados do sistema em estações de tratamento de esgoto brasileiras, além de apresentarem benefícios como redução em custos e quantidade de lodo gerada (DE OLIVEIRA, 2004). Quanto aos aspectos construtivos, o reator UASB pode ser executado em concreto armado, devendo ser bem impermeabilizado (proteção interna à base de epóxi, por exemplo) (CHERNICHARO, 1997).

Lagoas: são valas construídas, com 90 a 150 cm de profundidade, que permitem a incidência de luz solar, crescimento de algas, bactéria e oxigênio a interagir com o efluente que chega a essa etapa. Processos biológicos e físicos agem na lagoa melhorando a qualidade do efluente. A qualidade do efluente de lagoas é considerada similar a de tratamentos secundários convencionais, entretanto climas frios podem interferir na efetividade destas lagoas (US EPA, 2004). Lagoas têm diversas vantagens quando usadas corretamente, e também podem ser usadas como suplementos de outros processos, entretanto requerem muita área para sua construção (DE OLIVEIRA, 2004; US EPA, 2004; BNDES, 1997). Elas são responsáveis por remoção da matéria orgânica e também formas orgânicas do nitrogênio (USEPA, 2004).

Lagoa aerada seguida de lagoa de decantação: A sequência de lagoa aerada de mistura completa e lagoa de decantação tem semelhança com o sistema de lodos ativados: ambos são aeróbios (exigem aeração artificial) e exigem decantador secundário para remoção de sólidos em suspensão (BNDES, 1997; VON SPERLING, 1986). Os benefícios são o custo menor de

operação da lagoa e que a remoção do lodo no decantador pode ser feita a cada 1-5 anos (VON SPERLING, 1986). No caso do aerador mecânico da lagoa, a função é tanto para manter a oxigenação quanto para manter a biomassa em suspensão (DE OLIVEIRA, 2004). O processo tem baixa produção de maus odores, requer menos áreas que sistemas naturais, e tem remoção de DBO de 70 a 90%, e de 60 a 99% na remoção de patógenos, mas o custo de energia é razoavelmente elevado e o despejo de efluente industrial deve ser controlado para não interferir na eficiência do processo (BNDES, 1997).

Lagoa anaeróbia: é uma opção de tratamento com eficiência restrita, geralmente necessitando pós-tratamento, entretanto há ganhos significativos na redução do consumo de energia e na redução da produção de lodo em comparação com sistemas UASB. (DE OLIVEIRA, 2004; BNDES, 1997). Os pontos negativos deste processo são o mau odor (que gera recomendações quanto à distância de centros urbanos, de pelo menos 500m), o desprendimento de metano para a atmosfera, e a área necessária (DE OLIVEIRA, 2004). Para se alcançar a anaerobiose nas lagoas, sua profundidade de estar na faixa de 3 a 5m (CAMPOS et al., 1999). A eficiência na remoção de DBO varia de 70 a 90% nestes sistemas, e de coliformes de 90 a 99% (BNDES, 1997).

Uso conjunto de sistemas aeróbio e anaeróbio: os sistemas aeróbio e anaeróbio, separadamente, possuem suas vantagens e desvantagens, conforme já descrito. O uso conjunto de sistemas aeróbio e anaeróbio pode trazer benefícios como a diminuição da produção de lodo e manutenção, e também a obtenção de bons índices de eficiência (CAMPOS et al., 1997). Esta associação tem sido empregada com sucesso em reatores anaeróbios seguidos de lodos ativados (DE OLIVEIRA, 2004).

Tratamento com Biotecnologia: trata-se de um sistema no qual existe o aumento da eficiência do processo natural, ao serem adicionadas bactérias selecionadas a partir da sua capacidade para decomposição e conforme o material predominante do efluente. Neste processo, realiza-se a inoculação contínua das bactérias no fluxo do efluente (que permanece retido por alguns dias) e, por isso, deve-se considerar o aspecto da segurança – o composto de bactérias não pode ser tóxico ou patogênico. Este tratamento pode ser aplicado diretamente em fossas sépticas, sendo necessário o controle sobre sua efetividade e também existe aplicação em tanques ou lagoas (sem nenhum tipo de formato especial ou profundidade). O tratamento com biotecnologia reduz a geração de lodos (BNDES, 1997).

Tratamento no solo: é uma alternativa economicamente viável que se trata da aplicação controlada do efluente no solo onde processos físicos, químicos e biológicos podem agir sobre ele. Trata-se de sistema simplificado (tendo o custo de implantação e operação bastante

reduzido) que geralmente requer áreas extensas, e que demanda muita atenção, pois pode gerar maus odores, insetos e vermes, e apresentar risco de contaminação na vegetação, no solo, no lençol freático e de pessoas que possam entrar em contato direta ou indiretamente com estas contaminações (BNDES, 1997). Os principais tipos de tratamento no solo são o de penetração lenta, escoamento sobre superfície e infiltração rápida (USEPA, 2004).

No caso da penetração lenta (tipo mais comum de tratamento no solo), o efluente é aplicado no solo e se move por ele em uma ação de filtração natural, junto com a atividade microbial e a retirada de nutrientes pela zona radicular das plantas. Parte da água contida no efluente é evaporada ou usada pela vegetação, o restante é coletado por drenos ou permitido a percolar para o lençol freático. Poluentes que não foram usados são transferidos ao solo por absorção, onde muitos são mineralizados ou quebrados com o tempo pela ação microbiana. O efluente que chega para ser tratado no solo é algumas vezes desinfetado antes de sua aplicação, dependendo do uso da área ou do método de irrigação (pulverização, inundação, por cumeeira, ou por sulcos) – o método selecionado depende no custo, terreno e tipo de área (USEPA, 2004).

A infiltração rápida é, mais frequentemente, usada para recuperar efluentes para reúso depois de um pré-tratamento secundário e tratamento avançado. Grandes quantidades de efluente são aplicadas em solos permeáveis, em uma área limitada, permitido sua infiltração e percolação para o lençol freático. O custo-benefício deste processo depende da habilidade do solo em percolar um grande volume de água rápida e eficientemente (USEPA, 2004).

O escoamento sobre superfície vem sendo usado com sucesso pelas indústrias alimentícias por muitos anos para remover sólidos, bactérias e nutrientes do efluente, que é permitido escorrer em uma área de inclinação suave que, com vegetação, para controlar o escoamento e a erosão. Solos argilosos são geralmente os mais recomendados. Assim que o efluente escoa pela superfície, o solo e os micro-organismos formam uma camada de lodo gelatinoso, que tem seus sólidos removidos, assim como patógenos e nutrientes. A água do efluente que não é absorvida ou evaporada é recolhida no fim da inclinação (USEPA, 2004).

3.3.4. **Tratamento terciário**

O tratamento terciário tem por finalidade a remoção de nutrientes que não foram removidos nas etapas anteriores, como o nitrogênio e o fósforo (DE OLIVEIRA, 2004 e US EPA, 2004), e estabilizar substâncias que demandam oxigênio (USEPA, 2004), assim como remover compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos, e patogênicos (desinfecção) (DE OLIVEIRA, 2004; BNDES, 1997). Nele, são utilizados processos biológicos, separação física/química como adsorção, floculação e precipitação,

filtragem avançada, troca iônica, e osmose inversa (USEPA, 2004). São empregados lagoas de estabilização, processos químicos, utilização de radiação ultravioleta, disposição no solo (CAMPOS, 1994), utilização de membranas para filtragem avançada (DE OLIVEIRA, 2004 e USEPA, 2004), alagados construídos (USEPA, 2004), etc. Muitos destes processos citados já foram apresentados no tratamento secundário, pois, em sistemas mais completos, estas metodologias de tratamento também podem ser utilizadas com função de tratamento terciário. Em muitas combinações, estes processos podem atingir o grau de controle de poluição desejado (USEPA, 2004).

Controle biológico de nitrogênio: o nitrogênio em todas as suas formas está presente no esgoto e geralmente não é removido pelo tratamento secundário e, se despejado em lagos e canais ou águas de estuário na forma de amônia, ele pode aumentar significantemente a demanda de oxigênio ou estimular o crescimento excessivo de algas. Além disso, a amônia no efluente despejado pode ser tóxica à vida aquática em certas instâncias (USEPA, 2004).

Ao providenciar tratamento biológico adicional, além do tratamento secundário, as bactérias nitrificantes presentes no tratamento podem converter biologicamente a amônia para o nitrato. Este processo é normalmente suficiente para remover o potencial tóxico associado ao despejo de efluente contendo amônia. Entretanto, como o nitrato também é um nutriente, quantidades excessivas de seu conteúdo podem contribuir para o crescimento descontrolado de algas. Em situações onde o nitrogênio deve ser removido em várias formas do efluente, um processo biológico adicional pode ser adicionado ao sistema para converter o nitrato para o gás nitrogênio – esta conversão é conseguida pelo processo bacteriano chamado desnitrificação (o efluente contendo nitrato é colocado em um tanque desprovido de oxigênio, onde químicos contendo carbono, como o metanol, são adicionados ou uma pequena quantidade de esgoto bruto é misturado ao efluente já nitrificado, de maneira que a bactéria existente usa o oxigênio ligado ao nitrato, liberando gás nitrogênio – que não é um gás prejudicial ao ser liberado na atmosfera) (USEPA, 2004).

Controle Biológico de Fósforo: como o nitrogênio, o fósforo também é necessário para o crescimento das algas. A redução do fósforo antes do despejo do efluente em lagos, reservatórios e estuários é geralmente necessária para prevenir o crescimento excessivo de algas. A remoção do fósforo pode ser atingida pela adição química e um processo de coagulação-sedimentação. Alguns processos de tratamento biológico chamado de remoção biológica de nutrientes também podem realizar a redução dos nutrientes, removendo tanto o nitrogênio como o fósforo. A maioria destes processos envolve modificações de sistemas de tratamento de crescimento suspenso para que as bactérias neste sistema também convertam o

nitrogênio na forma de nitrato em gás nitrogênio, e agregam o fósforo nos sólidos que são removidos do efluente (USEPA, 2004).

Alagados Construídos: áreas alagadas são ambientes naturais que permanecem parcial ou totalmente saturados ao longo do tempo (ZANELLA, 2008). Descargas descontroladas de água residuária nestes ecossistemas levaram, em muitos casos, a uma degradação irreversível de muitos destes ecossistemas, por isto, em 2011, houve uma convenção sobre alagados na cidade Iraniana de Ramsar que tratou de um acordo intergovernamental de importância internacional com objetivo de planejar o uso sustentável de todas as zonas úmidas e seus territórios, no qual o Brasil (entre os 160 países participantes) comprometeu-se em 24 de setembro de 1993 (AVELINO, 2012). Para preservar os alagados naturais, existe a alternativa de se empregar alagados construídos no tratamento de esgotos (AVELINO, 2012).

Os alagados construídos podem ser usados sem restrição para o tratamento de águas residuárias (OLIVEIRA *et. al.*, 2005), e são geralmente compostos por leito, substrato, macrófitas (vegetação), nos quais o efluente pode escoar superficial ou subsuperficialmente (AVELINO, 2012). São áreas onde a água satura o solo o suficiente para manter vegetação como juncos e taboas. Este sistema de tratamento é dimensionado para tratar o efluente que passa pelo alagado, onde processos físicos, químicos e biológicos podem ocorrer (USEPA, 2004). Apresentam baixo custo de construção e manutenção, além de baixa demanda de energia e não haver necessidade de operação por pessoal treinado. Também são mais flexíveis às variações de cargas de efluentes que os sistemas tradicionais (BRIX e SCHIERUP, 1989) e têm ótima eficiência na remoção de nutrientes (AVELINO, 2012; USEPA, 2004). Por outro lado, requerem maiores áreas e tem baixo desempenho no inverno de regiões temperadas (OLIVEIRA *et. al.*, 2005).

Cultivo de Microalgas: O fósforo é, particularmente, difícil de ser removido do efluente, e a maioria dos tratamentos de efluentes comerciais realiza a precipitação deste elemento com produtos químicos para criar uma fração sólida insolúvel ou convertê-lo em lodo ativado microbiologicamente (HOFFMANN, 1998). No entanto, o fósforo recuperado por estes métodos não é completamente reutilizável, sendo a fração precipitada destinada ao aterro sanitário ou usada como fertilizante (PITTMAN, DEAN e OSUNDEKO, 2010). Por outro lado, as microalgas apresentam elevada capacidade de absorção de nitrogênio, fósforo e metais tóxicos de efluentes (AHLUWALIA e GOYAL, 2007; MALLICK, 2002), sendo tão eficientes na remoção de fósforo quanto os tratamentos químicos utilizados comercialmente (HOFFMANN, 1998).

A vantagem da utilização de algas em relação aos métodos químicos convencionais aplicados no tratamento de efluentes é o potencial de diminuição dos custos e a menor exigência tecnológica necessária nos processos que envolvem as algas, tornando esta alternativa mais atrativa aos países em desenvolvimento. Neste aspecto, a significante geração de oxigênio a partir da fotossíntese das microalgas pode substituir a necessidade de oxigenação mecânica da lagoa de tratamento (MALLICK, 2002). Além disso, o tratamento de efluentes com algas é menos impactante ao ambiente e mais sustentável, por não gerar resíduos adicionais como o lodo e por promover a reciclagem de nutrientes (MUNOZ e GULEYSSE, 2006; WILKIE e MULBRY, 2002).

Muitas espécies de microalgas crescem efetivamente em efluentes, devido à habilidade de utilizar abundantes quantidades de carbono orgânico e formas inorgânicas de nitrogênio e fósforo deste meio. O uso de microalgas no tratamento de efluentes vem sendo incentivado há muito tempo (OSWALD, GOTAAS, *et al.*, 1957). Embora a aplicação de microalgas no tratamento de efluentes ainda seja escassa, elas têm sido utilizadas em todo o mundo em baixa escala, em lagoas de oxidação convencional (estabilização) ou em lagoas suspensas com algas de alta efetividade, que são lagoas estreitas de oxidação, do tipo *raceway*, com mistura mecânica (GREEN, LUNDQUIST e OSWALD, 1995; HOFFMANN, 1998).

Desinfecção: Apesar de grande parte dos micro-organismos patógenos ter sido eliminada nas etapas anteriores, a desinfecção total pode ser realizada por processos naturais (lagoa de maturação) ou artificiais (cloração, ozonização, radiação ultravioleta, membranas) (BNDES, 1997).

No caso da cloração, o cloro mata os micro-organismos destruindo seu material celular. Este produto químico pode ser aplicado ao esgoto ou efluente na forma de gás, líquido ou em forma sólida. Entretanto, qualquer elemento de cloro que esteja livre (não combinado) e permanecer no efluente em sua descarga, é altamente tóxico à vida aquática benéfica e, por isso, a remoção de qualquer resquício de cloro é essencial para proteger os peixes e a vida aquática (USEPA, 2004).

Já no caso da ozonização, o ozônio é produzido a partir do oxigênio exposto à alta voltagem e é muito efetivo na destruição de vírus e bactérias, além de se decompor de volta a oxigênio rapidamente sem deixar nenhum produto perigoso, entretanto, seu uso não é muito econômico devido a altos custos com energia (USEPA, 2004).

A desinfecção por radiação ultravioleta (UV) ocorre quando a energia eletromagnética em forma de luz no espectro UV, produzida por lâmpadas em arco de mercúrio, penetra a parede celular dos micro-organismos expostos, e retarda a habilidade destes de sobreviver ao

danificar seu material genético. Assim como na desinfecção por ozônio, na desinfecção por radiação ultravioleta não deixa nenhum subproduto no efluente, mas algumas vezes os micro-organismos podem se reparar e sobreviver aos efeitos da UV (USEPA, 2004).

Membranas são uma alternativa recente a ser considerada para o tratamento do esgoto, embora não muito difundidas. Estas podem ser usadas na remoção de vírus na etapa da desinfecção (DE OLIVEIRA, 2004).

3.4. TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO

A gestão descentralizada do esgoto está recebendo crescente atenção de profissionais da área do saneamento e pesquisadores por seu potencial de reduzir a necessidade de adição de água na gestão do esgoto, assim como reduzir o perigo de problema ambiental em caso de acidentes, e aumentar as oportunidades de reuso (BUTLER AND MACCORMICK, 1996).

Em geral, a gestão descentralizada do esgoto é definida como a coleta, o tratamento, o reuso e o destino do esgoto no lugar ou perto do seu ponto de geração (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

A gestão do esgoto de forma descentralizada implica em administrar o esgoto o mais perto de onde este é gerado e onde o seu potencial reuso é benéfico, aumentando as oportunidades de reuso ao manter o esgoto tão próximo quanto possível de sua comunidade geradora. O sistema de gestão do esgoto para uma comunidade pode conter vários subsistemas de coleta, tratamento e reuso menores. O tamanho de cada subsistema é determinado pelas barreiras de drenagem, questões administrativas, e outras razões sociais e econômicas que prevalecerem. A descentralização diminui o risco aos seres humanos e ao ambiente, pois implica que devem existir várias estações de tratamento de esgoto menores, o que diminui a probabilidade de falha de todas as estações menores ao mesmo tempo e do não funcionamento do sistema em uma comunidade inteira (BAKIR, 2001).

O custo de implementação de estações de tratamento de esgoto convencionais é alto, e se torna ainda mais caro quando providenciado a pequenas comunidades povoadas heterogeneamente. Além disso, ao se misturar esgoto de diversas fontes, pode haver um aumento da complexidade do tratamento necessário, por exemplo, um número menor de processos de tratamento é requerido de um esgoto doméstico comum, se comparado com o esgoto gerado por uma indústria. Com a separação, o tratamento do esgoto se torna mais efetivo financeiramente e as oportunidades de reuso também são ampliadas. A gestão descentralizada elimina a necessidade de grandes investimentos em sistemas de tratamento centrais e, principalmente, no transporte do esgoto para longe das comunidades (BAKIR, 2001).

As objeções à gestão por meio de sistemas descentralizados de esgoto são baseadas em dois argumentos: de que a operação e manutenção destes sistemas requer numerosas pequenas plantas de tratamento, mais do que seriam necessárias em um sistema centralizado; e que o custo de algumas plantas de tratamento pequenas seria significativamente maior que o custo de uma planta centralizada. Estes argumentos devem ser encarados com seriedade, e os sistemas descentralizados devem provar que seu custo, sua operação e manutenção são razoáveis (BAKIR, 2001), entretanto, estes argumentos apenas consideram os componentes do tratamento no sistema de esgoto, e ignoram os outros elemento requeridos em sistemas centralizados, a coleta do esgoto nos sistemas corresponde a 80-90% do capital de custo, e mais de 65% dos custos anuais (OTIS, 1996).

A gestão por meio de sistemas descentralizados reduziria o custo da coleta de esgoto significantemente, além da reciclagem da água cinza e o reuso a um nível de residência, e este desenvolvimento ainda precisa ser testemunhado com considerável pesquisa sobre o assunto. A água cinza pode ser utilizada para usos não potáveis como irrigação e a descarga de vasos sanitários, e o seu reuso reduz a demanda de água potável e a necessidade de maiores locais de tratamento (BAKIR, 2001).

A escolha por uma gestão descentralizada requer tecnologias de tratamento extremamente eficientes, compactas e acessíveis, que podem ser colocados próximos a concentrações humanas sem causar adoecimento para a comunidade ou demandar grande área. O desenvolvimento de tais tecnologias requer pesquisa extensiva e a utilização de tanto tecnologias simples quanto sofisticadas, que devem se provar eficientes e eficazes. USEPA (1992) descreve a variedade de processos bem estabelecidos de tratamento de esgoto convencionais e não-convencionais para pequenas comunidades nos EUA, como as valas de oxidação, a rotação de discos biológicos, filtros gotejantes, lagoas e tanques, alagados construídos, e lodo ativado.

A gestão descentralizada pode complementar, no lugar de competir, com a gestão centralizada do tratamento. Os dois conceitos devem ser considerados quando se busca identificar a solução ótima para qualquer problema sanitário considerado (VAN AFFERDEN, CARDONA, *et al.*, 2015).

Sistemas descentralizados se justificam em áreas rurais ou suburbanas (em que o custo de transporte do esgoto é muito elevado), áreas de condições topográficas limitantes (que requerem um maior custo acumulado pela necessidade de bombeamento), e em locais onde não há a possibilidade de altos investimentos para um sistema central (VAN AFFERDEN, CARDONA, *et al.*, 2015).

O mais importante é avaliar as condições da área estudada para a tomada de decisão quanto ao tipo de gestão a ser escolhida, fatores que podem influenciar a escolha são a infraestrutura física da área, o número de residentes ou pessoas em trânsito por prédio no local, o uso do solo para identificar opções de reuso, as condições topográficas, as informações de fluxo por gravidade, e custo dos componentes das tecnologias de tratamento adotadas. É preciso também estimar a capacidade de tratamento para a gestão descentralizada utilizando estatísticas populacionais e dados de crescimento (VAN AFFERDEN, CARDONA, *et al.*, 2015).

3.5. LEGISLAÇÃO E NORMAS DA ABNT

A Lei Federal nº 11.445 (2007) é responsável por estabelecer diretrizes ao saneamento básico brasileiro, com objetivo de universalizar o saneamento, preservar o ambiente e respeitar as peculiaridades locais e regionais, e define a obrigatoriedade da existência de uma política e de um plano de saneamento básico e da Política Federal de Saneamento, além de regulamentar a tarifação do serviço. O decreto nº 8.141 (2013) e a Política Federal de Saneamento dispõe sobre o Plano Nacional de Saneamento Básico. Além disso, a Lei nº 11.445 (2007) também estabelece sobre a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico.

Contratos de obras e compras do serviço público de execução direta, concedida, autárquica ou de economia mista devem seguir obrigatoriamente as normas técnicas, por meio da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como institui a Lei nº 4150/1962.

As normas da ABNT para construção de estações de tratamento de esgoto são: a NBR 9648/1986 – que estabelece o estudo e a concepção de sistemas de esgotos sanitários; a NBR 9649/1986 – que estabelece as exigências na elaboração do projeto hidráulico sanitário de redes coletoras de esgoto sanitário, em lâmina livre; a NBR 12209/2011 – que estabelece as recomendações para a elaboração de projetos de ETEs e, no caso do tratamento de pequeno porte; a NBR 7229/1993 – que regulamenta o projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos; e a NBR 13969/1997 – que regulamenta unidades de tratamento complementares a tanques sépticos e disposição final de efluentes líquidos, do projeto à construção e operação. Além de outras normas presentes na literatura para consulta, como a norma técnica da Sabesp (1996), que fixa critérios mínimos para a elaboração do projeto de redes coletoras de esgoto e o cumprimento obrigatório de regulamentações específicas das unidades citadas anteriormente responsáveis pelo planejamento e desenvolvimento do sistema de esgoto sanitário.

A NBR 9648 define esgoto sanitário como todo o despejo líquido de constituição doméstica e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária. Entretanto, geralmente, a palavra esgoto é utilizada para despejos de diversos usos de água, de origem doméstica, comercial, industrial, agrícola, de utilidade pública e outros efluentes (IBAMA, 2009).

De acordo com a NBR 12209/2011, a implantação de uma ETE deve considerar a população atendida por esta nas diversas etapas do plano, as exigências ambientais e legais, as características requeridas ao efluente tratado, a disposição final do efluente líquido (reuso previsto, corpo receptor e ponto de lançamento) e dos subprodutos sólidos (local, reuso na agricultura e na recuperação de áreas degradadas), a área selecionada para a construção da ETE (levantamento planialtimétrico de escala mínima de 1:1000, sondagens preliminares de reconhecimento do subsolo, cota máxima de enchente na área selecionada), assim como a avaliação de lançamento de efluentes não domésticos na rede coletora. A norma também estabelece a obrigatoriedade da elaboração do projeto hidráulico-sanitário, com a seleção e interpretação das informações disponíveis para o projeto, avaliação das opções para o despejo dos resíduos sólidos e líquidos e principalmente a seleção dos parâmetros de dimensionamento e fixação de seus valores e o dimensionamento dos órgãos auxiliares, sistemas de utilidades, unidades de tratamento. Também se torna necessária a previsão de vias de acesso no entorno da ETE.

Ainda segundo a NBR 12209/2011, os critérios e disposições utilizados na implantação de uma ETE para o dimensionamento das unidades de tratamento e órgãos auxiliares são os parâmetros básicos mínimos (vazões afluentes máxima, mínima e média, demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio). Sobre o relatório do projeto hidráulico-sanitário, este deve incluir memorial descritivo justificativo com informações sobre o destino dos resíduos gerados na ETE (informando o seu transporte e disposição) e projetando quando for o caso o tratamento da fase líquida, o tratamento de lodos, a desinfecção e o controle de emissões gasosas.

A resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 377/2006 dispõe sobre o licenciamento ambiental simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário, e estabelece que o licenciamento ambiental de unidades de tratamento de esgotos sanitários e de efluentes gerados no processo de tratamento se dá por meio das conformidades ao alcançar os padrões estabelecidos na legislação ambiental. A resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece os padrões de qualidade de água em corpos d'água, incluindo mananciais, a resolução CONAMA nº 410/2009 prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de

lançamento de efluentes e a resolução CONAMA nº 430/2011 a complementa e altera a respeito das condições e padrões de lançamento de efluentes.

3.6. REUSO DE ÁGUA

Reuso de água é o aproveitamento de águas previamente utilizadas uma ou mais vezes em alguma atividade humana para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original. O reuso pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não planejadas: o reuso indireto não planejado da água ocorre quando a água já utilizada uma ou mais vezes em alguma atividade humana é disposta no meio ambiente, onde sofre o processo natural (depuração sedimentação, entre outros) e pode ainda ser misturada com efluentes de outras fontes, e é novamente utilizada à jusante em sua forma diluída de maneira não intencional e não controlada. Já o reuso indireto planejado se trata do reuso do efluente (convencionalmente tratado) à jusante de sua disposição em corpos d'água superficiais ou subterrâneos (onde é diluído de forma controlada). O reuso direto planejado se trata do reuso do efluente devidamente tratado e armazenado, que é encaminhado diretamente para o fim de reuso, sem ser disposto no meio ambiente. A reciclagem da água se trata de uma aplicação específica do reuso direto planejado, onde ocorre o reuso interno, também sem a disposição intermediária no ambiente, com a mesma função do uso inicial (BREGA FILHO e MANCUSO, 2003).

Os reusos podem ser classificados também quanto sua potabilidade, sujeitos aos padrões estabelecidos pela Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde, nº 2.914/2011.

O reuso de água – realizado por meio do tratamento de efluente - pode diminuir a demanda por água potável, além de racionalizar o padrão de qualidade da água para os usos menos exigentes. Desta forma, o reuso de água faz parte de uma política de conservação de água em todos os setores da sociedade. O reuso consciente e planejado de águas de baixa qualidade aumenta a fonte de recursos para o tratamento adequado para geração de água potável e a racionalização, consequente de projetos de reuso de água, diminui os possíveis impactos ambientais do retorno das águas residuais ao ambiente (MANCUSO e DOS SANTOS, 2003).

O potencial de reuso de água no Brasil é elevado, principalmente nas áreas urbanas, industrias, na agricultura e associado à recarga de aquíferos. Recentemente, a Agência Nacional de Águas (ANA) criou uma equipe de pesquisadores para desenvolver um programa nacional de reuso de água, visando diminuir a exploração de aquíferos e para prolongar a reserva hídrica, fortalecendo a gestão e diminuindo o risco de escassez hídrica (HESPANHOL, 2003).

Existem basicamente duas regulamentações que tratam de reuso de água no Brasil: a Resolução CNRH nº 54/2005 e a Norma NBR 13969/1997, que tem abrangência nacional. No entanto, já se encontra em tramitação no Senado Federal, o projeto de lei nº 58 de 2016 que disciplina o abastecimento de água por fontes alternativas e altera as Leis nº 11.445/2007 (que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico), nº 10.257/2001 (que regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal e estabelece diretrizes gerais da política urbana), nº 9.605/1998 (que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente) e nº 9.433/1997 (que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos). No art. 3º, este projeto declara que nenhuma água de boa qualidade deverá ser utilizada em atividades que tolerem águas de qualidade inferior, salvo quando houver elevada disponibilidade hídrica e, caso esse projeto de Lei seja aprovado, a gestão de recursos hídricos no Brasil deverá passar por grandes modificações. Desta forma, cada vez mais torna-se imprescindível o desenvolvimento de estudos que viabilizem o uso de fontes alternativas para reuso de água.

O sucesso de projetos de reuso, segundo Hespanhol (2013), depende da maneira e profundidade com que as seguintes ações são implementadas:

- Adoção de critérios para avaliar as alternativas de reuso propostas, assim como escolha de estratégias de uso único ou múltiplo dos esgotos, provisões gerenciais ou organizacionais estabelecidas para administrar os esgotos e para selecionar e implementar o plano de reuso, estabelecendo importância dada à saúde pública e os riscos correspondentes, e o nível de apreciação da possibilidade irrigação de espécies florestais;
- Popularização do reuso de água no Brasil por meio da complementação da legislação e das normas existentes, estabelecendo padrões e códigos de prática, e criação de uma nova instituição ou delegação de uma instituição existente, assim como a atribuição de competências às agências locais e nacionais associadas ao setor, que garantam direitos de acesso aos usuários;
- Monitoramento das atividades dos projetos, buscando proporcionar dados (disponíveis em curto prazo) para controle e otimização do sistema, com o monitoramento das estações de tratamento, sistemas de distribuição e aspectos ambientais;
- Fiscalização para a verificação do atendimento dos regulamentos estabelecidos na legislação vigente.

É muito importante garantir que a qualidade dos esgotos tratados pretendida seja compatível com a capacidade do tratamento adicional instalado e com as exigências de qualidade para o uso pretendido. Na fase de planejamento, deve-se verificar a qualidade do

efluente disponível, o tipo de tratamento aplicado e sua confiabilidade e a parcela de efluentes industriais presentes. Outros aspectos importantes dos quais o reuso depende são a decisão política, os esquemas institucionais e a disponibilidade (BLUM, 2003).

O reuso não deve resultar em riscos sanitários à população e não deve causar nenhum tipo de objeção por parte do usuário, nem prejuízos ao meio ambiente. A fonte de água que será submetida à tratamento para posterior reuso deve ser quantitativa e qualitativamente segura (HESPANHOL,2003).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Guaratinguetá se encontra no Vale do Rio Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo, a 170 km da capital, ocupando uma área de 617,315 km², com uma população de 118.378 mil habitantes (IBGE, 2010).

De acordo com dados fornecidos pela Companhia de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá – SAEG (2010) apud Azzolino Neto (2015), o município conta com um sistema de esgotamento sanitário, que integra 323 km de rede coletora, 17 km de coletores tronco, 12 estações elevatórias de esgoto bruto e quatro ETEs. Até o ano de 2010, o índice de coleta de esgoto na área urbana era de 98% e o índice de tratamento em relação ao esgoto coletado, de 29 %, sendo necessária a implantação de novas estações de tratamento para que o saneamento básico atinja um nível satisfatório neste município. Conforme dados fornecidos pelo Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Guaratinguetá – Gestão 2011 a 2014, o município gerava neste período, em média, 177,66 L s^{-1} de esgoto (SAEG, 2010 *apud* AZZOLINO NETO, 2015).

A partir de 2008, teve início a parceria público-privada entre a SAEG e a Companhia de Águas do Brasil (CAB), com duração de 30 anos, que passou a controlar o sistema de esgotamento sanitário no município de Guaratinguetá. A CAB tem como meta atender 100% da população em coleta de esgoto até 2020 e 100% em tratamento de esgoto até 2024. Com esse objetivo foi implantada a ETE do bairro do Pedregulho, com quatro módulos, que a partir de agosto de 2016, deu início ao funcionamento de seu primeiro módulo, aumentando em 11% o tratamento de esgoto em Guaratinguetá, atingindo, portanto, a ordem de 40% de esgoto tratado (JORNAL ATOS, 2016). Os bairros atendidos pela ETE Pedregulho são: Piagui, São Dimas, São Manoel, Aeroporto, Bela Vista, Alto Pedregulho, Pedregulho e Vila Cônego Rodrigues. Considerando que após sua implantação cada um dos quatro módulos da ETE,

atenderá 14.000 habitantes e terá capacidade de tratar 196 toneladas de esgoto diariamente (AZZOLINO NETO, 2015).

Neste sentido, torna-se cada vez mais importante a implantação de Estações de Tratamento de Esgotos Descentralizadas pela iniciativa privada e de instituições públicas. A MiniEETERA implantada na Unesp – Campus de Guaratinguetá, encontra-se nas coordenadas geográficas: 22°48’49” latitude sul e 45°11’40” longitude oeste; na altitude de 537 metros em relação ao nível do mar (GODOY JÚNIOR, 2010), conforme figura 1.

Figura 1 - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Unesp, Campus de Guaratinguetá, com a localização da MiniEETERA.

Fonte: Google Maps (2016) adaptado.

Segundo Godoy Junior (2010), a MiniEETERA passou a operar em 10 de fevereiro de 2007, e era composta de pré-tratamento, por uma caixa retentora de resíduos sólidos de três compartimentos, tratamento biológico anaeróbio em cascata e pós-tratamento biológico aeróbio/anóxico com bolha fina e o efluente deveria ser destinado a um sistema de lagoas e depois levado à atividade de fertirrigação do entorno.

Durante seu período de funcionamento o esgoto sanitário atendido por esta estação era o gerado pela administração, cantina e bloco de salas de aula (bloco 5), cuja vazão não foi disponibilizada no projeto de Godoy Júnior (2010), sendo informado apenas que o volume útil da estação era de 46 m^3 dia^{-1}, com capacidade de atender, aproximadamente, 1200 usuários.

Em 2010 a MiniEETERA foi desativada e o esgoto voltou a ser coletado e tratado pela SAEG. Em 2016 verificou-se a necessidade de um projeto de reforma e adequação dessa estação, sendo realizado neste trabalho os estudos preliminares para sua fundamentação.

4.2. METODOLOGIA PARA ADEQUAÇÃO DA MINIEETERA

Os estudos preliminares da MiniEETERA, implantada na Unesp, campus de Guaratinguetá, para a proposição de um projeto de adequação e atendimento às normas construtivas e legislação foram desenvolvidos no período de janeiro a novembro de 2016. A MiniEETERA foi avaliada para verificar se o projeto implantado atendia em sua totalidade o tratamento proposto, bem como, o estado de conservação de seus componentes e a possível existência de fontes de poluição e inconformidades, visando a proposição de reforma e adequação às normas e legislação, além de melhorias.

Para a realização deste trabalho, inicialmente foi avaliado o projeto construtivo e operacional desenvolvido por Godoy Júnior (2010). Nos levantamentos de campo junto à MiniEETERA foi verificada a existência de conformidade dos componentes existentes com o projeto inicial, assim como as possíveis alterações nestas com o decorrer do tempo.

Na primeira visita à MiniEETERA, realizada no dia 10 de março de 2016, foram avaliados os componentes estabelecidos no projeto e o atual estado de conservação. No dia 9 de junho de 2016, foram avaliados mais detalhadamente os componentes desta estação, como a caixa de esgoto, o tanque séptico, o que estava visível do sistema de biodigestores anaeróbios, do biodigestor aeróbio, assim como as lagoas de estabilização e os encanamentos.

Em 16 de junho de 2016 foi realizado um diagnóstico para avaliar a existência de possíveis fontes poluidoras, originadas por vazamentos acidentais, em consequência da má conservação e da desativação da MiniEETERA. No período compreendido entre os dias 20 a 22 de junho de 2016 e 6 a 8 de julho de 2016 foi avaliado o estado de conservação e danos nas canalizações e a existência de vazamentos nos biodigestores anaeróbios e no dia 10 de outubro de 2016 foi realizada a avaliação visual do biodigestor aeróbio. No dia dez de outubro de 2016 foram avaliadas as duas lagoas de estabilização, seguido de ensaio de percolação na última.

No dia 17 de junho de 2016, foi realizada a avaliação do estado de conservação dos canos, sendo necessário o desenterramento e corte de parte dele entre a caixa de esgoto e a caixa retentora de resíduos e gorduras, para criar uma vala que facilitava o desentupimento do cano. No dia nove de junho de 2016, também foi feita uma avaliação visual do encanamento do subsolo, cujas partes estavam expostas na superfície, bem como, do encanamento aéreo e das válvulas de limpeza dos reatores anaeróbio e aeróbio.

A avaliação de vazamento nos biodigestores anaeróbios se deu por meio do controle de vazão de água potável adicionada em cada um dos três biodigestores que compõem o sistema anaeróbio.

No dia 20 de junho de 2016 preencheu-se o primeiro biodigestor anaeróbio até um nível que não transferisse água para o segundo biodigestor. Quando o primeiro biodigestor já se encontrava preenchido, tomou-se a medida do topo do biodigestor até o nível d'água às 14h. Tomaram-se novas medidas no dia 21 de junho de 2016 às 15h 30min e em 22 de junho de 2016, às 14h 30min, a fim de detectar vazamentos pela descida do nível d'água.

A tabela 1 se trata dos dados obtidos de medição do nível d'água no primeiro biodigestor anaeróbio, constando nela também o cálculo do volume acima da lâmina d'água.

Tabela 1 – Dados de altura da lâmina d'água no primeiro biodigestor anaeróbio e volume acima do nível d'água calculado.

Dia	Data	Horário	Medição 1 (m)*	Medição 2 (m)*	Medição Média (m)*	Volume (m^3)*
1	20/06/16	2:30 PM	0,757	0,740	0,7485	0,210
2	21/06/16	3:30 PM	0,898	0,890	0,894	0,251
3	22/06/16	2:30 PM	1,010	1,020	1,015	0,395

* Medição 1 = altura da lâmina d'água com referência no topo do primeiro biodigestor anaeróbio, medida em ponto aleatório; Medição 2 = altura da lâmina d'água com referência no topo do primeiro biodigestor anaeróbio, medida em outro ponto aleatório; Medição Média = Média realizada das medições 1 e 2; Volume = Volume livre até o topo do primeiro biodigestor sobre a lâmina d'água, calculado.

Fonte: autora.

A média das medições realizadas foi calculada pela seguinte equação:

$$Medição\ Média\ (m) = \frac{Medição\ 1\ (m) + Medição\ 2\ (m)}{2} \quad (1).$$

O volume calculado no primeiro e segundo dias foi calculado pela seguinte equação:

$$Volume = \frac{(dmenor)^2}{4} \times \pi \times (Medição\ Média) \quad (2).$$

Sendo dmenor o diâmetro do menor anel de PVC, posicionado acima da campana de concreto.

O volume calculado no terceiro dia foi calculado por outra equação, pois o nível d'água chegou à profundidade do anel maior (embaixo da campana), sendo calculados por:

$$Volume = \frac{(dmenor)^2}{4} \times \pi \times (hmenor) + \frac{[((dmenor)]]^2)}{4} \times \pi \times (Medição\ Média - hmenor)$$

(3).

Sendo dmaior o diâmetro do maior anel de PVC, posicionado abaixo da campana de concreto e hmenor a altura do menor anel de PVC.

Na tabela 2, constam resultados da diferença entre os volumes realizados entre as medições, dados de vazão entre as medições e vazão média do primeiro biodigestor anaeróbio e na tabela 3, constam dados de medições de diâmetros e altura dos tubos de PVC utilizados nos cálculos. O valor obtido de vazão para este biodigestor é de 1093,12 mm^3s^{-1}, sendo comparado este valor com cálculo da evaporação no período para verificar inconformidade.

Tabela 2 – Cálculos realizados da diferença de volumes entre as medições, vazão entre as medições e vazão média em m^3s^{-1} e $mm^3\ s^{-1}$ do primeiro biodigestor anaeróbio.

Diferença 1 (m^3)	Diferença 2 (m^3)	Vazão 1 ($m^3\ s^{-1}$)	Vazão 2 ($m^3\ s^{-1}$)	Vazão Média ($m^3\ s^{-1}$)	Vazão Média ($mm^3\ s^{-1}$)
0,041	0,143	4,546E-07	1,732E-06	1,093E-06	1093,12

Fonte: autora.

Tabela 3 – Diâmetros e altura dos tubos de PVC utilizados nos cálculos no primeiro biodigestor anaeróbio.

d_{menor} (m)*	h_{menor} (m)*	d_{maior} (m)*
0,5980	0,9625	1,7350

*dmenor = diâmetro do menor anel de PVC, posicionado acima da campana de concreto; hmenor= altura do menor anel de PVC, posicionado acima da campana de concreto; dmaior = diâmetro do maior anel de PVC, posicionado abaixo da campana de concreto.

Fonte: autora.

As Diferenças 1 e 2 (diferença entre os volumes nos dois períodos) foram calculadas pelas seguintes equações:

$$Diferença\,1 = Volume_{dia2} - Volume_{dia1} \quad (4) \text{ e}$$

$$Diferença\,2 = Volume_{dia2} - Volume_{dia2} \quad (5).$$

Sendo os volumes dos dias 1, 2 e 3 (volumedia1, volumedia2 e volumedia3, respectivamente), os volumes indicados na tabela 1.

As vazões 1 e 2 foram calculadas pelas seguintes equações (volumes calculados divididos pelo período de medição):

$$Vazão\,1 = \frac{Diferença\,1}{25\,horas * \left(\frac{60\text{min}}{1h}\right) * \left(\frac{60s}{1\text{min}}\right)} \quad (6) \text{ e}$$

$$Vazão\,2 = \frac{Diferença\,2}{23\,horas * \left(\frac{60\text{min}}{1h}\right) * \left(\frac{60s}{1\text{min}}\right)} \quad (7).$$

A vazão média ($m^3\ s^{-1}$) foi calculada segundo a seguinte equação:

$$Vazão\ Média\ (m^3\ s^{-1}) = \frac{vazão\ 1 + vazão\ 2}{2} \quad (8).$$

E a vazão média ($mm^3\ s^{-1}$) foi calculada pela seguinte conversão de unidades:

$$Vazão\ Média\ (mm^3\ s^{-1}) = Vazão\ Média\ (m^3\ s^{-1}) \times \left(\frac{100mm}{1m}\right)^3 \quad (9).$$

Para ser considerada a evaporação, foram necessárias consultas aos dados de séries históricas metereológicas, acessados em plataforma virtual do INPE (Tabela 4). Foram selecionados dados dos dias 20, 21 e 22 de Junho de 2016, sobre a velocidade do vento em m s^{-1}, pressão no nível da estação em hPa, temperatura do ar em ºC e umidade relativa do ar em (mm-Hg).

Tabela 4 – Dados metereológicos nos dias 20, 21 e 22 de junho.

Data/Hora	Veloc. do Vento (m s^{-1})	Pressão no nivel da estação - HP (hPa)	Temp. do Ar (ºC)	Umidade Relativa do Ar (%)
20/06/2016 09:00	0,5	959,6	14,1	92
20/06/2016 12:00	1,1	961,2	15,4	92
20/06/2016 15:00	1,0	960,6	17,5	82
20/06/2016 18:00	3,1	959,7	17,7	77
20/06/2016 21:00	2,1	960,7	16,4	86
21/06/2016 09:00	1,5	961,5	14,5	86
21/06/2016 12:00	1,5	963,6	15,6	83
21/06/2016 15:00	1,0	963,5	16,7	81
21/06/2016 18:00	1,0	961,6	20,2	68
21/06/2016 21:00	1,5	962,3	17,6	77
22/06/2016 09:00	2,1	960,3	15	85
22/06/2016 12:00	3,6	961,0	16,9	78
22/06/2016 15:00	3,6	959,7	21,7	58
22/06/2016 18:00	2,6	956,9	22,7	55
22/06/2016 21:00	1,0	957,5	20,1	67

Fonte: INPE (2016).

A partir destes dados, foi utilizado método Rohwer (1931) adaptado, para o cálculo da evaporação, conforme equação empírica a seguir:

$$E(pol d^{-1}) = [0{,}771 \times (1{,}465 - 0{,}0186 \times P)] \times \left[(0{,}44 + 0{,}118 \times U_0) \times es \times \left(1 - \frac{UR}{100\%}\right)\right] \quad (10).$$

Sendo P a pressão atmosférica em pol-Hg, U_s a velocidade do vento em mi h^{-1}, es a pressão de saturação do vapor d'água em pol-Hg e UR a umidade relativa do ar (%). O valor de es pode ser obtido na tabela 5.

A partir dos dados, foi calculada evaporação, como pode ser visto na tabela 6.

O valor de E em mm $h^{-1,}$ foi convertido a partir de pol d^{-1} pela seguinte expressão:

$$E(mm\ h^{-1}) = E(pol\ d^{-1}) \times \left(\frac{2{,}54cm}{1pol}\right) \times \left(\frac{10mm}{1cm}\right) \times \left(\frac{1d}{24h}\right) \quad (11).$$

Tabela 5 – Pressão de saturação do vapor d'água em função da temperatura.

T (ºC)	es		T (ºC)	Es		T (ºC)	es		T (ºC)	es	
	Mbar	mm-Hg		mbar	mm-Hg		Mbar	mm-Hg		Mbar	mm-Hg
0	6,11	4,58	11	13,13	9,58	22	26,46	19,85	33	50,36	37,77
1	6,57	4,93	12	14,03	10,52	23	28,11	21,08	34	53,26	39,95
2	7,05	5,29	13	14,98	11,24	24	29,86	22,4	35	56,3	42,23
3	7,58	5,69	14	15,99	11,99	25	31,7	23,78	36	61,14	45,86
4	8,13	6,1	15	17,06	12,8	26	33,64	25,23	37	62,83	47,12
5	8,72	6,54	16	18,19	13,64	27	35,69	26,77	38	66,34	49,8
6	9,35	7,01	17	19,38	14,54	28	37,84	28,38	39	70,01	52,51
7	10,02	7,52	18	20,65	15,49	29	40,1	30,08	40	73,85	55,39
8	10,72	8,04	19	21,98	16,49	30	42,48	31,86	41	77,88	58,41
9	11,48	8,61	20	23,4	17,55	31	44,97	33,73	42	82,1	61,58
10	12,28	9,21	21	24,88	18,66	32	47,6	35,7	43	86,51	64,88

Fonte: Barbosa Jr (2007).

Tabela 6 – Dados metereológicos convertidos e cálculo da evaporação no primeiro biodigestor anaeróbio, de acordo com metodologia de Rohwer (1931).

Data	Horário	Veloc. do Vento (mi h^{-1})	Pressão no nivel da estação (pol-Hg)	Temp. do Ar (oC)	Umid. Relativa do Ar (%)	es (mm-Hg)	es (pol-Hg)	E (pol d^{-1})	E (mm h^{-1})
20/06/2016	09:00:00	1,1	28,3	14,1	92	11,99	0,47	0,37	0,39
	12:00:00	1,1	28,4	15,4	92	12,80	0,50	0,39	0,41
	15:00:00	2,2	28,3	17,5	82	15,49	0,61	1,31	1,39
	18:00:00	6,9	28,3	17,7	77	15,49	0,61	2,99	3,17
	21:00:00	4,7	28,3	16,4	86	13,64	0,54	1,27	1,34
21/06/2016	09:00:00	3,4	28,4	14,5	86	11,99	0,47	0,94	0,99
	12:00:00	3,4	28,4	15,6	83	13,64	0,54	1,29	1,37
	15:00:00	2,2	28,4	16,7	81	13,64	0,54	1,21	1,29
	18:00:00	2,2	28,4	20,2	68	17,55	0,69	2,63	2,79
	21:00:00	3,4	28,4	17,6	77	15,49	0,61	1,98	2,10
22/06/2016	09:00:00	4,7	28,3	15	85	12,80	0,50	1,27	1,35
	12:00:00	8,1	28,3	16,9	78	14,54	0,57	2,96	3,14
	15:00:00	8,1	28,3	21,7	58	19,85	0,78	7,73	8,18

18:00:00	5,8	28,2	22,7	55	21,08	0,83	7,14	7,56
21:00:00	2,2	28,2	20,1	67	17,55	0,69	-	-

Fonte: autora.

Foi então separado o período do estudo em faixas, conforme à separação dos dados disponíveis para se chegar a uma altura de evaporação em cada faixa (Tabela 7).

Tabela 7 – Evaporação calculada no período para o primeiro biodigestor anaeróbio.

Período (h)	E no período (mm)
3	1,16
3	1,24
3	4,16
3	9,50
12	16,08
3	2,97
3	4,10
3	3,86
3	8,37
12	25,20
3	4,04
3	9,41
3	24,55
3	22,67

Fonte: autora.

A evaporação de cada faixa foi então somada e dividida por um período de 48 horas, e depois convertida para mm s^{-1}, conforme equação abaixo.

$$E(mm\ s^{-1}) = E_{total} \times \left(\frac{1h}{60min}\right) \times \left(\frac{1min}{60s}\right) \quad (12).$$

Sendo Etotal a soma de todas as faixas dividida pelo período de 48 horas.

E para o cálculo da evaporação em forma de vazão, realizou-se a seguinte operação:

$$Vazão\ da\ Evaporação\ (mm^3\ s^{-1}) = E(mm\ s^{-1}) \times \frac{dmenor^2}{4} \times \pi \quad (13).$$

No dia 6 de julho de 2016, verificou-se vazamento no segundo biodigestor anaeróbio, onde foi detectada uma obstrução na válvula de limpeza. Esse vazamento foi medido por meio do volume de água perdido (que gotejava) em um intervalo de cinco minutos. Além disso, também se adotou o menor intervalo para a tomada de três medidas do nível d'água neste biodigestor. As medidas do nível d'água foram tomadas nos dias 7 de julho de 2016, às 10h 45min e 16h 09min, e no dia 8 de julho de 2016, às 12h 42min.

Da mesma maneira que no primeiro biodigestor anaeróbio, na tabela 8 constam dados obtidos de medição do nível d'água no segundo biodigestor anaeróbio e cálculo do volume acima da lâmina d'água.

Tabela 8 – Dados de altura da lâmina d'água no segundo biodigestor anaeróbio e volume acima do nível d'água calculado.

Dia	Data	Horário	Medição 1 (m)*	Medição 2 (m)*	Medição Média (m)*	Volume (m^3)*
1	07/07/16	10:45 AM	0,320	0,325	0,323	0,092
2	07/07/16	4:09 PM	0,370	0,355	0,363	0,103
3	08/07/16	12:42 PM	0,450	0,455	0,453	0,129

* Medição 1 = altura da lâmina d'água com referência no topo do segundo biodigestor anaeróbio, medida em ponto aleatório; Medição 2 = altura da lâmina d'água com referência no topo do segundo biodigestor anaeróbio, medida em outro ponto aleatório; Medição Média = Média realizada das medições 1 e 2; Volume = Volume livre até o topo do segundo biodigestor sobre a lâmina d'água, calculado.

Fonte: autora.

Também, da mesma maneira que o primeiro biodigestor anaeróbio, na tabela 9, estão a diferença entre os volumes realizados entre as medições, dados de vazão entre as medições e vazão média do segundo biodigestor anaeróbio, também com o valor do vazamento da válvula. Os valores foram calculados da mesma maneira, mudando apenas o período entre medições nas equações (6) e (7) para 5,4 e 20,55 h, respectivamente.

Na tabela 10, constam dados de medições de diâmetros e altura dos tubos de PVC utilizados nos cálculos.

Tabela 9 – Cálculos realizados da diferença de volumes entre as medições, vazão entre as medições e vazão média em m^3s^{-1} e $mm^3\ s^{-1}$ do segundo biodigestor anaeróbio e vazamento da válvula no segundo biodigestor anaeróbio.

Diferença 1 (m^3)	Diferença 2 (m^3)	Vazão 1 ($m^3\ s^{-1}$)	Vazão 2 ($m^3\ s^{-1}$)	Vazão Média ($m^3\ s^{-1}$)	Vazão Média ($mm^3\ s^{-1}$)	Vazamento ($mm^3\ s^{-1}$)
0,011	0,026	5,850E-07	3,459E-07	4,654E-07	465,45	347,54

Fonte: autora.

Tabela 10 – Diâmetros e altura dos tubos de PVC utilizados nos cálculos no segundo biodigestor anaeróbio.

d_{menor} (m) *	h_{menor} (m) *	d_{maior} (m) *
0,6016	0,9150	2,1160

*dmenor = diâmetro do menor anel de PVC, posicionado acima da campana de concreto; hmenor= altura do menor anel de PVC, posicionado acima da campana de concreto; dmaior = diâmetro do maior anel de PVC, posicionado abaixo da campana de concreto.

Fonte: autora.

Na tabela 11, encontram-se os dados metereológicos obtidos nas séries históricas do INPE, para os dias do controle de vazão realizado no segundo e terceiro biodigestor anaeróbio.

Tabela 11 – Dados metereológicos nos dias sete e oito de julho.

Data/Hora	Veloc. do Vento ($m\ s^{-1}$)	Pressão no nível da estação (hPa)	Temp. do Ar (ºC)	Umidade Relativa do Ar (%)
07/07/2016 09:00	0,0	955,6	15,9	83
07/07/2016 12:00	2,6	957,5	19,2	52
07/07/2016 15:00	3,1	956,9	22,9	23
07/07/2016 18:00	2,1	954,9	24,7	26
07/07/2016 21:00	1,5	956,5	18,5	46
08/07/2016 09:00	0,5	961,3	6,8	89
08/07/2016 12:00	1,5	963,0	*	*
08/07/2016 15:00	1,5	961,8	18,7	51
08/07/2016 18:00	1,0	959,5	22,3	32
08/07/2016 21:00	2,1	960,0	18,5	51

OBS.: valores substituídos por asteriscos não constavam na série de dados e, por isto, período correspondente foi desconsiderado nos cálculos de evaporação.

Fonte: INPE (2016).

A partir dos dados, foi calculada evaporação, como pode ser visto na tabela 12.

Tabela 12 – Dados metereológicos convertidos e cálculo da evaporação no segundo e terceiro biodigestor anaeróbio, de acordo com metodologia de Rohwer (1931).

Data	Horário	Veloc. do Vento ($mi\ h^{-1}$)	Pressão no nivel da estação (pol-Hg)	Temp. do Ar (ºC)	Umid. Relat. do Ar (%)	es (mm-Hg)	es (pol-Hg)	E ($pol\ d^{-1}$)	E ($mm\ h^{-1}$)
07/07/2016	09:00:00	0,0	28,2	15,9	83	13,64	0,54	0,03	0,05
	12:00:00	5,8	28,2	19,2	52	17,55	0,69	0,25	0,50
	15:00:00	6,9	28,2	22,9	23	21,08	0,83	0,54	1,08
	18:00:00	4,7	28,2	24,7	26	23,78	0,93	0,46	0,93
	21:00:00	3,4	28,2	18,5	46	16,49	0,65	0,20	0,39
08/07/2016	09:00:00	1,1	28,4	6,8	89	7,52	0,30	0,01	0,02
	12:00:00	*	*	*	*	*	*	*	*
	15:00:00	3,4	28,4	18,7	51	16,49	0,65	0,18	0,19
	18:00:00	2,2	28,3	22,3	32	19,85	0,78	0,25	0,26
	21:00:00	4,7	28,3	18,5	51	16,49	0,65	0,21	0,22

OBS.: valores substituídos por asteriscos não foram calculados.

Fonte: autora.

Separou-se também o período do estudo em faixas, conforme a separação dos dados disponíveis para se chegar a uma altura de evaporação em cada faixa no segundo biodigestor anaeróbio (Tabela 13).

Tabela 13 – Evaporação calculada no período para o segundo biodigestor anaeróbio.

Período (h)	E no período (mm)
0,75	0,04
3	1,50
3	3,24
3	2,78
12	4,72
3	0,07
0,7	0,02

Fonte: autora.

No terceiro biodigestor anaeróbio, também foi adotado menor período para a medição da altura do nível d'água no tanque, devido ao risco de desabamento de um muro de arrimo mal dimensionado e executado. As medidas foram tomadas nos dias 7 de julho de 2016, às 10h 48min e 16h 12min, e em 8 de julho de 2016, às 12h 42min.

A tabela 14 se trata dos dados obtidos de medição do nível d'água no segundo biodigestor anaeróbio, constando nela também o cálculo do volume acima da lâmina d'água.

Tabela 14 – Dados de altura da lâmina d'água no terceiro biodigestor anaeróbio e volume acima do nível d'água calculado.

Dia	Data	Horário	Medição 1 (m) *	Medição 2 (m) *	Medição Média (m) *	Volume (m^3)*
1	07/07/16	10:48 AM	0,655	0,660	0,658	0,187
2	07/07/16	4:12 PM	0,665	0,660	0,663	0,188
3	08/07/16	12:42 PM	0,680	0,680	0,680	0,193

* Medição 1 = altura da lâmina d'água com referência no topo do terceiro biodigestor anaeróbio, medida em ponto aleatório; Medição 2 = altura da lâmina d'água com referência no topo do terceiro biodigestor anaeróbio, medida em outro ponto aleatório; Medição Média = Média realizada das medições 1 e 2; Volume = Volume livre até o topo do terceiro biodigestor sobre a lâmina d'água, calculado.

Fonte: autora.

Também da mesma maneira que o primeiro e segundo biodigestores anaeróbios, na tabela 15, estão a diferença entre os volumes realizados entre as medições, dados de vazão entre as medições e vazão média do terceiro biodigestor anaeróbio. Os valores foram calculados da mesma maneira, mudando apenas o período entre medições nas equações (6) e (7) para 5,1 e 20,08 h, respectivamente.

Na tabela 16, constam dados de medições de diâmetros e altura dos tubos de PVC utilizados nos cálculos.

Tabela 15 – Cálculos realizados da diferença de volumes entre as medições, vazão entre as medições e vazão média em m^3s^{-1} e $mm^3\ s^{-1}$ do terceiro biodigestor anaeróbio.

Diferença 1 (m^3)	Diferença 2 (m^3)	Vazão 1 ($m^3\ s^{-1}$)	Vazão 2 ($m^3\ s^{-1}$)	Vazão Média ($m^3\ s^{-1}$)	Vazão Média ($mm^3\ s^{-1}$)
0,001	0,005	7,743E-08	6,883E-08	7,313E-08	73,13

Fonte: autora.

Tabela 16 – Diâmetros e altura dos tubos de PVC utilizados nos cálculos no terceiro biodigestor anaeróbio.

d_{menor} (m) *	h_{menor} (m) *	d_{maior} (m) *
0,6017	0,9975	2,5440

*dmenor = diâmetro do menor anel de PVC, posicionado acima da campana de concreto; hmenor= altura do menor anel de PVC, posicionado acima da campana de concreto; dmaior = diâmetro do maior anel de PVC, posicionado abaixo da campana de concreto.

Fonte: autora.

A evaporação do período em faixas, conforme a separação dos dados disponíveis, para se chegar a uma altura de evaporação em cada faixa no terceiro biodigestor anaeróbio encontra-se na tabela 17.

Tabela 17 – Evaporação calculada no período para o terceiro biodigestor anaeróbio.

Período (h)	E no período (mm)
0,8	0,04
3	1,50
3	3,24
3	2,78
12	4,72
3	0,07
0,7	0,02
0	0,00
0	0,00

Fonte: autora.

A avaliação dos vazamentos aliada à observação de danos permitiu o traçado do possível caminho de contaminação com a desativação da MiniEETERA.

Em setembro de 2016, foi constatada a não existência de piezômetros nesta estação e, a partir desta observação, foram consultadas as normas NBR 15495-01/2007 e 02/2009, assim como trabalhos de outros autores (PARRON et al., 2011; ZANATTA e RAMAGE, 2014),

para a instalação de piezômetros na MiniEETERA, recomendados para o controle de possível contaminação da estação quando esta voltar a funcionar.

Em outubro de 2016 foi realizado o teste de percolação na área da última lagoa de estabilização, a fim de ser realizado um levantamento preliminar de dados para futura análise das lagoas ba MiniEETERA, pois elas foram construídas sem o emprego de geomembranas e sem análises do solo da região. Este teste foi realizado com a abertura de uma trincheira de 30 cm x 30 cm e 40 cm de profundidade, sendo colocado 10 cm de brita zero e adicionado água até criar uma lâmina de 20 cm sobre a camada de brita, cronometrando a infiltração total dos 20 cm (NUVOLARI, 2003).

Para o levantamento altimétrico foi realizado o estudo do nível dos componentes da estação empregando, nível óptico com respectivo tripé, mira, baliza e trena para a confecção do croqui da estação.

A partir destes estudos preliminares foi proposto um modelo de adequação para a reativação da MiniEETERA. Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada a revisão bibliográfica sobre a legislação e a normatização para o tratamento de esgotos e construção de Estações de Tratamento de Esgotos. Entre as normas brasileiras, foram empregadas a NBR 9.648/1986, a NBR 7.229/1993, a NBR 13.969/1997 e a NBR 12.209/2011 para fundamentar a avaliação do projeto e das etapas de construção da MiniEETERA. As resoluções do CONAMA nº 357/2005, nº 410/2009 e nº 430/2011 foram revisadas para propor as análises necessárias no efluente, de acordo com metodologias descritas em Standard Methods (2012).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

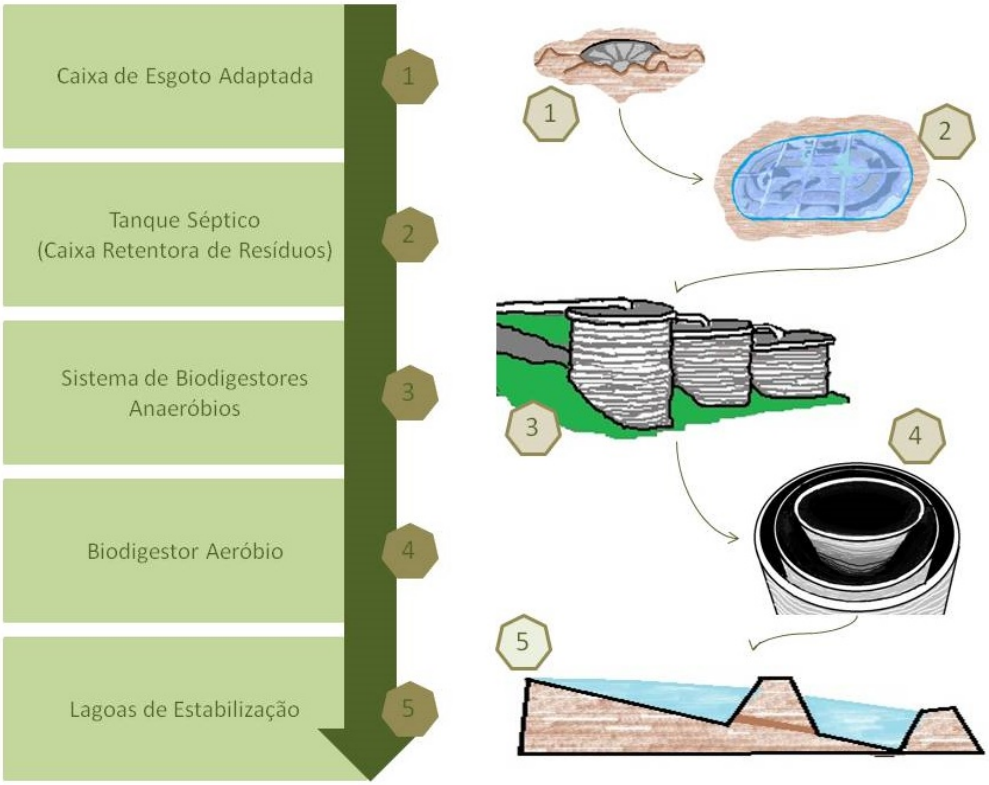
5.1. AVALIAÇÃO DO PROJETO DA MINIEETERA

No projeto inicial foi proposto o reuso da água, que não foi efetivado, por isso, a estação, antes denominada de Mini Estação Ecoeficiente de Tratamento de esgoto e Reuso de Água (MiniEETERA), passou a ser tratada neste trabalho como Mini Estação de Tratamento de Esgoto (MiniETE).

Pôde-se, a partir do estudo do projeto e análise de campo da MiniETE, criar uma representação esquemática de seus componentes, apresentada na figura 2, assim como, descrever o seu funcionamento previsto em fase de idealização.

Para meio de padronização, os componentes da MiniETE são identificados pela mesma nomenclatura fixada na discussão, a seguir, divergindo da nomenclatura escolhida por Godoy Júnior (2010).

Figura 2 – Representação esquemática dos componentes da MiniETE implantada na Unesp, campus de Guaratinguetá.



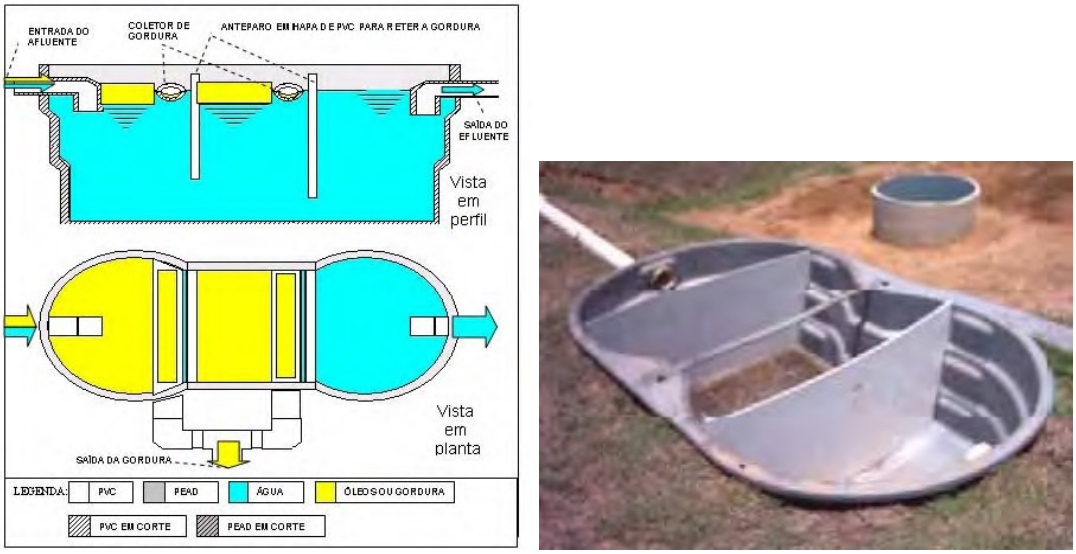
Fonte: autora.

No projeto de Godoy Júnior (2010) consta que a MiniEETERA é composta por três sistemas: pré-tratamento, que corresponde à junção do tratamento preliminar e primário; tratamento, que se refere ao tratamento secundário e pós-tratamento, que por definição pode-se concluir que teria a função de um tratamento terciário. Na avaliação de campo da MiniETE verificou-se que o esgoto bruto é inserido no sistema por meio de uma caixa de esgoto, adaptada precariamente para esta função, passando por um encanamento enterrado em PVC até um tanque séptico (caixa retentora de resíduos).

Pré-tratamento: O tanque séptico é assim chamado, neste trabalho, por ser muito semelhante fisicamente a um tanque séptico, além de serem atribuídas a este componente as mesmas funções deste tipo de método de tratamento. Entretanto, ele é chamado de sistema de retenção de resíduos por Godoy Júnior (2010). O tanque séptico foi projetado com a função de reter sólidos grosseiros (pontas de cigarro, hastes plásticas de limpeza de orelhas, cabelos e outros corpos), areias, óleos e gorduras do efluente (Figura 3).

Mais informações a respeito da atribuição deste componente à função de um tanque séptico são discutidas na seção referente à NBR 7229/1993.

Figura 3 - Tanque séptico, denominado de sistema de retenção de resíduos por Godoy Júnior (2010), utilizado no pré-tratamento do esgoto. (a) Projeto apresentado (b) Projeto implantado.



(a) (b)

OBS.: em projeto (a), Godoy Júnior (2010) prevê a existência de abertura de comunicação entre as câmaras, ausente no observado em campo (b).

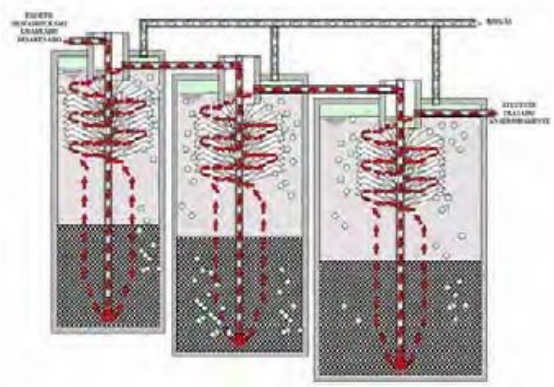
Fonte: (a) Godoy Júnior (2010), (b) autora.

Os sólidos grosseiros devem ser retidos por meio de grade fina em PVC, a areia precipitada, e óleos e gorduras, retidos por meio de um sistema de barreira e dreno da camada de óleo sobrenadante, por meio de cano rasgado na superfície. Este último processo, com finalidade de drenar os óleos no sistema não foi identificado em inspeção visual.

A construção do tanque séptico se deu por meio de uma caixa d'água de 1.000 litros, em polietileno, com dois furos para a entrada e saída do esgoto, a partir de canos e conexões em PVC; um pedaço de tela de náilon preso no cano de saída do efluente, de maneira a bloquear sólidos grosseiros; e chapas de 3mm de PVC inseridas na caixa d'água com função de criar três compartimentos no tanque séptico. Em seu planejamento, sua operação era prevista a ocorrer de maneira que o esgoto bruto entrasse por um tubo na parte superior do sistema e, devido à redução de velocidade e à diferença de densidade, se separasse em três fases: óleos (com menor densidade), efluente clarificado, e sólidos grosseiros (com maior densidade). Neste sistema, o efluente passa para uma segunda câmara, que não foi detalhada no trabalho de Godoy Júnior (2010), por meio de uma barreira com fissuras, com o propósito de criar um efeito de "gradeamento". Do mesmo modo, o efluente é transportado para uma terceira câmara, de onde, por último, é conduzido para o duto de saída, protegido por tela, para impedir a passagem de possíveis sólidos grosseiros que permaneceram no sistema. Posteriormente, o efluente é direcionado a um sistema de biodigestores anaeróbios. No projeto não estão previstos períodos e mecanismos de manutenção e limpeza do tanque séptico, nem disposição do resíduo gerado.

Tratamento: trata-se de um sistema de biodigestores anaeróbios de fluxo ascendente, em manto de lodo (UASB), disposto em série, com um sistema de separação de fases em formato helicoidal. Este sistema foi confeccionado basicamente em PVC e concreto armado, composto por três tanques cilíndricos de diferentes dimensões: primeiro UASB possui diâmetro de 1,5 m de altura e 5 m (com volume de 8.831 litros), o segundo, diâmetro de 2 m e altura de 5 m (com volume de 15.700 litros), e o terceiro, diâmetro de 2,5 m e altura de 5 m (com volume de 24.531 litros) – o aumento gradual dos diâmetros tem a função de reduzir a velocidade ascendente do efluente. O dimensionamento, segundo Godoy Júnior (2010), deu-se devido à disponibilidade de dimensões de tubos de PVC no mercado (Figura 4).

Figura 4 – Sistema de tratamento por meio de biodigestores anaeróbios de fluxo ascendente, em manto de lodo, UASB, disposto em série.



OBS.: cada biodigestor foi construído por um cilindro (a partir de um anel maior de PVC sob a campana de concreto, a campana e um anel menor de PVC sobre a campana).

Fonte: Godoy Júnior (2010)

Em sua concepção, a operação prevista funcionava de modo que o efluente pré-tratado alimentava o sistema, no primeiro biodigestor da sequência, por meio de tubulação na parte superior que desce até o fundo do biodigestor, liberando o efluente em sua base. O efluente é então digerido na zona de digestão, onde são liberadas mini bolhas de biogás na superfície dos grânulos de lodo. A eficiência desta digestão depende do tempo de retenção hidráulica. Na zona de separação de fases sólida-líquida-gasosa, por meio de um separador de fases em formato helicoidal, apenas o efluente chega à parte superior, onde é direcionado à saída, conectada ao segundo biodigestor anaeróbio, no qual acontecem os mesmos processos descritos, assim como no terceiro biodigestor anaeróbio. Finalmente, um encanamento aéreo, também de PVC, leva o efluente ao biodigestor aeróbio.

O sistema de biodigestores anaeróbios possui volume de tancagem de 46 m³ e, segundo o projeto, foi dimensionado adotando tempo de retenção hidráulica do sistema de 24 horas, sendo esta escolhida em função da coleta do biogás, mas os cálculos para a determinação da retenção hidráulica não foram demonstrados no projeto de Godoy Júnior (2010). Este autor também estabeleceu que este sistema estaria apto a um aumento de vazão de 12 horas (também sem demonstrar os cálculos para esta determinação, citando apenas que esse valor seria encontrado ao se dobrar a população de 1200 pessoas para 2400 pessoas – não sendo esclarecida, também, a maneira pela qual foram levantados os dados da população atendida).

Segundo Godoy Júnior (2010), foi utilizado lodo granular floculento proveniente de tratamento anaeróbio de efluente de cervejaria. No caso, com lodo doado oriundo da Unidade

da Kaiser, em Jacareí (SP). No projeto recomendou-se a remoção de 1/3 do volume de lodo anaeróbio, ao sinal de curto circuito hidráulico, fluxo da entrada diretamente para a saída, em qualquer um dos reatores, ou a cada seis meses para o aeróbio.

Pós-tratamento: trata-se de um biodigestor que em sua descrição em projeto tem a função de criar um ambiente aeróbio, seguido de um ambiente anóxico. Confeccionado em PVC e concreto armado, possui volume de tancagem de 9m³. Seu funcionamento é proposto de maneira que, primeiramente, o efluente anaerobiamente tratado alimenta a parte superior do tubo central e, em fluxo ascendente, atravessa um manto de lodo aeróbio – no projeto inicial, Godoy detalha em certo momento uma aeração por bolha fina e, em outro, por meio de roda d'água. Esta última chegou a ser construída (Figura 5), mas não chegou de fato a ser utilizada no sistema em funcionamento, sendo a aeração executada apenas pela queda d'água diretamente do encanamento aéreo para o sistema.

Figura 5 – Pós-tratamento por meio de biodigestor com a função de criar ambiente aeróbio, seguido de um ambiente anóxico, confeccionado em PVC e concreto armado, com volume de tancagem de 9m³.

Fonte: autora.

Ainda no projeto, o efluente deveria cair pelo centro do biodigestor aeróbio, passar pela parte inferior do tubo central, entrar na parte inferior de um tubo de maior diâmetro, em fluxo ascendente e atravessar o manto de lodo aeróbio desse segundo tubo, para então entrar em uma zona de decantação, e os micro-organismos aeróbios presentes nesse lodo digerirem a matéria orgânica que não foi digerida no sistema anaeróbio, além de promover a nitrificação do nitrogênio amoniacal em nitrato. Como a etapa de aeração não foi executada como no projeto, não se sabe se a taxa de aeração estaria compatível com o modelo de tratamento proposto no projeto inicial.

Em seguida, segundo o projeto, o efluente segue para um terceiro tubo de diâmetro maior que o segundo e atravessa em sentido descendente um manto de lodo anóxico, na base

de um quarto tubo de diâmetro ainda maior que os tubos anteriores, e atravessa em sentido ascendente o manto de lodo anóxico do quarto tubo, passa pela zona de decantação e é conduzido para fora do sistema aeróbio e anóxico. Os micro-organismos anóxicos, presentes nesse lodo, desnitrificam, segundo o autor, os nitratos na forma de nitrogênio gasoso e removem parte do fósforo na forma de biomassa bacteriana do lodo.

Apesar da descrição deste processo no projeto (que inicialmente esse era para ser composto por quatro anéis), foi verificado que atualmente ele conta com apenas três (Figura 6).

Figura 6 – Anéis do biodigestor no processo de tratamento aeróbio.

Fonte: autora.

De acordo com Jimenez et al. (1987) e Çeçen e Gonec (1992), a configuração idealizada para a série de nitrificação e desnitrificação do esgoto deve ocorrer quando parte do esgoto sanitário alimenta um primeiro ambiente aeróbio e o efluente nitrificado desta unidade se combina com outra parte do esgoto bruto para alimentar outro ambiente não aerado, fechado, para transformação das formas de nitrogênio para o gás nitrogênio. Desta maneira, o sistema idealizado por Godoy Júnior (2010) não corresponde ao modelo proposto de sistema aeróbio-anóxico, sendo tratado no atual trabalho como apenas biodigestor aeróbio.

Como foi constatado que este sistema não foi eficiente, recomenda-se, no caso de subtração de nutrientes do efluente por método microbiológico, criar câmaras fechadas distintas para a oxigenação por bolha fina em biodigestor aeróbio e para criação de ambiente anóxico. No caso de outros métodos biológicos, recomenda-se a utilização de tratamento por alagados construídos ou cultivo de microalgas, devido a seu alto potencial de acúmulo de nutrientes.

Além disso, avaliando a maneira que o sistema foi projetado e executado (o efluente do terceiro biodigestor anaeróbio chega ao biodigestor aeróbio por encanamento aéreo), verificou-se que podem ocorrer riscos à saúde pública devido a grande exposição do efluente. Neste caso, recomenda-se a utilização de encanamento subterrâneo em substituição ao aéreo.

Sistemas de Lagoas: as lagoas estão à jusante do biodigestor aeróbio e o sistema é composto por duas lagoas em série. No projeto, foi considerada apenas a função de armazenamento e não a de tratamento das lagoas. O efluente tratado, depois de ser armazenado nas lagoas, deveria ser aplicado em fertirrigação, mas esta prática não foi realizada. As duas lagoas têm capacidade, cada uma, de 10 m³ e foram construídas diretamente no solo, com bordos feitos com terra e pedrisco. Como o efluente não foi direcionado à fertirrigação, foi conduzido para a saída que ligava até o sistema de coleta da operadora municipal SAEG, no período em que a MiniETE esteve ativa (Figura 7).

Figura 7 – Último componente do sistema de lagoas, onde o efluente gerado na MiniETE é direcionado para a captação da SAEG.

Fonte: autora.

5.2. CONFORMIDADE DO PROJETO E NORMATIZAÇÃO EXIGIDA

5.2.1. **NBR 9648/1986**

A NBR 9648/1986 trata dos requisitos necessários para a elaboração do projeto de estações de tratamento de esgoto. Nela, encontram-se diretrizes sobre levantamentos necessários e ações previstas quando se elaboram tais estações. A seguir, discute-se a observância do preenchimento destes requisitos na elaboração do projeto da MiniETE, além de se procurar fornecer as informações requisitadas quando estas não foram fornecidas por Godoy Júnior (2010).

Esta norma estabelece a necessidade de levantamentos para a confecção de plantas topográficas confiáveis, em escala compatível com a precisão requerida para o estudo e visualização das diferentes concepções. No entanto, este levantamento não consta no projeto da MiniETE, e foi apresentada apenas a figura de uma planta do campus (desatualizada para a época). Além disso, a escala, apesar de não ser informada no desenho, é visivelmente

inadequada para detalhamento do projeto. Por isto, é necessária a realização do levantamento descrito.

Neste trabalho, devido à deficiência destes dados, foi realizado um levantamento de nível com nível óptico, conforme descrito na metodologia, para servir de embasamento do estudo, cujos resultados são apresentados na tabela 18. A localização dos pontos e distâncias medidas com trena podem ser observadas no croqui apresentado na figura 8.

Este levantamento serve apenas de embasamento de estudo, sendo recomendado, no entanto, um levantamento topográfico cadastral completo e preciso da área.

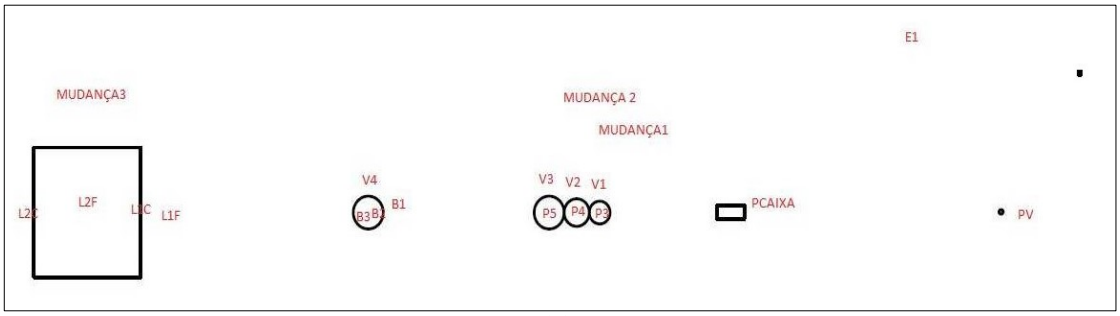
Tabela 18 – Dados obtidos no levantamento altimétrico em campo.

Ponto*	Ré (m)	Vante (m)	Cota (m)
E1	0,8		100
PV		2,563	98,237
PCAIXA		3,588	94,649
MUDANÇA 2		3,865	90,784
MUDANÇA 2	0,198		
P3		0,356	90,626
P4		0,787	89,839
P5		1,292	88,547
MUDANÇA 3		3,114	85,433
MUDANÇA 3	0,121		
V1		1,372	84,182
V2		2,645	81,537
V3		2,941	78,596
V4		3,564	75,032
B1		1,288	73,744
B2		1,135	72,609
B3		1,002	71,607
L1F		3,970	67,637
L1C		3,342	64,295
MUDANÇA 3		3,635	60,660
MUDANÇA 3	1,512		
L2F		2,385	59,787
L2C		1,222	58,565

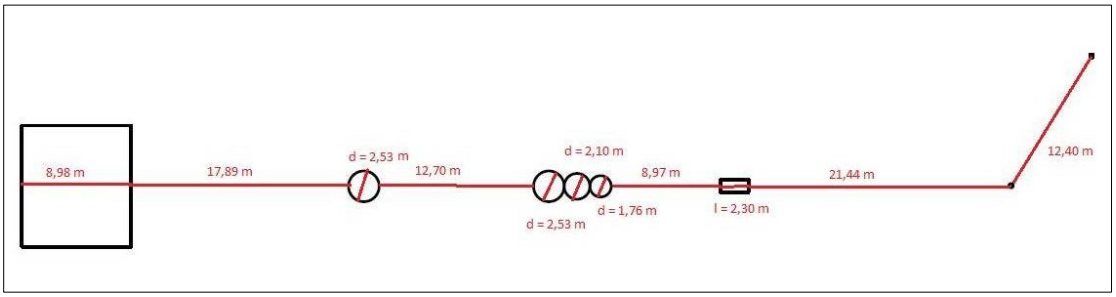
* Ponto E1 = primeira localização da mira, com referência no PV; PV = caixa de esgoto; PCAIXA (ponto localizado no canto da tampa) = tanque séptico; MUDANÇA 2 = segunda localização da mira, com referência no P3; P3 = primeiro biodigestor anaeróbio (ponto sobre o gasômetro); P4 = segundo biodigestor anaeróbio (ponto sobre a campana); P5 = terceiro biodigestor anaeróbio (ponto sobre a campana); V1 = válvula superior do primeiro biodigestor anaeróbio; V2 = válvula inferior do segundo biodigestor anaeróbio; V3 = válvula inferior do terceiro biodigestor anaeróbio; V4 = primeira válvula do biodigestor aeróbio; B1 = anel de maior diâmetro do biodigestor aeróbio; B2 = anel de diâmetro médio do biodigestor aeróbio; B3 = anel de menor diâmetro do biodigestor aeróbio; L1F = fundo da primeira lagoa; L1C = crista da primeira lagoa; MUDANÇA 3 = terceira localização da mira, com referência na caixa de saída do efluente pela segunda lagoa; L2F = fundo da segunda lagoa; L2C = crista final da segunda lagoa.

Fonte: autora.

Figura 8 – Croqui da MiniETE com pontos gerados pelo levantamento altimetrico (a) e distancias medidas com trena (b)



(a)



(b)

Fonte: autora.

Além disso, em consulta à Direção Técnica de Serviços do Campus de Guaratinguetá, verificou-se a existência de folha topográfica do IBGE nº 285 – Guaratinguetá (SF – 23 – Y – B – VI – 4), utilizada para cadastro da área de captação de água subterrânea do campus. Todas as informações obtidas para o cadastro são de responsabilidade do Geólogo André Vagner Aragoni (CREA 0601483277), exceto as análises de qualidade da água, efetuadas pela empresa AMPRO análises industriais.

A norma também recomenda o levantamento de dados sobre recursos hídricos da região que podem influir no sistema e, por estes, o sistema ser influenciado. Quanto a isto, no projeto inicial da MiniETE constam dados sobre o lençol freático, que serve de abastecimento potável para o campus. Godoy Júnior (2010), expõe em seu trabalho que o campus consome em média 70.000 litros de água por dia, pagando-se junto a ANA (Agência Nacional de Águas), pela captação da água subterrânea.

Apenas estes dados a respeito deste corpo d'água foram apresentadas no projeto, sendo insuficientes, visto que esta atividade pode influenciar diretamente na qualidade da

água em caso de mau funcionamento e de imprevistos. Por isto, para efeito deste trabalho, foram coletados mais dados a respeito desta captação, expostos a seguir.

Segundo a Direção Técnica de Serviços do Campus de Guaratinguetá, são exploradas as águas subterrâneas como manancial, e estas são bombeadas por dois poços licenciados pelo DAEE, em 2015, com validade até 2021. Os poços, de 150 m e 108,50 m de profundidade, encontram-se ao lado do bloco cinco (bloco de sala de aulas) e próximo ao Centro de Energias Renováveis, nas coordenadas UTM N/S: 7478,400 km N e UTM E/W: 480,400 km E; e UTM N/S: 7476,253 km N e UTM E/W: 480,185 km E, respectivamente. A água proveniente destes poços é clorada e tem seu controle de qualidade realizado mensalmente por empresa terceirizada. O monitoramento do lençol freático para a captação da água é realizado a cada processo de renovação de autorização (com duração de cinco anos), sendo a água do aquífero multicamadas, pertencente à Bacia Paraíba do Sul. Em 2015, a vazão de exploração registrada foi de 14 $m^3\ h^{-1}$, em um período de bombeamento de 7 h dia^{-1}, sendo também estes os valores de vazão máxima permitida para captação, e vazão média diária.

A água proveniente dos poços é analisada quanto aos parâmetros sólidos dissolvidos totais, alumínio total, antimônio, arsênio, bário total, cádmio total, cobre total, cromo total, ferro total, manganês total, mercúrio total, selênio total, sódio total, zinco total, amônia, cloretos, cor aparente, detergentes, fluoreto, nitrogênio nitrato, nitrogênio nitrito, sulfato, turbidez, cloro residual livre, pH à 25ºC, *Escherichia coli*, coliformes e contagem de bactérias heterotróficas. É possível se obter séries históricas destes resultados a partir da data de 21 de julho de 2015 com a Direção Técnica de Serviços do Campus.

Segundo a Norma, é requisito para a criação de projetos de ETEs o levantamento de características físicas da região em estudo. Entre elas estão: o relevo do solo (identificação dos acidentes e principais alterações previstas e a sua influência na concepção do sistema), informações meteorológicas (séries históricas de temperaturas, ventos, insolação, evaporação e chuvas), informações geológicas (natureza e camadas constituintes do subsolo, níveis de lençol freático, mapas geológicos, relatórios de sondagem e de ensaios do solo e informações locais), informações fluviométricas (séries históricas dos cursos d'água da região, suas vazões de estiagem, e informações locais sobre os níveis de enchentes), corpos receptores existentes e prováveis (informações fundamentais para avaliação dos efeitos do esgoto sanitário, sua classificação segundo legislação vigente e dados demográficos disponíveis e sua distribuição espacial).

O relevo do solo não foi levantado pelo projeto inicial, sendo recomendado um levantamento para o projeto de reforma da MiniETE.

Os únicos dados presentes em projeto inicial, relacionados à meteorologia, são o clima da região (classificado como quente e seco, com inverno seco e verão úmido, segundo a classificação KOPPEN), a precipitação anual (de 1.800 mm) e a temperatura média anual (de 23^{o}C), não havendo dados em projetos sobre as séries históricas de temperatura, ventos, insolação, evaporação e precipitação. Existem séries históricas meteorológicas do município de Guaratinguetá no Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo recomendado o estudo destas para a elaboração do projeto.

Não havia também informações geológicas no projeto inicial. Para complementá-lo, então, procuraram-se informações disponíveis no entorno (disponibilizadas pela Direção Técnica de Serviços do Campus), e obteve-se informação a respeito do perfil geológico em local próximo (nos locais de captação de água), expostos abaixo na tabela (Tabela 19).

Tabela 19 – Perfil geológico da área de captação da água da Unesp, campus de Guaratinguetá.

Litologia	H_0*	H_f*
	---------- m----------	
Areia fina à muito fina, amarelada;	0,00	4,00
Areia fina à grossa, alaranjada;	4,00	6,00
Arenito grosso, avermelhado;	6,00	10,00
Arenito médio a grosso, avermelhado, quartzoso;	10,00	14,00
Arenito médio a grosso, amarelado;	14,00	20,00
Arenito médio a fino, alaranjado;	20,00	24,00
Argilito, alaranjado;	24,00	32,00
Arenito médio a grosso, amarelado;	32,00	46,00
Arenito médio a grosso, argiloso, alaranjado;	46,00	82,00
Argilito, amarelado;	82,00	90,00
Arenito médio a grosso, alaranjado;	90,00	96,00
Argilito, amarelo claro;	96,00	100,00
Arenito fino amédio, alaranjado;	100,00	104,00
Argilito, amarelado;	104,00	110,00
Argilito, cinza esverdeado;	110,00	124,00
Arenito médio a grosso, cinza escuro;	124,00	126,00
Argilito, cinza esverdeado;	126,00	130,00
Arenito, médio a grosso, cinza claro	130,00	151,56

*H_0 = profundidade inicial da camada e H_f = profundidade final da camada de solo

Fonte: Direção Técnica de Serviços do Campus de Guaratinguetá (2015).

Fonte: autora.

As informações fluviométricas não foram levantadas em projeto, sendo necessário que se realize tal levantamento. Além disso, não foram estabelecidos corpos receptores existentes e prováveis, de maneira que os padrões de qualidade exigidos para o efluente têm sua determinação incompleta.

Esta Norma também estabelece que é necessário a tomada de dados demográficos disponíveis e sua distribuição espacial. No projeto, apenas consta que a população atendida é de 1200 pessoas, sem explicar como estes dados foram coletados.

Para desenvolvimento destes estudos preliminares foram obtidos dados referentes à população do campus, junto a representantes da Diretoria Técnica Acadêmica, da Seção Técnica da Graduação, da Secretaria do Ensino Médio do Colégio Técnico e da Administração do Campus, no mês de abril de 2016 e no mês de setembro de 2017.

As informações a respeito do estudo da ocupação do bloco de salas de aula (bloco cinco) encontram-se na tabela 20, abaixo.

Tabela 20 – População no bloco de salas de aula em abril de 2016.

Grupos	**Nº de Pessoas**
Ocupação Máxima das Salas do Ensino Superior	787
Docentes do Ensino Médio	45
Alunos do Ensino Médio	562
Técnico Administrativos	195

Fontes: Diretoria Técnica Acadêmica, no mês de setembro de 2017 e Seção Técnica de Graduação, Secretaria do Ensino Médio do Colégio Técnico e da Administração do Campus, no mês de abril de 2016.
Fonte: autora.

Além do uso de sanitários da população do bloco de salas de aulas, deve-se considerar a contribuição de todo o campus na cantina. A população do campus foi considerada a partir da quantificação de grupos de pessoas, separadas entre os funcionários técnico-administrativos, funcionários docentes que lecionam ao Ensino Médio do Colégio Técnico, funcionários docentes que lecionam ao Ensino Superior, alunos do Ensino Médio do Colégio Técnico, e alunos do Ensino Superior (que não estão em estado de intercâmbio ou em condição especial), conforme resultados apresentados na tabela 21.

Tabela 21 – População da Unesp, campus de Guaratinguetá em abril de 2016.

Grupos	**Nº de Pessoas**
Técnicos Administrativos	195
Docentes do Ensino Médio	45
Docentes do Ensino Superior	146
Alunos do Ensino Médio	562
Alunos do Ensino Superior	1977

Fontes: Seção Técnica de Graduação, Secretaria do Ensino Médio do Colégio Técnico e da Administração do Campus, no mês de abril de 2016.
Fonte: autora.

A população total do bloco da sala de aulas é da ordem de 1600 pessoas, sendo este um número superior ao utilizado no projeto de Godoy Júnior (2010), de 1.200 usuários, não sendo informada em seu trabalho, a metodologia utilizada para este levantamento. Além disso, Godoy Júnior (2010) não evidencia se considera a população de todo o campus (na ordem de 3000 pessoas) para calcular a contribuição da cantina, conforme deveria ser realizado com tabela presente na NBR 7229/1993.

Esta Norma também estabelece o levantamento da comunicação local e regional (correios e telégrafos, telefones, radioamadores e similares). O levantamento destes dados não foi apresentado por Godoy Júnior (2010), devendo ser realizado no caso de reforma da MiniETE.

São exigidas pela Norma as informações a respeito de acessos (estradas de rodagem e de ferro, navegação aérea, fluvial e marítima, facilidades para transporte dos materiais e dos equipamentos necessários à execução das obras) na região da MiniETE. No trabalho de Godoy Júnior (2010), a planta apresentada está desatualizada a respeito das construções no terreno do campus, mas encontra-se atualizada em relação às vias de acesso para a área (Figura 9). O acesso ao campus se dá pela entrada principal (Portaria um) no endereço, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Portal das Colinas, Guaratinguetá – SP.

Figura 9 – Planta da Unesp, campus de Guaratinguetá, com o trajeto até a MiniETE destacado em vermelho.

Fonte: Adaptada de Godoy (2010).

A respeito da mão-de-obra, esta Norma estabelece que seja estudada a disponibilidade local para construção civil e salários correntes, disponibilidade local de pessoal técnico para operação e manutenção, e salários correntes. Estes itens não constam no projeto de Godoy Júnior (2010), sendo este fato alarmante, pois não existem informações sobre como era realizada a manutenção e operação da MiniETE, quando esta esteve em funcionamento.

Os materiais de construção devem ser estudados quanto a sua disponibilidade local e regional, e o produto e a qualidade dos materiais das indústrias locais. No projeto de Godoy (2010), estão apenas descritos os materiais utilizados: chapas de PVC, tubos de PVC auto-portantes (diâmetros de 100 mm a 2.500 mm) e adesivos de PVC, e de epóxi, concreto armado.

A norma recomenda a tomada de informações a respeito da energia elétrica (disponibilidade e confiabilidade, características do sistema de distribuição existente, tensão, potência, frequência, evolução do número de ligações nos últimos anos segundo classes residencial, comercial, industrial e pública, custo da tarifa de consumo e demanda, e eventuais descontos). Godoy Júnior (2010), apresentou dados do custo da tarifa de consumo, apenas na discussão do trabalho apresentado por ele, quando argumentou a respeito da eficiência econômica da coleta e utilização do biogás, sendo necessárias também as outras informações requeridas.

A Norma determina também a realização de um cadastro do sistema existente (plantas e detalhes, principais dimensões e níveis em relação à referência de nível do projeto, capacidade das instalações e informações sobre a disposição do esgoto nas áreas não servidas pelo sistema existente), não tendo sido realizado nenhum dos levantamentos necessários em projeto. Também são necessários dados quanto à administração do sistema existente (características do concessionário do serviço; condições gerais de operação e manutenção do serviço; ligações prediais incluindo custos, dificuldade de execução, tipos de ligação, material utilizado, evolução do número de ligações nos últimos três anos segundo as classes residencial, industrial, comercial e pública; contribuições singulares; custo do serviço; custos de pessoal; energia elétrica e materiais para operação; manutenção e administração, inclusive despesas financeiras), no entanto, não existem informações quanto a estes tópicos no projeto.

Também é necessária, segundo a norma, uma avaliação do uso da terra (com visualização do plano diretor e do projeto de urbanização aprovados; análise da evolução dos loteamentos aprovados e do tipo de ocupação prevista, residencial, industrial, pública ou institucional; assim como a evolução dos últimos três anos de licenciamento de construções).

O projeto não contava com nenhuma informação a respeito destas análises, sendo necessária a realização destas no projeto de reativação da MiniETE.

Também não foram levantados dados sobre o desenvolvimento sócio-econômico (situação atual, tendências e prognósticos, crescimento e possibilidade de desenvolvimento industrial e comercial), mesmo existindo esta exigência pela Norma. Além disso, a norma também recomendava o estudo da legislação que não constava no trabalho de Godoy Júnior (2010).

São exigidos também os estudos de projetos de sistemas de abastecimento de água, de esgoto sanitário e de esgoto pluvial. No projeto, só existe a informação de que o campus utiliza os serviços da SAEG para coleta e tratamento de esgotos, totalizando uma média mensal de gastos na faixa de R$ 3.500,00 a R$ 5.000,00.

De acordo com dados obtidos na Direção Técnica de Serviços do Campus, o esgoto do campus é disposto na rede pública. No último pedido de licenciamento da água, consta que o tratamento do efluente é inexistente e o valor de vazão máxima lançada do efluente é 7,26 m^3 h^{-1} dia^{-1}; a vazão média diária lançada é de 7,26 m^3 h^{-1}; havendo a previsão de que essas vazões terão, em cinco anos, o mesmo valor.

Em relatório emitido para a obtenção do licenciamento pela direção técnica de Serviços, obtiveram-se os dados sobre a demanda, que se destina ao uso doméstico/sanitário, sendo o uso doméstico àquele destinado à higiene pessoal dos funcionários e alunos, limpeza em geral e na lavagem de pisos e o uso sanitário, o utilizado na preparação dos alimentos e regas de áreas verdes. Além disso, a taxa de consumo é constante e o consumo máximo é de 218,00 m^3 dia^{-1}. Mais informações a respeito do abastecimento de água já foram discutidas acima e, além disso, em caso de emergência, o campus possui ligação à rede pública de abastecimento. Devem ser obtidos mais dados quanto ao esgoto sanitário e ao levantamento de dados quanto ao esgoto pluvial.

A Norma lista as atividades a serem executadas quando na elaboração de um projeto de ETE, entre elas:

- A obtenção de dados detalhada anteriormente;
- A delimitação da área para qual deve ser planejado o sistema. No caso da MiniETE, a área ao lado da cantina (as coordenadas contam no projeto de Godoy Júnior (2010));
- A fixação do alcance do plano e do ano de início de operação do sistema. Neste caso, para a administração, cantina e bloco 5 do campus, com data de partida de 10/02/2007, conforme informado no trabalho de Godoy Júnior (2010);

- A estimativa das populações a considerar no estudo de concepção, avaliadas ano a ano, como já foi abordado em outro tópico desta Norma anteriormente;
- A delimitação das bacias de esgotamento contidas na área de planejamento, não exposta em projeto por Godoy Júnior (2010);
- A fixação preliminar das características do esgoto, a avaliação e caracterização das cargas poluidoras atuais e futuras em função da tendência de ocupação de solo, que não foi exposta em projeto por Godoy Júnior (2010);
- A verificação da necessidade de tratamento prévio do esgoto industrial antes do lançamento à rede coletora. Não levantado em projeto por Godoy Júnior (2010);
- Estabelecimento das concepções sanitariamente comparáveis para encaminhamento do esgoto da região em estudo aos corpos receptores. Não exposta em projeto por Godoy Júnior (2010);
- Determinação das condições sanitárias dos corpos receptores tanto para a região do lançamento, como até onde este possa influir nas suas características, considerando as disposições legais existentes quanto à classe do corpo receptor, seus padrões de qualidade e os lançamentos. Não foi exposta em projeto por Godoy Júnior (2010);
- Avaliação da capacidade autodepuradora do corpo receptor, da necessidade de tratamento do esgoto e das eficiências requeridas, indicação das consequências aos usos da água e padrões de qualidade. Não exposta em projeto por Godoy Júnior (2010);
- Avaliação do impacto ambiental relativo a cada concepção, quando julgado conveniente. Não exposta em projeto por Godoy Júnior (2010);
- Avaliação ano a ano das vazões a considerar no estudo das concepções. Não exposta em projeto por Godoy Júnior (2010);
- Verificação do regime de lançamento do esgoto industrial e de contribuições singulares. Não exposta em projeto por Godoy Júnior (2010);
- Verificação da possibilidade de aproveitamento das instalações existentes (no caso do estudo, não existiam instalações anteriores de tratamento de esgoto, havendo apenas as instalações prediais e de coleta – e nenhum dado a respeito foi apresentado no projeto) e pré-dimensionamento dos componentes das concepções. Realizado, com critério estabelecido a partir das dimensões comerciais de tubos de PVC, sem estudo de normatizações e do panorama atual de saneamento;
- Fixação dos critérios para estimativa dos valores de investimento. Investimento avaliado apenas em função do Biogás produzido.

5.2.2. **NBR 7229/1993**

A norma NBR 7229/1993 tem por objetivo fixar as condições exigíveis para projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos, incluindo tratamento e disposição de efluentes e lodo sedimentado, de maneira a preservar a saúde pública e ambiental.

Apesar de, em projeto, o elemento apresentado pela MiniETE se referir a uma caixa retentora de resíduos grosseiros, de maneira prática, este tem a mesma finalidade e disposição construtiva de um tanque séptico.

Na Norma, tanque séptico encontra-se definido como unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal, para tratamento de esgoto por processos de sedimentação, flotação e digestão.

O tanque séptico da MiniETE só não tem sua forma completamente prismática por ter sido adaptado a partir de uma caixa d'água de 1000 litros, mas tem seu funcionamento muito similar a de um tanque séptico comum (a única real diferença é a tentativa de reprodução de um sistema de gradeamento nas chapas que realizam a separação das câmaras.

Devido à tamanha semelhança, neste trabalho, o componente é tratado como tanque séptico, sendo consideradas as normas aplicáveis a este elemento de tratamento.

Na Norma, recomenda-se que a utilização deste elemento se dê primordialmente no tratamento de esgotos domésticos e, em casos plenamente justificados, no tratamento de esgotos sanitários. E o sistema deve ser dimensionado e implementado de forma a receber a totalidade dos despejos, com exceção de águas pluviais e despejos capazes de causar interferência negativa em qualquer fase do processo de tratamento ou elevação excessiva de vazão do esgoto afluente (sendo estes três últimos proibidos). Além disso, o sistema em funcionamento deve preservar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, mediante estrita observância das restrições da norma, relativas à estanqueidade e distâncias.

Segundo a Norma, os sistemas de tanques sépticos devem ser projetados de forma completa, incluindo disposição final para o efluente e o lodo, bem como, sempre que necessário, tratamento complementar deste, conforme a NBR 13969/1997. No projeto estudado, não estão previstos tempo e mecanismos de manutenção e limpeza do tanque séptico, nem tratamento e disposição do lodo gerado por este item, devendo estes, atender ao disposto na NBR 5626/1998 e na NBR 8160/1999.

Devem ser respeitadas, segundo a norma, as seguintes distâncias mínimas entre tanques sépticos e elementos do entorno: 1,50 m de construções, limites de terreno, sumidouros, valas de infiltração e ramal predial de água; 3,0 m de árvores e de qualquer ponto de rede pública de abastecimento de água e 15,0 m de poços freáticos e corpos de água de

qualquer nível. Não sendo observado nenhum estudo a respeito destas distâncias no projeto de Godoy Júnior (2010).

Quanto aos materiais, estes devem apresentar resistência mecânica adequada às solicitações a que cada componente esteja submetido e resistência ao ataque químico de substâncias contidas no esgoto afluente ou geradas no processo de digestão. No projeto apresentado para a MiniETE, não constam estudos desta natureza para a construção do tanque séptico. Além disso, os tanques sépticos e respectivos tampões devem ser resistentes a solicitações de cargas horizontais e verticais, em dimensões suficientes para garantir a estabilidade em face de cargas rodantes, reaterro (no caso de estarem localizados em área pública, mesmo que não diretamente na via carroçável), sobrecargas aplicadas no dimensionamento das respectivas edificações (no caso de os tanques estarem localizados internamente aos lotes), pressões horizontais de terra e carga hidráulica devido à sobrelevação de lençol freático, em zonas suscetíveis a esse tipo de ocorrência. No caso da MiniETE, nenhum estudo a respeito destas solicitações foi apresentado no trabalho de Godoy Júnior (2010).

O dimensionamento do tanque séptico também não foi comentado em projeto, sendo apenas informada a escolha por volume de 1.000 litros. Na Norma, recomenda-se que o cálculo da contribuição de despejos deve considerar o número de pessoas a serem atendidas, 80% do consumo local de água e, em caso de ocorrência simultânea de ocupantes permanentes e temporários, a vazão resultante se caracteriza pela soma das vazões correspondentes a cada tipo de ocupante. Além disso, o período de detenção dos despejos deve ser escolhido com base na contribuição diária em litros.

Além disso, no dimensionamento devem ser consideradas também as medidas internas dos tanques, devendo a profundidade útil respeitar os valores estabelecidos em tabela presente na Norma, o diâmetro interno mínimo ser de 1,10 m, a largura interna mínima, se 0,80 m, e a relação comprimento/largura (para tanques prismáticos retangulares) respeitar o mínimo de 2:1 e o máximo de 4:1.

Como o tanque séptico da MiniETE foi encontrado cheio, não foi possível medi-lo para que as dimensões fossem comparados com o que estabelece a norma.

O número de câmaras empregadas na construção do tanque séptico depende de seu volume, e o emprego de câmaras múltiplas é mais recomendado para tanques de pequeno a médio volume, servindo até 30 pessoas. No caso de ser recomendável o uso de câmaras múltiplas, o melhor desempenho recomendado pela norma é de duas câmaras em série, no caso de tanques prismáticos retangulares. A proporção entre as câmaras, em tanques

prismáticos retangulares, deve obedecer a proporção de 2:1 em volume, da entrada para a saída.

O tanque séptico da MiniETE foi projetado com três câmaras (ao contrário da recomendação da norma), e não existe detalhamento sobre a dimensão das câmaras.

Além disso, as câmaras devem comunicar-se mediante abertura de área equivalente a 5% da seção vertical útil do tanque no plano de separação entre eles. A distância vertical mínima da extremidade ou geratriz superior da abertura ao nível do líquido deve ser de 0,30 m, e da extremidade inferior da abertura à soleira do tanque, metade da altura útil para tanques dimensionados para limpeza a intervalo de até três anos, e dois terços da altura útil para tanques dimensionados para limpeza a intervalos superiores a três anos, e a menor dimensão de cada abertura deve ser de três metros. O tanque séptico da MiniETE não atende a estes critérios, pois as chapas de PVC estão dispostas de maneira a cobrir todo o vão da caixa (ao contrário do esquema apresentado no projeto inicial).

Segundo a norma, o dispositivo de entrada deve ter sua parte emersa pelo menos 5 cm acima da geratriz superior do tubo de entrada, e parte imersa aprofundada até 5 cm acima do nível correspondente à extremidade inferior do dispositivo de saída. O dispositivo de saída deve ter sua parte emersa nivelada, pela extremidade superior, ao dispositivo de entrada, e parte imersa medindo um terço da altura útil do tanque a partir da geratriz inferior do tubo de saída. As geratrizes inferiores dos tubos de entrada e saída são desnivelados em 5 cm, e entre a extremidade superior dos dispositivos de entrada e saída e o plano inferior da laje de cobertura do tanque deve ser preservada uma distância mínima de 5 cm. Não se pôde verificar em campo se estas recomendações foram seguidas no tanque séptico da MiniETE, pois este foi encontrado cheio.

Devem existir aberturas de inspeção nos tanques sépticos, com número e disposição tais que a remoção do lodo e da escuma acumulados, assim como a desobstrução dos dispositivos internos, possam ser realizados. Todo tanque deve ter ao menos uma abertura com a menor dimensão igual ou superior a 0,60 m, que permita acesso direto ao dispositivo de entrada do esgoto no tanque, e o máximo raio de abrangência horizontal, admissível para efeito de limpeza, é de 1,50 m. A menor dimensão das demais aberturas – que não a primeira – deve ser igual ou superior a 0,20 m e os tanques prismáticos retangulares de câmaras múltiplas devem ter pelo menos uma abertura por câmara. Os tanques executados com lajes removíveis em segmentos não necessitam de aberturas de inspeção, desde que as peças removíveis que as substituam tenham área igual ou inferior a 0,50 m². O tanque séptico não conta com aberturas para inspeção.

Os tanques devem conter uma placa de identificação com informações sobre o nome do fabricante ou construtor, data de fabricação, tanque dimensionado conforme a NBR 7229, temperatura de referência, e condições de utilização (número de usuários e intervalos de limpeza permissíveis). Esta identificação não existe no tanque séptico do projeto de Godoy Júnior (2010).

Em sua inspeção, a estanqueidade deve ser verificada antes do tanque séptico entrar em funcionamento. O tanque séptico deve ser submetido ao ensaio de estanqueidade, realizado após ele ter sido saturado por, no mínimo, 24 horas; o nível de água, após preenchimento até a altura da geratriz inferior do tubo de saída, é verificado em sua variação, decorridas 12 h, se a variação for superior a 3% da altura útil, a estanqueidade é considerada insuficiente. Deve-se também realizar manutenção, executando os procedimentos de limpeza adequados e disposição final do lodo e da escuma. Não existem informações a respeito da realização de tal teste no projeto de Godoy Júnior (2010).

5.2.3. **NBR 13969/1997**

A NBR 13969/1997 tem por objetivo oferecer alternativas de procedimentos técnicos para o projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanque séptico, dentro do sistema de tanque séptico para o tratamento local de esgotos. As alternativas citadas nesta Norma devem ser selecionadas de acordo com as necessidades e condições locais onde é implantado o sistema de tratamento, não havendo restrições quanto à capacidade de tratamento das unidades. Conforme a necessidade, é recomendada a utilização destas alternativas complementarmente entre si, para atender ao maior rigor legal ou para efetiva proteção do manancial hídrico, a critério do órgão fiscalizador competente. Além disso, segundo essa norma, o usuário não pode eximir-se da responsabilidade de verificação de alguns aspectos técnicos por ocasião do estudo para implantação do sistema, tais como os dados sobre vazões reais a serem tratadas, as características do esgoto, do solo, do nível aquífero, das condições climáticas locais etc., quando for o caso.

No projeto inicial de Godoy Júnior (2010), não foram levantados dados sobre vazões reais, características do esgoto, do solo, do nível aquífero e das condições climáticas locais, sendo os três últimos já discutidos anteriormente, pois sobrepõe a NBR 9648/1986.

Sobre os componentes sugeridos em norma, o que mais se aproxima do sistema de biodigestores anaeróbios é o filtro anaeróbio de fluxo ascendente, sendo este último utilizado de parâmetro para avaliação do sistema de biodigestores anaeróbios.

A Norma recomenda que o dimensionamento de filtros anaeróbios de fluxo ascendente se dê da seguinte maneira:

- Cálculo do volume útil, em litros, obtido pela seguinte equação:

$$V_u = 1{,}6 \times N \times C \times T \quad (14).$$

Sendo N o número de contribuintes, C a contribuição de despejos (em L h d^{-1}) e T o tempo de retenção hidráulica e sendo C e T disponibilizados em tabelas na Norma. O volume útil mínimo deve ser de 1000 L;

- A altura do leito deve ser limitada a 1,20m;

- A perda de carga hidráulica a ser prevista entre o nível mínimo no tanque séptico e o nível máximo no filtro anaeróbio é de 0,10 m;

- A distribuição de esgoto afluente no fundo do filtro anaeróbio deve ser feita por meio de tubos verticais com bocais perpendiculares ao fundo. A área do fundo a ser abrangida por cada bocal de distribuição deve ser inferior a 3,0 m²;

- Todos os filtros devem possuir um dispositivo que permita a drenagem pelo fluxo no sentido descendente;

- A coleta de efluentes deve ser feita por meio de canaletas e tubos perfurados;

- O filtro anaeróbio deve possuir uma cobertura em laje de concreto, com a tampa de inspeção localizada em cima do tubo-guia para drenagem. Pode haver a substituição por camada de brita apenas em casos onde não houver acesso de pessoas, animais, carros ou problemas com odor e sendo construída barreira para impedir acesso de águas superficiais;

- O filtro anaeróbio pode ser construído em concreto armado, plástico de alta resistência ou em fibra de vidro de alta resistência, devendo ser estanque. Quando instalado em local de trânsito de pessoas ou carros, deve considerar em seu cálculo estrutural a presença destas cargas acidentais;

- Para a limpeza, deve ser utilizada bomba de recalque e, se constatado que este procedimento é insuficiente, deve ser lançada água sobre a superfície do leito, drenando-o novamente. Os despejos resultantes da limpeza em nenhuma hipótese devem ser lançados em cursos d'água ou em galerias de águas pluviais e seu recebimento em estações de tratamento de esgotos é sujeito à prévia aprovação e regulamentação por parte do órgão responsável pelo sistem sanitário local;

No caso do biodigestor aeróbio, o componente descrito na norma que mais se assemelha a ele é o lodo ativado por batelada (LAB), que se trata de um processo de tratamento que consiste na retenção de esgoto no tanque reator, onde se processa a depuração e formação de flocos de micro-organismos basicamente aeróbios, cujo oxigênio necessário é fornecido através de ar injetado por equipamentos. Os flocos são então separados do líquido por meio de sedimentação no mesmo reator. Este sistema se caracteriza pela intermitência do processo depurativo com drenagem periódica do esgoto tratado. Apesar de simples, ele ainda precisa de manutenção regular. O LAB se compõe de um único tanque reator onde se processam a remoção de poluentes, sedimentação dos sólidos e drenagem do efluente tratado.

A Norma recomenda que o dimensionamento de lodos ativados por batelada se dê da seguinte maneira:

- O volume útil total do reator (incluindo o valor correspondente ao lodo) é estimado, em locais onde existe a possibilidade de apuração dos dados do esgoto doméstico ou comercial, o dobro da vazão diária apurada, calculado segundo a seguinte operação:

$$V_u = 2 \times N \times C \quad (15).$$

Sendo Vu o volume útil total do reator, em litros, N o número de contribuintes e C a contribuição por pessoa de esgoto, em litros por dia. E o volume de armazenamento do lodo a ser considerado deve ser igual ao volume diário de esgoto, devendo ser prevista uma altura de no mínimo 1,5 m para o volume de lodo;

- A altura sobressalente deve ser de 0,5 m acima da altura útil total do líquido;

- O dimensionamento do equipamento de aeração deve considerar 20 h de tempo de aeração no reator por dia e a potência do equipamento deve ser escolhida conforme o tipo de sistema (ar difuso, ou outros equipamentos);

- O dimensionamento do misturador deve ser realizada conforme o nível de remoção exigido de nutrientes contidos no efluente tratado, principalmente o de Nitrogênio e Fósforo;

- A carga orgânica afluente no tanque reator deve ser avaliada conforme do tipo de esgoto a ser tratado. Deve-se considerar a redução da carga orgânica devido ao tanque séptico de cerca de 30%. E a carga orgânica diária deve ser considerada em 2,5 a demanda total de oxigênio no reator, já incluindo as demandas devidas à oxidação da matéria orgânica, nitrificação e respiração endógena;

- A operação do LAB ocorre de maneira que o esgoto é aerado e sedimentado, e drenado após o tratamento. Para operação adequada, o controle do processo biológico deve ser feito por volume de lodo retirado do reato e, para promover a remoção eficiente de Nitrogênio e

Fósforo e reduzir consumo energético, devem ocorrer ciclos alternados de fase aeróbia e fase de carência de oxigênio, desligando-se o equipamento de aeração e ligando-se o misturador.

5.2.4. **NBR 12209/2011**

A NBR 12209/2011 trata do estabelecimento das condições exigíveis para a criação do projeto hidráulico-sanitário de estações de tratamento de esgoto, nos processos de separação dos sólidos por meios físicos, filtração biológica, lodos ativados e tratamento de lodo.

Esta norma foi idealizada considerando componentes básicos de estações de tratamento de esgoto centralizadas e, por isto, os componentes da MiniETE não constavam no dimensionamento proposto pela norma.

Além de detalhar os componentes de ETEs, a Norma também estabelece requisitos para a construção das estações, entre eles estão:

- Relatório de estudo de concepção (baseado nos levantamentos propostos pelas outras Normas estudadas);
- População atendível nas diversas etapas do plano. Este tópico foi discutido anteriormente, porque existe a superposição da NBR 9648/1986;
- Vazões e demais características de esgotos doméstico e industrial afluentes. Não existem dados no projeto inicial, conforme já citado pela NBR 13969/1997;
- Características requeridas para o efluente tratado, corpo receptor e ponto de lançamento não constam no projeto, conforme citado anteriormente na discussão da NBR 9648/1986;
- Área selecionada para construção com planialtimetria em escala 1:1000, também recomendado pela NBR 9648/1986, mas sem a especificação de escala;
- Sondagens preliminares e reconhecimento do subsolo, também recomendada pela NBR 9648/1986;
- Cota máxima de enchente, que não consta no projeto de Godoy Júnior (2010);
- Padrões de lançamento de efluentes industriais, que não constam no projeto de Godoy Júnior (2010);
- Projeto hidráulico-sanitário, também citado pela NBR 9648/1986;
- Definição das opções de processos para líquidos e sólidos. Estas informações não constam no projeto de Godoy Júnior (2010);
- Seleção dos parâmetros de dimensionamento e fixação de seus valores. De acordo com Godoy (2010), a MiniETE foi dimensionada a partir das dimensões disponíveis de tubos do tipo Rib Loc em PVC disponíveis no mercado nacional. Desta maneira, percebe-se que não

foram consideradas as características dos esgotos e os padrões de qualidade desejados para se dimensionar os elementos da MiniETE.

- Dimensionamentos das unidades, que não foi demonstrado no projeto de Godoy Júnior (2010);
- Elaboração de arranjos das diversas opções definidas, que não consta no projeto de Godoy Júnior (2010);
- Elaboração de perfil hidráulico preliminar das opções, que não consta no projeto de Godoy Júnior (2010);
- Comparação técnico-econômica e escolha, que não consta no projeto de Godoy Júnior (2010);
- Dimensionamento de órgãos auxiliares e sistemas, que não consta no projeto de Godoy Júnior (2010);
- Seleção de equipamentos e acessórios que não consta no projeto de Godoy Júnior (2010);
- Locação definitiva das unidades. Informações não constam no projeto de Godoy Júnior (2010);
- Registros de pessoas, veículos, arquitetura e paisagem, que não consta no projeto de Godoy Júnior (2010);
- Perfil hidráulico ao arranjo definitivo, que não consta no projeto de Godoy Júnior (2010);
- Relatório do projeto hidráulico-sanitário, justificando divergências, que não consta no projeto de Godoy Júnior (2010);

Além disso, segundo a Norma, a MiniETE deveria ter canalização de desvio (by-pass), as unidades deveriam ter dispositivos que permitam seu isolamento e ser previsto pelo menos um dispositivo de medida de vazão afluente à ETE. Sendo detectada a não existência de nenhum destes fatores.

Segundo a Norma, as canalizações deveriam ser dimensionadas de maneira a evitar a deposição de sólidos (velocidade do fluido entre 0,5 m/s e 1,8 m/s), entretanto o dimensionamento das canalizações no projeto não foi detalhado.

Além disso o acesso às unidades deve ser fácil e adequado às condições de segurança e comodidade da operação e devem ser respeitadas medidas de segurança de modo a evitar concentração de gases que possam causar explosão, intoxicação ou desconforto. No projeto, consta destino adequado aos gases gerados, mas não são detalhadas as condições de operação.

Por fim a Norma estabelece que deve estar previsto, no projeto hidráulico, o tratamento e destino final do lodo, sendo estes ausentes no projeto.

5.3. ESTUDO DE DETERIORAÇÃO

No primeiro contato com a MiniETE, no dia 10 de março de 2016, verificou-se que esta não estava isolada da comunidade. Qualquer pessoa podendo ter acesso a ela e, inclusive, ter contato com a água residuária no sistema. A vegetação no local estava “alta”, com especial crescimento desta sobre onde está localizado o encanamento que liga a caixa de esgoto e o tanque séptico. Este fato pode representar indício de poluição (maior concentração de nutrientes nesta área devido ao vazamento de esgoto, provocando maior crescimento da vegetação). Neste primeiro contato, também foi possível perceber na avaliação visual superficial o estado de deterioração do sistema, estando o tanque séptico e o sistema de biodigestores anaeróbios cobertos pela vegetação do local. Também foi possível perceber a deterioração da tubulação de PVC aparente, tanto na ligação com o tanque séptico, quanto na tubulação que chegava ao sistema de biodigestores aeróbios. Neste dia, foi informado que a MiniETE foi desativada no ano de 2010.

O tempo de funcionamento da MiniETE ocorreu entre 2007 a 2010. Quando a MiniETE esteve em operação, sua função foi unicamente o atendimento às pesquisas científicas a respeito do biogás gerado na fase do biodigestor anaeróbio. Para que esta estação também possa substituir o tratamento realizado pela SAEG no campus, em um projeto de adequação e ampliação, esta precisaria ter implementado projeto de despejo deste efluente gerado, ou projeto de reuso deste.

No dia 16 de março de 2016, em visita de campo, notou-se que a equipe responsável pela manutenção do campus havia podado a vegetação ao redor da MiniETE, mas não o fez entre os componentes da estação.

No dia 16 de junho de 2016, também em visita de campo, detectou-se entupimento do encanamento que liga a caixa de esgoto ao tanque séptico, sendo realizado trabalho de desentupimento deste e confeccionada uma vala na metade da distância do encanamento para facilitar este procedimento, caso seja necessária sua repetição no futuro. Na confecção desta vala, quando o cano de PVC foi quebrado, notou-se umidade, indicando vazão não esperada nesta seção.

Do dia 9 de junho de 2016, quando houve poda da vegetação na área, foram notadas trincas no muro de arrimo, como comentado mais à frente. Até a última visita de campo, foram observados o estado de conservação e possíveis situações adversas em todos os elementos que compõem a MiniETE.

O tanque séptico foi encontrado cheio (Figura 10), o que não era esperado devido a desativação da MiniETE, sendo considerada neste trabalho, medida de urgência, a solicitação

de equipe especializada para drenagem desta unidade de tratamento, assim como disposição adequada deste resíduo. Foi observada a presença inclusive de uma rã viva no líquido que preenchia o tanque. As bordas do tanque séptico encontravam-se com fissuras, o que aponta a necessidade da substituição do material, e não se podia ver se o mesmo acontecia no fundo deste, por não haver ocorrido antes o bombeamento do conteúdo.

Figura 10 – Tanque séptico cheio, após seis anos de desativação da MiniETE da Unesp, campus de Guaratinguetá, com fissuras nas bordas.

Fonte: autora.

Em dia de chuva, percebeu-se que havia acúmulo de água na tampa do tanque séptico (Figura 11), o que indica a possibilidade de que este seja também fonte de vetores de transmissão por meio de picadas de mosquitos. O posicionamento do tanque séptico no solo é de fácil acesso pela comunidade, e por isso é indicado que este tenha sua altura modificada no projeto, tornando-se enterrado. Além disso, por se tratar de estrutura não própria para a função que opera, percebe-se que não existem as devidas saídas para que seja efetuada a drenagem e manutenção deste, conforme comentado na discussão das normas aplicáveis.

Figura 11 - Acúmulo de água na tampa do tanque séptico observado em dia de chuva.

Fonte: autora.

O encanamento que ligava o tanque séptico à caixa de esgoto tinha partes que não estavam enterradas e com visível quebra.

O biodigestor anaeróbio precisou de uma metodologia específica para a conferência de seu estado de conservação, para tal, utilizou-se a metodologia chamada neste trabalho como controle de vazão, descrita anteriormente na metodologia.

A partir deste processo, foi encontrado um valor de vazão de água potável (provável vazamento) para o primeiro biodigestor anaeróbio de 1093,12 mm s^{-1}. O valor que poderia ser justificado pelo processo de evaporação da água encontra-se na tabela 22.

Tabela 22 – Evaporação detectada no primeiro biodigestor anaeróbio quando realizado o controle de vazão.

E total (mm)	E (mms^{-1})	E (mm^3s^{-1})
137,30	0,00079	223,16

Fonte: autora.

Como o valor do possível vazamento é muito superior ao valor calculado para a evaporação, foi considerado vazamento no primeiro biodigestor anaeróbio, indicando deterioração interna deste.

O valor de vazão de água potável (provável de vazamento) para o segundo biodigestor anaeróbio foi de 465 mm^3 s^{-1}. Sendo que o vazamento da válvula previamente detectado era de 374 mm^3 s^{-1}. O valor que poderia ser justificado pelo processo de evaporação da água encontra-se na tabela 23.

Tabela 23 – Evaporação detectada no segundo biodigestor anaeróbio quando realizado o controle de vazão.

E total (mm)	E (mm/s)	E (mm^3/s)
12,37	0,00013	37,62

Fonte: autora.

O valor obtido para o provável vazamento é superior à soma dos valores do vazamento previamente detectado (na válvula) e da evaporação calculada. Por isto, considera-se que existe vazamento no segundo biodigestor anaeróbio, caracterizando deterioração.

O valor de vazão (provável de vazamento) para o terceiro biodigestor anaeróbio foi de 73,13 mm^3 s^{-1}. O valor que poderia ser justificado pelo processo de evaporação da água encontra-se na tabela 24.

Tabela 24 – Evaporação detectada no terceiro biodigestor anaeróbio quando realizado o controle de vazão.

E total (mm)	E (mm/s)	E (mm^3/s)
12,37	0,00014	38,46

Fonte: autora.

Como o valor do possível vazamento é superior ao valor calculado para a evaporação, foi considerado vazamento no terceiro biodigestor anaeróbio, indicando deterioração interna deste.

Por meio dos números encontrados, pôde-se perceber que o sistema de biodigestores anaeróbios encontra-se danificado, sendo possível uma remediação pela substituição de sistema do mesmo material ou outro similar.

Originalmente, foram utilizados na construção, chapas de PVC, tubos de PVC auto-portantes e adesivos de PVC e de epóxi, assim como, concreto armado para conferir resistência mecânica nas bases e nas campânulas dos biodigestores. Não foram apresentadas no trabalho de Godoy Júnior (2010), informações a respeito do dimensionamento da estrutura, assim como informações técnicas a respeito do cimento, concreto moldado, área da armadura, sistemas construtivos e informações técnicas estruturais dos materiais em PVC, além de não haverem informações a respeito do combate dos empuxos provocados pelo solo e pela água. O detalhamento construtivo da MiniETE apenas informa que o processo de construção e soldagem dos biodigestores ocorreu a frio, utilizando-se apenas ferramentas portáteis, como serra circular e furadeira de mão e que os tubos plásticos possuíam os diâmetros de 100 mm a 2.500 mm. Godoy Júnior (2010) concluiu em seu trabalho que o processo de fabricação *in situ* é viável desde que exista mão-de-obra treinada, caso contrário, recomenda-se a utilização de *Fiber Glass*, com entrega pronta em local de implantação.

Godoy Júnior (2010) recomendou que, em trabalhos futuros, o revestimento interno na campânula dos UASB, seja realizado por meio de aplicação de fibra de vidro e resina epóxi ou fenólica isofitálica, visando evitar fissuras e porosidades na colagem do PVC do tubo com o PVC das capas na campânula, e em registros de saída e coleta de efluente e lodo, onde se utilizou no experimento resina epóxi com carga mineral. Outra opção a esse tratamento com

resinas é a utilização de outro material já inerte, estanque e com propriedades estruturais adequadas, devendo ser realizado estudo para a seleção de material adequado.

Na região do terceiro biodigestor anaeróbio, foi notado um muro de arrimo no qual a carga do solo havia ultrapassado seu estado limite, observando-se um "ângulo acentuado, criando uma situação de um talude com risco de desabamento, onde o solo estava "fofo", devido ao alívio do estado de compactação (Figura 12). Foram observadas irregularidades construtivas no dimensionamento e confecção do muro de arrimo (que não foi detalhado no projeto inicial), sendo sugeridas, neste trabalho, algumas soluções para este problema de caráter emergencial, pois o desabamento deste talude pode causar danos aos transitantes.

Figura 12 – Terceiro biodigestor anaeróbio, apresentando irregularidades construtivas no dimensionamento e confecção do muro de arrimo, com risco de desabamento do talude e danos aos transitantes. (a) vista lateral, com a visível inclinação do muro de arrimo; (b) vista superior do muro de arrimo e (c) trincas no muro de arrimo, com risco de desabamento.

Fonte: autora.

Entre as possíveis soluções, sugere-se a construção de um segundo muro de arrimo, do tipo de flexão, com estrutura em concreto armado e vedação em tijolos cerâmicos argamassados, paralelo ao muro original (sem derrubá-lo), com o preenchimento de solo compactado entre eles, de maneira a criar um reforço para o primeiro muro danificado. Muros de flexão são estruturas esbeltas cujo peso próprio do maciço é responsável pelo equilíbrio da estrutura, enquanto os empuxos são resistidos pela face da mesma (GERSCOVICH, 2010). Eles podem ou não ter contrafortes (tendo seção transversal no formato "L" ou "T invertido"), e são constituídos em alvenaria estrutural ou concreto armado, que é o tipo de muro indicado apenas para pequenas alturas (DNER, 2005).

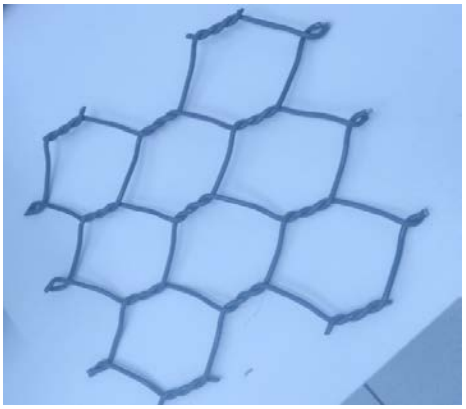
Outra solução seria a total remoção do solo fofo e substituição deste por um novo aterro, mantendo um ângulo seguro, enquanto os tanques do biodigestor permanecem escorados, para garantir a segurança. Esta alternativa pode ser ainda melhorada com o emprego de geossintéticos (produtos industrializados poliméricos, sintéticos ou naturais, cujas propriedades contribuem para melhoria de funções de reforço, filtração, drenagem, proteção,

separação, controle de fluxo e controle de erosão superficial em obras geotécnicas) (VIDAL, 2002).

No caso da utilização dos geossintéticos no novo talude, pode-se aproveitar dois tipos deles buscando a função do reforço (utilização das propriedades mecânicas de um geossintético para a melhoria do comportamento mecânico de uma estrutura geotécnica) e do controle de erosão superficial (prevenção da erosão superficial de partículas do solo devido às forças do vento ou escoamento superficial), respectivamente, pelo uso de geotêxteis ou geogrelhas, e de geocélulas. No caso do uso de geotêxteis ou geogrelhas, a função de reforço possibilita a construção de estruturas de solo reforçado (aterros de paredes verticais ou quase verticais). Já no uso das geocélulas, garante-se a proteção do talude exposto à ação da erosão além de atuarem como elementos confinantes em obras de reforço, onde ocorre a redistribuição de tensões devido ao uso da geocélula (VIDAL, 2002).

No caso deste trabalho, torna-se interessante a recuperação por meio do uso de geocélula, devido à disponibilidade de doação pela Profª Drª Isabel Trannin, pois o material se encontra sem utilização após o encerramento de outro trabalho. O material pode ser observado na (Figura 13). No caso do dimensionamento desta solução, torna-se necessário a tomada dos parâmetros envolvidos com a empresa responsável pelo produto, além de ensaios no solo da base, e no solo do reaterro.

Figura 13 – Geocélula da marca Maccaferri com potencial de uso para manutenção do muro de arrimo do talude.

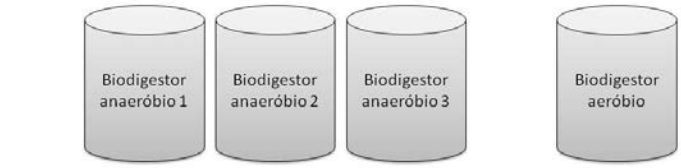


Fonte: autora.

Algumas das válvulas de inspeção e bombeamento do sistema de biodigestores anaeróbios e do biodigestor aeróbio encontravam-se danificadas, conforme o esquema apresentado na figura 14 e, por isso, devem ser substituídas. Nas figuras 15 e 16 podem ser

observadas, respectivamente, em detalhe, as válvulas de inspeção e bombeamento do biodigestor aeróbio e do segundo biodigestor anaeróbio, danificadas.

Figura 14 – Avaliação do estado de conservação das válvulas de inspeção e bombeamento do sistema de biodigestores anaeróbios e do biodigestor aeróbio.



Válvula 1	OK	FALHA	OK	FALHA
Válvula 2	OK	OK	FALHA	FALHA

Fonte: autora.

Figura 15 – Válvula de inspeção e bombeamento do biodigestor aeróbio danificada.

Fonte: autora.

Figura 16 – Válvula de inspeção e bombeamento do segundo biodigestor anaeróbio danificada.

Fonte: autora.

No biodigestor aeróbio, percebeu-se que a tubulação aérea era facilmente acessível pela comunidade e estava deteriorada. Também se percebeu a não existência da roda d'água

para a oxigenação do efluente nesta etapa do tratamento. O sistema mostrava vulnerabilidade, pois a exposição do PVC às intempéries diminuiu sua vida útil e, além disso, os funcionários da manutenção questionados sobre o funcionamento da MiniETE (quando esta encontrava-se em operação) relataram que havia um forte odor de urina, o que, segundo a funcionalidade indicada para cada etapa do tratamento por Godoy Júnior (2010), pode apresentar mal funcionamento do biodigestor aeróbio.

Na segunda lagoa de estabilização foi realizado teste de percolação do solo em seu centro, conforme descrito na metodologia (Figura 17). O tempo de percolação da água foi de 3 h 14 min e 55 s, gerando uma vazão de 9113,92 mm s^{-1}.

Figura 17 – Teste de percolação realizado na área da MiniETE da Unesp, campus de Guaratinguetá. (a) trincheira de 30cmx30cmx40cm de profundidade e colocação de 10cm de brita zero; (b) colocação de lâmina d'água de 20cm sobre a camada de pedregulho; (c) cronometragem do tempo de percolação dos 20cm de lâmina d'água.

(a) (b) (c)

Fonte: autora.

Para a verificação de possível contaminação do solo e do lençol freático pelas lagoas, tornam-se necessários maiores dados a respeito da qualidade do efluente gerado e do perfil do solo no local.

5.4. ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO

Godoy Júnior (2010) apresentou em seu projeto dados referentes à Demanda Química de Oxigênio, pH e temperatura, sendo as duas últimas análises realizadas pelo próprio autor. Apresentou-se uma Demanda Química de Oxigênio de 422,66 mg L^{-1}. Para as análises, 600 ml de amostras do efluente foram coletadas, em três pontos do sistema (1, 2 e 3), estando localizadas em: 1) saída do pré-tratamento; 2) saída do biodigestor UASB I; 3) saída do

biodigestor UASB II. Segundo Godoy Júnior (2010), todas as análises foram realizadas conforme Standard Methods, 1998.

Também segundo Godoy Júnior (2010), para medir o pH, foi utilizado um peagâmetro portátil Quimis, do tipo caneta, modelo Q-400A. A análise das amostras coletadas foi realizada em intervalos de dez dias, durante seis meses. Houve variação entre um valor máximo de 7,5 e um valor mínimo de 7,1, obtendo-se uma média na faixa de 7,21 a 7,39 pH.

Também em Godoy Júnior (2010) foram tomados dados que expõe a eficiência média da remoção de DQO em ordem de 80% (DQO inicial média de 490 mg L^{-1}), entretanto, pela natureza do efluente (oriundo de vasos sanitários, lavatórios, mictórios e cantina e refeitório – de pequeno porte- do campus), o parâmetro mais adequado para a avaliação da eficiência do tratamento é a DBO. A DQO foi determinada em amostras coletadas em intervalos quinzenais, durante seis meses e desprezaram os valores das DQO obtidas durante os meses de junho, julho e agosto, devido ao período de férias escolares e aos recessos que comprometeram os resultados das análises, por apresentarem baixa vazão e pouca carga orgânica.

No relatório final do projeto financiado pelo no Contrato 067/2006 – PS-117 "avaliação da eficiência de uma MiniEETERA (Miniestação ecoeficiente de tratamento de esgoto e reuso de águas) em escala real", de 2012, indicam-se análises posteriores à desativação da MiniETE, sobre a qualidade de seu efluente final. As amostras, segundo Godoy Júnior, 2012, foram compostas com médias mensais coletadas entre os horários de 8:00 e 17:00 horas.

Os parâmetros caracterizados foram Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L^{-1}), Demanda Química de Oxigênio (mg L^{-1}), Nitrogênio Nitrato (mg L^{-1}), Nitrogênio Nitrito (mg L^{-1}), Nitrogênio Amoniacal (mg L^{-1}), Nitrogênio Total (mg L^{-1}), Fosfato (mg L^{-1}), Fósforo (mg L^{-1}), Escherichia coli (número mais provável em 100ml) e Coliformes totais (número mais provável em 100ml) (GODOY JÚNIOR, 2010 e GODOY JÚNIOR, 2012).

Os valores de DBO para os dias 08/11/2012, 13/11/2012, 14/11/2012, 20/11/2012, 22/11/2012 e 04/12/2012, foram respectivamente 184, 44, 320, 490, 2159, 587 na saída do pré-tratamento, e 14, 25, 29, 46, 318 e 28 na saída do biodigestor aeróbio. Havendo uma redução de 92,39%, 43,18%, 87,39%, 90,61%, 85,27% e 96,23%.

Os valores de DQO para os dias 23/10/2012, 13/11/2012, 14/11/2012, 21/11/2012, 22/11/2012 e 04/12/2012, foram, respectivamente, 748, 82, 428, 910, 4000, 1100 na saída do pré-tratamento e 87, 60, 68, 108, 748, 66 na saída do biodigestor aeróbio. Havendo uma redução de 88,37%, 26,83%, 84,11%, 88,13%, 85,27% e 94,00%. Este parâmetro também indica grande potencial de redução da carga orgânica nas etapas propostas na MiniETE.

Os valores de Nitrogênio Nitrato e Nitrogênio Nitrito foram não detectados em todas as amostras realizadas.

Os valores de Nitrogênio Amoniacal para os dias 08/11/2012, 13/11/2012, 14/11/2012, 20/11/2012, 22/11/2012 e 04/12/2012, foram, respectivamente: não detectados, 32, 90,5, 72,5, 115,5, e 114,75 na saída do pré-tratamento e não detectados, 25, 86,75, 70,25, 93 e 74,50 na saída do biodigestor aeróbio. Os valores de Nitrogênio Amoniacal foram encontrados consideravelmente altos após o biodigestor aeróbio em algumas datas, se comparados com o padrão de lançamento de 20,0 mg L^{-1} da resolução CONAMA 430/2011. Este padrão não é exigido no caso de efluente proveniente de estações de tratamento de esgoto, por isto, está sendo utilizado apenas como referência. O maior teor de nitrogênio amoniacal confirma o depoimento de funcionários do campus de que, quando em operação, a MiniETE emitia forte odor de urina. Este mau desempenho na retirada do nitrogênio amoniacal do efluente confirma o esperado a partir das análises realizadas do projeto do biodigestor aeróbio anteriormente.

Os valores de Nitrogênio total para os dias 08/11/2012, 13/11/2012, 14/11/2012, 20/11/2012, 22/11/2012 e 04/12/2012, foram, respectivamente, 167,5, 67,5, 92,20, 75,70, 119,10, 125,75 na saída do pré-tratamento e 59,0, 47,5, 87,7, 72,10, 95,20, 77,85 na saída do biodigestor aeróbio.

Os valores de Fosfato para os dias 08/11/2012, 13/11/2012, 14/11/2012, 20/11/2012, 22/11/2012 e 04/12/2012, foram, respectivamente, 35,18, 31,59, 41,22, 24,18, 31,90, 84,37 na saída do pré-tratamento e 24,36, 25,53, 20,16, 16,18, 17,38, 48,40 na saída do biodigestor aeróbio.

Os valores de Fósforo para os dias 08/11/2012, 13/11/2012, 14/11/2012, 20/11/2012, e 04/12/2012, foram, respectivamente, 11,48, 10,31, 13,45, 7,89, 27,53 na saída do pré-tratamento e 7,96, 8,33, 6,58, 5,28, 8,02 na saída do biodigestor aeróbio.

Os valores de *Escherichia coli* para os dias 08/11/2012, 13/11/2012, 14/11/2012, 20/11/2012, 22/11/2012 e 04/12/2012, foram, respectivamente, >16000, >16000, >16000, >16000, >16000 e 1200 na saída do pré-tratamento e 1700, >16000, >16000, >16000, >16000 e 200 na saída do biodigestor aeróbio.

Os valores de Coliformes Totais para os dias 08/11/2012, 13/11/2012, 14/11/2012, 20/11/2012, 22/11/2012 e 04/12/2012, foram, respectivamente, >16000, >16000, >16000, >16000, >16000 e >16000 na saída do pré-tratamento e >16000, >16000, >16000, >16000, >16000 e >16000 na saída do biodigestor aeróbio.

Este alto valor obtido na análise dos coliformes serve de indicador de que o efluente ainda pode estar dotado de patógenos, tornando a discussão do acesso do público à MiniETE e o contato do efluente diretamente com o solo nas lagoas de estabilização ainda mais importante.

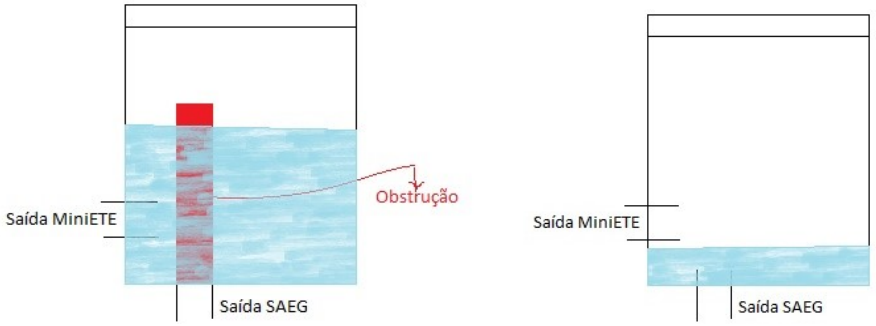
Como o destino final da MiniETE tratava-se de rede coletora municipal, não existem padrões de qualidade exigidos no tratamento. No caso de diferentes destinos, os limites das legislações existentes devem ser considerados no estudo de eficiência de tratamento. No caso de uso para fertirrigação, devem ser observadas as leis federais e estaduais de controle de poluição do solo e das águas subterrâneas e no caso de destinação final em corpos hídricos, devem ser observados os padrões finais de lançamento federais e estaduais para controle de poluição em águas superficiais.

5.5. ESTUDO DE FONTES POLUIDORAS OU DE VETORES

Foi informado por um profissional da Seção Técnica de Saúde, que a MiniETE foi apontada pela vigilância sanitária como foco de *Aedis Egypt*, e as estruturas improvisadas para resolver o problema encontravam-se quebradas, perdendo a função de impossibilitar a entrada de insetos. O material empregado, madeira e tela metálica, não foi preparado para resistir às intempéries a que está sujeito, contribuindo para esta falha na operação.

Em visita à campo, constatou-se que o direcionamento do esgoto à MiniETE se dava a partir de uma solução improvisada. Devido à falta de altura suficiente de coluna de esgoto, na entrada da estação, havia sido adaptado um mecanismo que, quando acionado, permitia que o esgoto se acumulasse até chegar à entrada da estação, em um nível superior, que o direcionava à MiniETE. Quando o mecanismo não se encontrava acionado, o esgoto era direcionado para a captação da SAEG, como pode ser observado nos esquemas apresentados na figura 18. Este mecanismo tratavasse de um cano que obstruía a saída que direcionava a captação da SAEG, dentro da caixa de esgoto.

Figura 18 - Caixa de esgoto, com mecanismo de controle de entrada do esgoto para a captação da MiniETE (a) ou para a captação da SAEG (b).



(a) (b)

Fonte: autora.

No dia 9 de junho de 2016 foi aberta, pela primeira vez, a caixa de esgoto e verificou-se que, mesmo com a MiniETE desativada, o envio de esgoto ao tanque séptico continuava ocorrendo. Este fato gerou preocupação devido ao estado de conservação precário do sistema da MiniETE, que se encontra muito danificado pelas intempéries. Com a evidência encontrado do ainda funcionamento do sistema, por tempo indeterminado, existe forte indício de fonte de poluição. Esta constatação é ainda mais importante, pois, segundo o trabalho de Godoy Júnior (2010), há desativação da MiniETE deveria ter ocorrido há seis anos e o último registro de utilização da MiniETE (para a realização de ensaios) ocorreu no ano de 2012. Esta situação só foi corrigida em 9 de junho de 2016, durante a realização deste trabalho, imediatamente após a detecção do problema, direcionando então o esgoto coletado à captação da SAEG.

Com base nos elementos deteriorados, pôde-se realizar previsão sobre a extensão da possível contaminação. Logo na saída para a captação da MiniETE, foram observadas partes deterioradas no que estava visível do encanamento enterrado próximo ao tanque séptico. No relatório de Godoy, enviado ao FeHidro, em 2012, foi relatado que este encanamento estava bastante deteriorado pelos serviços de jardinagem, realizado por empresa terceirizada. Grande parte do volume de esgoto deve ter vazado no solo neste percurso.

O tanque séptico apresentou sinais de deterioração, com rachadura verificada na borda da caixa d'água e não havendo conhecimento sobre o estado de conservação do restante deste componente, podendo parte do esgoto ter sido perdida nesta etapa do tratamento.

Considerando que o encanamento aéreo, que liga o tanque séptico ao primeiro biodigestor anaeróbio também está danificado, acredita-se que, mesmo com a existência de

vazão de efluente na entrada do sistema de biodigestores anaeróbios, o volume que devia chegar ao primeiro biodigestor seria muito pequeno e, como as taxas de vazamento encontravam-se muito altas no controle de vazão deste biodigestor, seria muito difícil que algum volume de esgoto ainda conseguisse chegar ao segundo biodigestor anaeróbio.

Desta maneira, considerou-se o caminho da poluição devido a irregularidade da desativação da MiniETE entre a caixa de esgoto e o primeiro biodigestor anaeróbio, mas não se tem informação do tempo em que esta fonte de poluição atuava. Para a detecção da real contaminação é necessário o estudo da série histórica dos dados da qualidade da água subterrânea, disponíveis pelos levantamentos realizados pela captação de água para consumo do campus. Além disso, a própria MiniETE deveria contar com monitoramento de possível contaminação, mas não foram detectados poços de monitoramento de água subterrânea em sua área e do possível impacto de poluentes no nível freático.

Segundo a NBR 15495-1/2007, o uso de poços de monitoramento (piezômetros) é importante, pois, quando estes são adequadamente projetados e construídos, eles fornecem informações consistentes sobre a qualidade da água subterrânea, em relação às propriedades geológicas e hidráulicas do aquífero, às superfícies potenciométricas nos piezômetros e o controle e mitigação de possível contaminação, verificando os parâmetros indicadores de qualidade relevantes, e às características de migração de substâncias naturais e/ou antropológicas no nível freático. Este monitoramento é ainda mais importante, pois o campus utiliza a água subterrânea para abastecimento.

Piezômetros são compostos por tubo de revestimento, pré-filtro primário, tubo-filtro, reservatório de sedimentos, selo anular e, algumas vezes, pré-filtro secundário (NBR 15495-1/2007). O pré-filtro primário tem a função de reter o solo, enquanto permite a passagem da água subterrânea para o interior do tubo-filtro e fica localizado no espaço anular entre o tubo de revestimento e o tubo-filtro. A granulometria do material componente do pré-filtro primário, que varia entre cascalho e areia fina lavada, depende da granulometria do solo onde o piezômetro estará inserido e deve ser suficientemente fina para reter o solo, porém sem restringir a passagem da água – este material deve ser uniforme e composto, predominantemente (mínimo de 95%) por partículas quartzosas, lavadas e peneiradas (NBR 15495-1/2007).

O tubo-filtro, geralmente de PVC, aço inoxidável ou materiais flúor-polímeros, tem a função de possibilitar o fluxo de água subterrânea, retendo o material do pré-filtro primário, desta maneira, tem ranhuras com a abertura definida em função do projeto do pré-filtro e capaz de manter a velocidade do fluxo da água inferior à 0,03 m s^{-1} (velocidades superiores

podem criar condição de fluxo turbulento, resultando na mobilização de sedimentos e redução da eficiência do piezômetro), seu comprimento deve representar o intervalo a ser monitorado (em função do modelo hidrogeológico estabelecido) e o diâmetro nominal mínimo deve ser escolhido em função dos equipamentos de perfuração, disponibilidade dos materiais construtivos, volume de água necessário para amostragem, objetivo do programa de amostragem, e dimensão dos equipamentos a serem introduzidos no poço (na maioria das vezes, um mínimo de 50mm para permitir a introdução de instrumentos de amostragem). O tubo-filtro deve ser novo e ranhurado, por meio de processo industrial ou enrolado continuamente com fios (sendo vedado o uso de ranhuras por processos manuais, como serras, furadeiras e queima, pois estes processos influenciam na variabilidade da abertura da ranhura, além da exposição da superfície do material a fenômenos de sorção, lixiviação, corrosão e alterações químicas). O tubo-filtro deve ser fechado com um tampão (*cap* ou *plugue*) na sua parte inferior, e o acoplamento não pode ocorrer com cola ou soldagem com solventes de qualquer tipo, devido ao perigo de alteração das amostras (NBR 15495-1/2007).

O reservatório de sedimentos tem a finalidade de armazenar materiais na sua extremidade inferior e é fechado com um tampão, de maneira a armazenar materiais de granulometria fina do pré-filtro primário ou do solo, presentes no poço durante o seu desenvolvimento (NBR 15495-1/2007).

Algumas vezes, é necessário um pré-filtro secundário no espaço anular entre o pré-filtro primário e o selo anular. Este uso é recomendado no caso de selo anular composto por calda de bentonita ou cimento (NBR 15495-1/2007).

Os coletores utilizados na amostragem de água são tubos plásticos denominados *bailers*, que podem ser descartáveis (de polietileno), ou reutilizáveis (policarbonato ou aço inoxidável), e apresentam variedade de diâmetros e comprimentos (PARRON et al., 2011).

Para a construção de estações piezométricas na área da MiniETE é necessário que haja a criação de projeto, precedido do desenvolvimento de um modelo hidrogeológico conceitual (que identifica o sentido do fluxo e zonas de interesse para o monitoramento), considerando a caracterização da área de interesse quanto à mecânica do solo, aspectos geomorfológicos, estrutura geológica, estratigrafia, aspectos sedimentares, e conhecimentos quanto o movimento da água subterrânea, além das características construtivas listadas acima. Para isto, são realizados o reconhecimento inicial da área, onde existe a identificação das zonas de maior potencial para migração de fluídos na área de interesse; e investigação de campo. A extrapolação de dados para áreas adjacentes para a criação do modelo hidrogeológico

conceitual deve ser feita somente em locais onde se saiba que existam condições geológicas uniformes na subsuperfície (NBR 15495-1/2007).

O fluxo de água subterrânea no local dos piezômetros é, geralmente, obtido a partir do cálculo de gradiente hidráulico horizontal e vertical na superfície piezométrica (definida a partir da cota do topo da zona saturada do aquífero observado nos piezômetros), dentro de cada linha de fluxo conceitual. Ele permite obter as direções do fluxo das águas subterrâneas no local (ZANATTA e RAMAGE, 2014; NBR 15495-1/2007). No entanto, o sentido do fluxo pode ser oblíquo ao gradiente hidráulico, em função de a água se mover através do caminho de menor resistência (NBR 15495-1/2007).

Na investigação de campo, deve-se primeiramente identificar e descrever os tipos de solo e rochas em afloramentos existentes, com especial atenção à cor e textura do solo, presença de escorregamentos de terra, aterro, ou afloramentos d'água e nascentes no interior ou proximidades da área de interesse. Devem-se realizar sondagens exploratórias (com profundidade necessária para a definição do fluxo), com a definição da porosidade, condutividade hidráulica, granulometria, litologia e estrutura de cada unidade hidrogeológica, assim como o levantamento de dados sobre as condições da superfície e subsuperfície, e amostragem (ensaios de laboratório ou campo). É necessária a documentação de todas as ocorrências e informações adotadas durante a execução da sondagem, incluindo dados sobre a locação dos furos em um mapa georreferenciado e descrição da área, e com amostras de material identificadas (NBR 15495-1/2007).

Devem ser coletados e revisados todos os dados de campo, de laboratório, mapas topográficos, imagens aéreas, registros de uso e ocupação do solo atuais e passados, mapas geológicos, hidrogeológicos e pedológicos, levantamento de recursos minerais, poços de abastecimento e monitoramento existentes no entorno, informações de perfurações próximas, relatórios geotécnicos, etc.; no caso de informações limitadas disponíveis ou de geologia complexa, pode-se usar de estudos geofísicos para completar as informações. Com estas informações, deve-se elabora o relatório do projeto, locação e posterior construção dos poços de monitoramento (NBR 15495-1/2007).

Mais informações sobre o projeto e construção de estações piezométricas são encontradas nas normas NBR 15495-1/2007 e NBR 15495-2/2008, sendo a última um manual do desenvolvimento destas em obra.

5.6. REUSO DE ÁGUA

O reuso de água pode ser aplicado em diversas modalidades, como o reuso de água na agricultura, o reuso industrial, o reuso para a recarga artificial de aquíferos, o reuso urbano, etc.

De acordo com Hespanhol (2003), o reuso da água na agricultura tem um forte apelo, visto que 70% do consumo de água potável no Brasil se destina a aplicações agrícolas, e estima-se que este valor possa chegar a 80% na próxima década. Este tipo de reuso vem se popularizando, devido à dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de águas para irrigação, ao elevado custo de fertilizantes, e à segurança quanto às precauções adequadas são aplicadas. Além disso, esta modalidade de reuso tem como benefícios o aumento da área cultivada e da produtividade agrícola, a preservação da água subterrânea quanto à intrusão de cunha salina ou subsidência de terrenos e o acumulo de húmus no solo e da matéria orgânica. Por outro lado, projetos inadequados podem causar poluição, particularmente por nitratos, de aquíferos subterrâneos, quando existe uma camada insaturada altamente porosa sobre o aquífero – a assimilação de nitrogênio pelas culturas reduz a chance de ocorrência deste problema, dependendo das taxas de assimilação da vegetação e das taxas de aplicação dos efluentes – e também o acúmulo de compostos tóxicos, orgânicos e inorgânicos, e aumento da salinidade de camadas insaturadas (FOSTER et al., 1994), que pode ser evitado pelo uso predominante de efluentes tratados a partir de esgotos domésticos, projeto adequado de drenagem, e a não aplicação de efluentes por períodos muito longo (HESPANHOL, 2003). Deve-se também ter cuidado com a criação de habitats que contribuam para a proliferação de vetores transmissores de doenças, devendo ser empregadas técnicas integradas de controle de vetores (HESPANHOL, 2003).

O reuso industrial vem sendo empregado com sucesso na reciclagem da água dentro das próprias empresas, em aplicações como em torres de resfriamento, caldeiras, lavagem de peças e equipamentos e processos industriais (HESPANHOL, 2003).

O reuso para a recarga artificial de aquíferos tem por objetivo aumentar a disponibilidade de água, incrementar reservas hídricas, ou resolver problemas específicos, localizados. Esta modalidade pode proporcionar tratamento artificial de efluentes, reservatórios de água para uso futuro, e prevenir subsidência do solo e intrusão salina em aquíferos costeiros. Pode-se realizar a recarga artificial de aquíferos por meio de poços de injeção e infiltração superficial, sendo que, para a implementação desta última, é necessário que os solos sejam permeáveis (com taxas de infiltração razoáveis), que as camadas insaturadas tenham espessuras suficientes para estocar o volume de recarga necessário, que

não existam camadas impermeáveis (causadoras de excessiva acumulação de água infiltrada em aquíferos suspensos, situados acima dos aquíferos principais), que a distribuição granulométrica na camada insaturada superior promova a remoção de contaminantes, que os coeficientes de transmissividade não causem retenção excessiva de água nos aquíferos e que os aquíferos não sejam confinados. Para a implementação do sistema, precisam ser levantados parâmetros do tipo de solo, perfil litológico da camada insaturada e do aquífero, níveis de água, gradiente regional, locação e volumes estimados de recarga natural, características de poços e bombeamentos existentes, parâmetros do aquíferos (transmissividade e vazão específica), características de qualidade de água do aquífero, considerando os principais cátions e ânions e poluição (existente ou potencial) oriunda de aterros sanitários ou quaisquer outras fontes e quaisquer outros contaminantes do solo, que possam ser lixiviados durante a recarga (HESPANHOL, 2003).

O reuso urbano para fins potáveis apresenta riscos elevados, geralmente requerendo alto investimento em tecnologias de tratamento, e pode ser estudado apenas se observados, estritamente, os critérios a seguir: emprego único de sistemas de reuso indireto, uso exclusivo de esgotos domésticos, uso de barreiras múltiplas nos sistemas de tratamento, além de considerar a aceitação pública. Os usos urbanos para fins não potáveis são menos restritivos, devendo haver também o cuidado quando há o contato direto com o público. Podem ser empregados na irrigação de parques e jardins públicos, centros esportivos, jardins de escolas e universidades, gramados, árvores e arbustos decorativos ao longo de avenidas e rodovias, jardins em geral, em reservas de proteção contra incêndio, sistemas decorativos aquáticos (como fontes e chafarizes, espelhos e quedas d'água), descargas sanitárias, lavagens de trens e ônibus, controle de poeira, obras e aterros e aplicações na construção civil (HESPANHOL, 2003). A NBR 13969/1997 orienta o reuso local no caso de esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características similares para fins que exigem a qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura.

Os impactos ambientais decorrentes de reuso executado sem os cuidados necessários podem gerar a poluição do solo e dos corpos d'água superficiais e subterrâneos (NARDOCCI, 2003).

Embora no projeto inicial estivesse previsto o reuso do efluente gerado na MiniETE implantada na Unesp, campus de Guaratinguetá, não existem registros que comprovem a execução deste, no período em que essa estação funcionou (2017 a 2010).

Como a água subterrânea é utilizada para o abastecimento no campus, a utilização de reuso de água com contato direto com o solo precisaria de um estudo muito aprofundado, pois

poderia caracterizar um reuso indireto potável não planejado. Por não existir ainda normatização a respeito dos cuidados para este possível reuso indireto ele ainda não é recomendado. Mas devem ser observadas novas alterações em legislações e normas para que tais projetos sejam viabilizados.

Segundo a NBR 13969/1997, o reuso local de esgoto deve ser planejado de modo a permitir o uso seguro e racional para minimizar seu custo de implementação e operação. Desta maneira, o projeto do reuso deve conter os usos previstos para o esgoto tratado, o volume de esgoto a ser utilizado, o grau de tratamento necessário, o sistema de reservação e de distribuição e o manual de operação e treinamento dos responsáveis. No projeto inicial, este detalhamento não foi executado.

Segundo esta norma, o tipo de reuso pode ser dividido em quatro classes, que definem o padrão de qualidade exigido. A classe 1 é destinada à Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes. A classe 2 é destinada a lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes. A classe 3 se destina a reuso nas descargas dos vasos sanitários. Por fim, a classe 4 se destina a reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Para o monitoramento, os efluentes devem ser submetidos à avaliação periódica de desempenho. Esta norma determina que a na fase inicial de operação deve haver acompanhamento pelo menos quinzenal até o sistema entrar em regime, com frequência pelo menos trimestral. Além disso, o tipo de amostragem a ser considerada deve ser composta e proporcional à vazão, com campanha horária cobrindo pelo menos 12 h consecutivas, quando em operação (quando não houver condições para determinação correta da vazão, esta deve ser estimada conforme as observações baseadas nos usos de água). A norma também estabelece que para monitoramento dos sistemas de infiltração no solo (vala de infiltração, sumidouro, canteiro de infiltração e de evapotranspiração), devem ser feitas amostragens a partir dos poços ou cavas escavados em volta das unidades, em profundidades distintas, por meio de amostras compostas não proporcionais.

Os parâmetros a serem analisados, segundo a Norma, são relativos a: lançamentos aos corpos receptores superficiais e nas galerias de águas pluviais e disposição no subsolo, nitrato, pH, coliformes fecais e vírus e todas as amostras coletadas devem ser imediatamente preservadas e analisadas de acordo com os procedimentos descritos no “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” na sua última edição.

Desta maneira, observa-se que é necessária a concepção de novo projeto de reuso de água para que seja possível o reaproveitamento do efluente, visto que a fertirrigação poderia caracterizar reuso potável indireto e que não foram observados levantamentos descritos na norma 13969/1997 foi respeitado para a concepção do projeto de reuso.

5.7. RECOMEDAÇÕES

Propõe-se para o projeto de reforma as seguintes ações: realização dos levantamentos de dados exigidos não cumpridos anteriormente, incluindo a escolha da disposição final do efluente, cadastro da obra na prefeitura com engenheiro responsável, regularização das licenças ambientais com órgão competente para funcionamento de estação de tratamento de esgoto no campus, isolamento da área dificultando o acesso da comunidade, realização de análises do esgoto e tomada de dados de vazão, redimensionamento dos componentes segundo as normas e proposição de outros componentes se necessário, escolha de componente de tratamento a substituir o biodigestor aeróbio ou redimensionamento e reidealização deste, substituição da caixa de esgoto adaptada por componente próprio para a inicialização do tratamento, instalação de medidor de vazão à montante do tratamento, regularização do tanque séptico ou substituição por outro tipo de tratamento primário, troca de encanamentos, que devem estar sob o solo, contenção do talude, se necessário, recalque do esgoto tratado nos pontos necessários da planta de tratamento, troca dos componentes deteriorados que permanecerão em projeto, plano de manutenção e operação, incluindo análises e controle da qualidade do efluente, criação de novo projeto de reuso de água levando em consideração os aspectos discutidos.

6. CONCLUSÕES

- Constatou-se que a MiniEETERA nunca executou o reuso de água previsto em projeto, passando a ser chamada de MiniETE por este trabalho.
- Os estudos preliminares realizados neste trabalho foram importantes para fundamentar o projeto de reforma e reativação da MiniETE, implantada na Universidade Estadual Paulista, campus de Guaratinguetá, que funcionou no período de 2007 a 2010, visando o atendimento às normas construtivas e à legislação vigente.
- A avaliação do projeto permitiu traçar o verdadeiro processo de tratamento pelo qual passava o esgoto quando a MiniETE encontrava-se em funcionamento, sendo este agora descrito por: entrada por caixa de esgoto adaptada, tanque séptico, sistema de biodigestores anaeróbios, biodigestor aeróbio e lagoas de estabilização. A disposição final se realizava por ligação à rede coletora da SAEG.
- Encontradas possíveis ineficiências no projeto de tratamento proposto (remoção de nutrientes e alto teor de coliformes).
- Constatou-se a falta de escolha de corpo receptor do efluente e de análises para o estudo da disposição deste efluente.
- As avaliações realizadas no período de março a novembro de 2016 evidenciaram que os componentes da MiniETE encontram-se depreciados pelas intempéries e pela falta de manutenção, com pontos de vazamento em tubulações, gerando fontes de poluição para o solo, com potencial de atingir o nível freático.
- As instalações da MiniETE apresentam inconformidades e não atendem em sua totalidade as normas construtivas e, por consequência, a Lei 4150/1962. A inconformidade com a NBR12209/2011 é a única passível de justificativa, pois esta norma foi criada após a criação do projeto da MiniETE.
- Estes estudos preliminares evidenciaram a necessidade de um projeto de reforma e adequação desta MiniETE para atendimento às normas NBR 9648/1986, NBR 7229/1993, NBR 13969/1997, NBR 12209/2011 para sua reativação, de forma a beneficiar os usuários do campus de Guaratinguetá e garantir a segurança ambiental e à saúde pública.
- Recomenda-se a interdição do espaço até que seja executado o projeto de reforma necessário.

REFERÊNCIAS

AHLUWALIA, S. S.; GOYAL, D. Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater. **Bioresource Technology**, Manchester, n. 98, p. 2243-2257, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209**: elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto – preparo controle e recebimento de concreto. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15495-1**: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados – parte 1: projeto e construção. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15495-2**: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – parte 2: desenvolvimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649**: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário – procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1986.

AVELINO, M. C. G. S. **Construção de um sistema de alagados construídos e o comportamento dos parâmetros físico-químicos e biológicos da fase de maturação dos leitos de fluxo vertical**. 2012, 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2012.

AZZOLINO NETO, N. **Atendimento à norma NBR 12.209/2011 na implantação de uma estação de tratamento de esgotos no município de Guaratinguetá (SP)**. 2015. 61f. Trabalho de Graduação (Graduado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2015.

BAKIR, H. A. Sustainable wastewater management for small communities in the middle east and north africa. **Journal of Environmental Management**, London, v. 61, p. 319-328, 2001.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO – BNDES. Tratamento de esgoto: tecnologias acessíveis. **Informe Infra-Estrutura**, Brasília, n. 16, nov. 1997.

BARBOSA JR., A. R. **Elementos de hidrologia aplicada:** evaporação, evapotranspiração. Hidrologia aplicada. Universidade Federal de Ouro Preto, 2007. Disponivel em:

<http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodrigues/index.php?menu=3&disc=101>. Acesso em: 29 nov. 2016.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Resolução n. 62, de 26 de Março de 2013**. Agência Nacional de Águas, Brasília, mar. 2013. Disponível em: < http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20131031_Portaria%20062.2013.pdf> Acesso em: 29 nov. 2016.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. **Resolução n. 54, de 28 de Novembro de 2005**. Diário Oficial da União, Brasília, mar. 2016. Disponível em: < http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=37> Acesso em: 29 nov. 2016.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n. 377, de 9 de Outubro de 2006**. Diário Oficial da União, Brasília, Outubro de 2006. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=507> Acesso em: 29 nov. 2016.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n. 357, de 17 de Março de 2005**. Diário Oficial da União, Brasília, mar. 2005. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459> Acesso em: 29 nov. 2016.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n. 410, de 4 de Maio de 2009**. Diário Oficial da União, Brasília, maio 2009. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=603> Acesso em: 29 nov. 2016.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011**. Diário Oficial da União, Brasília, mar. 2011. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646> Acesso em: 29 nov. 2016.

BRASIL. **Lei Federal 11.445, de 5 de Janeiro de 2007**. Diário Oficial da União. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 16 set. 2016.

BRASIL. **Lei Ordinária 4.150, de 21 de Novembro de 1962**. Diário Oficial da União, Brasília, nov. 1962. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1960-1969/lei-4150-21-novembro-1962-353924-norma-pl.html> Acesso em: 16 set. 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE – MS. **Portaria n. 2914, de 12 de Dezembro de 2011**. Diário Oficial da União, Brasília, dez. 2011. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html> Acesso em: 16 set. 2016.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei do Senado n. 58, de 2016**. Disponível em: < https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/124972> Acesso em: 16 nov. 2016.

BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P. C. S. Conceito de reúso de água. In: MANCUSO P. C. S; DOS SANTOS, H. F. (eds.) **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, 2003.

BRIX, H.; SCHIERUP, H. H. The use of aquatic macrophytes in water pollution control. **Ambio**. Stockholm, v. 18, p. 100, 1989.

BUTLER, R.; MACCORNICK, T. Opportunities for decentralized treatment, sewer mining, and effluent reuse. **Desalination**, Amsterdam, v. 106, p. 273 -283, 1996.

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

CAMPOS, J. R. **Alternativas para tratamento de esgotos:** pré-tratamento de águas para abastecimento. Americana: Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, 1994. 112 p.

CAMPOS, J. R. et al. **Conceitos gerais sobre técnicas de tratamento de águas de abastecimento, esgotos sanitários e desinfecção**. São Carlos: EESC. jun. 1997. 43 p. (apostila de curso)

ÇEÇEN, F.; GONENÇ, E. Nitrification-denitrification of high-strenght nitrogen wastes in two up-flow submerged filters. **Water Science and Technology**, London, v. 26, n. 9-11, p. 2225-2228, 1992.

CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.) et al. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: [s.n.], 2001. 554 p.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. 245 p.

COUTO, T.C; NAVAL, L. P**.** Estudo da remoção de fósforo e amônia em efluentes provenientes de sistemas anaeróbios para tratamento de águas residuárias: fase piloto. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 58., 2006, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis , 2006.

CRITES, R.; TCHOBANOGLOUS, G. **Small and decentralized wastewater management systems**. Davis: WCB McGraw-Hill, 1998.

DE OLIVEIRA, S. V. W. B. **Modelo para tomada de decisão na escolha de um sistema de tratamento de esgoto sanitário**. 2004. 188f. Tese (Doutorado em Administração) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM - DNER. **Projeto de muro de arrimo.** Brasília: Secretaria de Transportes, 2005. p. 1-27.

FOSTER, S. S. E. A. Impacts of wastewater use and disposal on groundwater. **British Geological Survey**. Keyworth, 1994.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estruturas de contenção:** muros de arrimo. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

GODOY JÚNIOR, E. **Avaliação da eficiência de uma MiniEETERA (miniestação ecoeficiente de tratamento de esgoto e reuso de aguas) em escala real.** 2012. 24 p. (Relatório final – financiamento Fehidro - Contrato 067/2006 – OS 117).

GODOY JÚNIOR, E. **Desenvolvimento e avaliação de uma miniestação ecoeficiente de tratamento de esgoto e reuso de águas, com sistema registrador queimador, para baixas vazões de biogás e cogeração de energia**. 2010. 158 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

GOOGLE MAPS. **Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Unesp, Campus de Guaratinguetá, com a localização da MiniEETERA**. 2016. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/search/AVENIDA+DOUTOR+ARIBERTO+PEREIRA+DA+

CUNHA,+333+-+CAMPUS+GUARATINGUET%C3%81,+Guaratinguet%C3%A1+-+SP/@-22.8030128,-45.1909975,652m/data=!3m1!1e3>. Acesso em: 05 nov. 2016.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. **Especificações técnicas, regulamentação de preços e critérios de medição**. 2.ed. São Paulo: SABESP, 1996. 1190p.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. **Tratamento de esgotos**. Disponivel em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=49>. Acesso em: 05 nov. 2016.

GREEN, F. B.; LUNDQUIST, T. J.; OSWALD, W. J. Energetics of advanced integrated wastewater pond systems. **Water Science and Technology**, London, n. 31, p. 9-20, 1995.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S.; DOS SANTOS, H. F. **Reúso de Água**. Barueri: Manole, 2003. cap. 3, p. 37-95.

HOFFMANN, J. P. Wastewater treatment with suspended and nonsuspended algae. **Journal of Phycology**, Blackwell, n. 34, p. 757-763, 1998.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Programa nacional de capacitação de gestores ambientais:** módulo específico licenciamento ambiental de estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/MMA, 2009. 67p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Série histórica de dados metereológicos do município de Guaratinguetá**, 2016. Disponível em: <http://www.inpe.br>. Acesso em: 05 nov. 2016.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Saneamento é saúde**. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/instituto-trata-brasil-lanca-ciclo-de-entrevistas-com-personalidades-do-saneamento-basico-em-seu-site>. Acesso em: 05 nov. 2016.

INSTITUTO TRATA BRASIL/CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Benefícios econômicos da expansão do saneamento brasileiro**. 2014. 70 p.

JIMENEZ, B. et al. Design considerations for a nitrification-denitrification process using two fixed-bed reactors in series. **Water Science and Technology.** London, v. 19, n. 1-2, p. 139-150.

JORNAL ATOS. **Nova ETE do pedregulho inicia operação com tecnologia norueguesa no tratamento de esgoto**. Disponível em: <http://jornalatos.net/cidades/guaratingueta/nova-ete-do-pedregulho-inicia-operacao-com-tecnologia-norueguesa-no-tratamento-de-esgoto/>. Acesso em: 05 nov. 2016.

JOSÉ, B. R. C. Critérios e padrões de qualidade de água. In: MANCUSO, P. C. S.; DOS SANTOS, H. F. **Reúso de água**. Barueri.: Manole, 2003. p. 125-175.

MALLICK, N. Biotechnological potential of immobilized algae for wastewater N, P and metal removal: a review. **BioMetals**, London, n. 15, p. 377-390, 2002.

MANCUSO, P. C. S.; DOS SANTOS, H. F. **A escassez e o reúso de água em âmbito mundial**. In: ___. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 1-21.

MUNOZ, R.; GULEYSSE, B. Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review. **Water Research**, New York, n. 40, p. 2799-2815, 2006.

NARDOCCI, A. C. Avaliação dos riscos em reúso de água. In: MANCUSO, P. C. S.; DOS SANTOS, H. F. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 403-433.

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário:** coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. São Paulo: Blucher, 2003.

NUVOLARI, A. et al. **Esgoto sanitário:** coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. São Paulo: Edgard Blücher LTDA., 2003.

OLIVEIRA, E. L. et al. Alagados construídos no tratamento de águas residuárias do jardim botânico municipal de Bauru SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 23., 2005, Bauru. **Anais...** Bauru, 2005.

ONU. **OMS:** para cada dólar investido em água e saneamento, economiza-se 4,3 dólares em saúde global. ONUBR Nações Unidas no Brasil, 2014. Disponivel em: <https://nacoesunidas.org/oms-para-cada-dolar-investido-em-agua-e-saneamento-economiza-se-43-dolares-em-saude-global/>. Acesso em: 05 nov. 2016.

OSWALD, W. J. et al. Algae in waste treatment. **Sewage and Industrial Wastes**, Champaign, n. 29, p. 437-455, 1957.

OTIS, R. Small diameter gravity sewers: experience in the United States. In: MARA, D. (ed.) **Low-Cost Sewage**. Chichester: John Wiley and Sons, 1996. 123-133 p.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. 21. ed., Curitiba: Ed. Colombo, Embrapa Florestas, 2011.

PESTANA, M.; GANGHIS, D. **Tratamento de efluentes**. Salvador: Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia – Coordenadoria de Processos Industriais. 2008. 69p. (apostila)

PITTMAN, J. K.; DEAN, A. P.; OSUNDEKO, O. The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. **Bioresource Technology**, Manchester, UK, n. 102, p. 17-25, Julho 2010.

ROHWER, C. **Evaporation from free water surfaces.** Washington/USA: United States Department of Agriculture, dez. 1931. (Technical Bulletin n. 271).

STANDARD METHODS, **Standard methods for the examination of water and wastewater**, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 22.ed., 2012.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Requerimento de outorga de direito de uso de recursos hídricos.** Guaratinguetá: Direção Técnica de Serviços do Campus de Guaratinguetá, 2015.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Manual alternative wastewater collection systems**. Wasinghton DC: Office of Research and Development Center for Environmental Research Information Risk Reduction Engineering Laboratory Cinccinati, Ohio, 1991.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Primer for municipal wastewater treatment systems**. Office of Water e Office of Wastewater Management, Washington DC, set. 2004.

VAN AFFERDEN, M. et al. A new approach to implementing decentralized wastewater treatment concepts. **Water Science and Technology**, London, n. 72, p. 1923-1930, 2015.

VIDAL, D. **Os geossintéticos e suas principais aplicações:** módulo I - produtos, aplicações e especificação. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2002.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 2.ed. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1986.

VON SPERLING, M. **Lodos ativados**. Belo Horizonte: Departamento de Energia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.

WILKIE, A. C.; MULBRY, W. W. Recovery of dairy manure nutrients by benthic freshwater Algae. **Bioresource Technology**, Manchester, n. 84, p. 81-91, 2002.

WUJEK, J. B.; DAGOSTINO, F. R. **Mechanical and electrical systems in architecture engineering and construction**. 5.ed. Boulder: Pearson, 2010.

ZANATTA, L. C.; RAMAGE, L. Avaliação da eficiência da infiltração de efluentes nas dunas do aquífero Campeche, Florianópolis/SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 18., 2014, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2014.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários**: wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte. 2008. 189f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) –Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Média da medição de dois pontos distintos para a determinação da altura da lâmina d' água

Equação 2. Volume de água dentro do tanque avaliado no momento da medição quando o nível d' água não passava do anel menor

Equação 3. Volume de água dentro do tanque avaliado no momento da medição quando o nível d' água passava do anel menor

Equação 4. Diferença de volume no período entre o dia 1 e o dia 2

Equação 5. Diferença de volume no período entre o dia 3 e o dia 4

Equação 6. Vazão no período entre os dias 1 e 2

Equação 7. Vazão no período entre os dias 3 e 4

Equação 8. Média entre vazões nos períodos dos dias 1 – 2 e 3 – 4

Equação 9. Conversão da vazão média de $m^3\ s^{-1}$ para $mm^3\ s^{-1}$

Equação 10. Evaporação segundo método Rohwer (1931)

Equação 11. Conversão da evaporação de pol d^{-1} para mm h^{-1}

Equação 12. Conversão da evaporação de mm h^{-1} para mm s^{-1}

Equação 13. Cálculo do volume de líquido perdido por evaporação em função do tempo