UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRAÚLICA E SANEAMENTO

Nayara Batista Borges

Caracterização e pré-tratamento de lodo de fossas e de tanques sépticos

São Carlos

2009

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

Nayara Batista Borges

Caracterização e pré-tratamento de lodo de fossas e de tanques sépticos

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Titular José Roberto Campos

São Carlos

2009

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

B732c Borges, Nayara Batista
 Caracterização e pré-tratamentos de lodo de fossas e
 de tanques sépticos / Nayara Batista Borges ; orientador
 José Roberto Campos. -- São Carlos, 2009.

 Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área
 de Concentração em Hidráulica e Saneamento) -- Escola de
 Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
 2009.

 1. Tratamento de águas residuárias. 2. Lodo de
 fossa. 3. Tanque séptico. 4. Caracterização de lodo.
 5. Pré-tratamento de lodo. 6. Flotação. 7. Ultrassom.
 8. Degradação anaeróbia. 9. Degradação aeróbia.
 I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira NAYARA BATISTA BORGES.

Dissertação defendida e julgada em 27/11/2009 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Titular **JOSÉ ROBERTO CAMPOS (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADO

Prof. Dr. **MARCO ANTONIO PENALVA REALI**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADA

Profª. Drª. **MARIA DEL PILAR DURANTE INGUNZA**
(Universidade Federal do Rio Grande do Norte/UFRN) APROVADA

Prof. Associado **MARCELO ZAIAT**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Hidráulica e Saneamento

Prof. Titular **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

Aos meus tios SÔNIA e MAURÍCIO, pelo carinho, amizade e por todo esforço que fizeram para que me sentisse na minha própria casa.

Aos meus pais, SÂNZIO E ANDRÉA, pelo exemplo e pela certeza da vitória, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao professor **José Roberto Campos** pela valiosa orientação e transmissão dos seus conhecimentos, amizade e carinho que me concedeu durante o meu curso.

Aos meus irmãos **Natália** e **Pedro**, pelo carinho, cumplicidade e apoio, mesmo que a distancia.

A minha prima **Marcela**, que foi como minha irmã nesses dois anos, sem me esquecer do **Gustavo** e da **Roberta**. Sua amizade, companheirismo fizeram me sentir em casa.

Aos professores **Valdir Schalch**, **Sílvia Cláudia Semensato Povinelli**, **Marco Antônio Reali**, **Maria Del Pilar Durante Inguza** e ao doutor **Ronan Contrera** pelas sugestões, correções e apoio.

Aos técnicos do laboratório de Saneamento, **Paulo Fragiácomo**, **Júlio César Trofino**, **Juliana Gonçalves S. Custódio**, **Natália Gonçalves dos Santos** e **Maria Aparecida Peres Viúdes** pela disposição, estímulo e ajuda sempre presentes durante a realização deste trabalho. A vocês o meu muito obrigado.

Ao professor **Clovis Wesley Oliveira de Souza** da Universidade Federal de São Carlos, pela atenção e disponibilidade de contribuir na determinação de ovos de helmintos.

Ao **Alcino** que não mediu esforços para me ajudar nos mais diversos momentos de dificuldade. Tenho muito a agradecer-lo, seu empenho, carisma foram essenciais para construção deste trabalho. Agradeço também ao **Aguinaldo** e ao **Edson**, por toda ajuda.

Aos funcionários do SHS, **Wagner**, **Sá**, **Pavi**, **Cecília**, **Márcia**, **Valderez**, **André**, **Flávia e Fernanda**, pela ajuda prestada durante todo o mestrado, em especial a **Rose** e a **Jaque** que além de me ajudarem muito, construí duas amigas, o que contribuiu substancialmente para minha assiduidade no Departamento de Hidráulica e Saneamento EESC-USP.

A todos meus familiares pelo exemplo de vida, desprendimento e por todo carinho, em especial agradeço aos meus avós **Myrthes Maura Pacheco Batista**, **Cid Martins Batista**, *in memorian*, **José Borges Neto** e **Elce Moreira Borges**, *in memorian*.

A turminha da matinê, **Priscila**, **Lorena**, **Cristiane**, **Tatiane**, **Mariana**, **Luciana**, **Julieta**, **Adriana**, **Suellen** e **Cíntia** pela grande amizade, pelo carinho e pelos encontros que foram fundamentais para matar a saudade que sempre foi grande. A amizade supera qualquer barreira. Amo todas vocês!!!

Aos meus amigos de mestrado, destacando **Valter Rocha**, **Milena Collodel**, **Alice Araújo**, **Camila Toledo** e **Micheli Gonçalves**, por toda convivência e amizade, pelas conversas e pela ajuda. Sentirei falta de tudo (até das implicâncias do Valter) e de todos.

Aos meus companheiros do PROSAB, **Vitor Tosetto**, **Fábio Yamada** e **Camila Prado**, apesar de todas as dificuldades impostas pela realização deste trabalho, sempre alguém presente para ajudar ao outro. Obrigada pela ajuda e incentivo.

Em especial, ao convívio com a minha amiga **Priscila (Pil)**, não 1 ou 2, mais sim 20 anos. Pil obrigada por cada momento da minha vida, pelas brigas, pelo ombro amigo e pela enorme amizade que fortalece cada vez mais.

Ao **Rogério (Nem)** por toda ajuda e incentivo, sempre com muita disposição e dedicação.

Ao **Handebol feminino e Masculino do CAASO**, que fizeram com que os momentos de lazer fossem os melhores possíveis. Valeu cada derrota, cada vitória, cada churrasco, foram fundamentais para a nossa amizade dentro e fora de quadra. Em especial a **Leonara Queiroz**, uma amiga de todas as horas!!!

A **Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES)** pelo auxílio financeiro e incentivo a pesquisa.

Aos **Professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo**, pelo convívio e apoio durante o meu curso de Mestrado.

Ao **Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo**, pela receptividade.

A **Desentupidora e Limpadora Catóia** pelo transporte do material, essencial para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao **Rafael Ceribelli** e **Ludimila Turetta** pela disposição em ajudar na finalização deste projeto.

A **Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento SA (SANASA)** pela enorme contribuição no fornecimento de dados e atenção despendida para a pesquisa.

A **FINEP-PROSAB-LODO DE FOSSA** pelo auxílio financeiro desta pesquisa (processo Nº 01-06.1135.00).

A **SEREC - Serviços de Engenharia Consultiva Ltda** - pela compreensão, incentivo e oportunidade cedida para finalização deste projeto.

A **PROMINAS** pela construção da unidade piloto.

Àquelas pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho

**Apenas quando somos instruídos pela
realidade é que podemos mudá-la.**

Bertolt Brecht

RESUMO

BORGES, N. B. (2009). **Caracterização e pré-tratamento de lodo de fossas e de tanques sépticos**. São Carlos, 2009. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Fossas e tanques sépticos são sistemas de pequeno porte utilizados para tratamento parcial do esgoto sanitário produzido nas áreas urbana e rural, quando não beneficiados por sistema de esgotamento sanitário. Tal utilização se justifica principalmente por ser tecnologia que não exige muita dedicação operacional e ser de simples implantação. Apesar da vasta utilização dessas unidades no Brasil, há pouca informação sobre a caracterização, as condições de coleta, transporte, tratamento e destino final do resíduo (lodo) produzido nesses sistemas. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo a caracterização do lodo produzido nessas unidades; e, também, a concepção, o desenvolvimento e a avaliação de uma unidade piloto para pré-tratamento de lodo de fossas e tanques sépticos. Essa unidade, constituída por grade, desarenador e flotor, foi instalada no Campus da Universidade de São Paulo, junto da Estação de Tratamento de Esgoto do Campus – área 1, e visa à remoção de sólidos grosseiros, areia e materiais flutuantes, antes de seu lançamento na Estação de Tratamento de Esgoto do Campus. Foi feita a caracterização do lodo de tanques sépticos coletado *in situ* e do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas, descarregado em tanque pulmão de 15.000 litros. A caracterização do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas foi realizada em duas campanhas (coletas), sendo uma feita na primeira visita ao local pré-definido, e outra realizada aproximadamente seis meses após a primeira coleta. Com intuito de aprimorar o método de análise das amostras do lodo *in situ*, com finalidade de melhor fragmentar o material particulado, foi testado o uso de ultrassom. Também, foi realizada a caracterização do lodo de fossas e tanques sépticos na Central de Recebimento de Resíduos na cidade de Campinas-SP- SANASA - Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento SA. Para tanto foram coletadas amostras compostas de lodo descarregado por 24 caminhões. Foi feito teste complementar, com a finalidade de estudar a degradação do lodo flotado por processos anaeróbio e aeróbio. Mediante essas caracterizações pode-se constatar a grande heterogeneidade da composição do lodo e a elevada carga orgânica, que devem ser ponderados com relação a impactos no meio ambiente e em Estações de Tratamento de Esgoto. Contudo, nota-se a importância do pré-tratamento desse lodo antes de ser lançado em ETEs. A unidade piloto foi operada com diferentes taxas de aplicação superficial (80; 110; 140 e 200 m³.m⁻².dia⁻¹), sendo a que resultou maior eficiência foi a taxa de aplicação superficial de 110 m³.m⁻².dia⁻¹, quando foram obtidas remoções de 91,7% de sólidos suspensos; 89,3% de DQO e 81,9% de óleos e graxas. Pelos resultados obtidos foi demonstrada a eficiência do sistema de flotação na remoção de óleos e graxas e dos sólidos suspensos. A digestão aeróbia do lodo flotado mostrou-se eficiente quando foi aplicado inóculo com período de aeração superior a 20 dias, sendo que foram obtidas eficiências de 88,3% e 90% para remoção de DQO e de óleos e graxas, respectivamente.

Palavras chave: lodo de fossa e tanque séptico; caracterização de lodo; pré-tratamento de lodo; flotação; ultrassom; degradação anaeróbia; degradação aeróbia.

ABSTRACT

BORGES, N. B. (2009). **Characterization and treatment of sludge originated from septic tanks**. São Carlos, 2009. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Septic tanks are small structures used for partial treatment of wastewater from urban and rural areas. Its utilization is justified mainly by the simplicity of construction and for being a technology that requires low operational dedication. Although it is a technology vastly used in Brazil, there is not much information about the characteristics of the waste dumped in there, and the conditions of collection, transport, and final destination of the sludge generated in the system. The objective of this research was to characterize the sludge originated from septic tanks and to design, construct and evaluate a treatment unit model to be used for prior treatment of the sludge generated in those septic tanks. This unit, composed by a sieve, a degritter, and a flotation device, was assembled in the São Paulo University Campus, near the area 1 from the campus Wastewater Treatment Plant (WWTP). It had the purpose to remove hard solid particles, sand and the floating material before their entry in the Wastewater Treatment Plant. Was made to characterize the sludge septic tank collected *in situ* and the sludge originated from the *Septic Pumper Truck*, unloaded into a tank of 15.000 L. Furthermore, the characterization of the sludge originated from the *Septic Pumper Truck* was performed twice, once in the material collected in the first visit to the defined location and the other in the material collected about six months after the first collection. The use of ultrasound was tested to ameliorate the fragmentation of the particulate material and to improve the method of analysis of the sludge *in situ*. Additionally, it was characterized the sludge from septic tanks in the Waste Reception Center from the city of Campinas, São Paulo State – SANASA – Society of Water Supply and Sanitation in composite samples collected from 24 trucks during the unloading. *Septic Pumper Trucks* in the Waste Reception Center. A complementing test was performed in order to test the degradation of the floated sludge by anaerobic and aerobic processes. The characterizations revealed a great heterogeneity in the composition of the sludge and a high organic content, which should be taken in consideration regarding the impacts in the environment and in the WWTP. This underlines the importance of the treatment of the sludge prior to discharging into the WWTP. The pilot plant was managed to work at different rates of surface sludge application (80; 110; 140 and 200 m³ m⁻² day⁻¹). The 110 m³ m⁻² day⁻¹ rate displayed the highest efficiency with the removal of 91.7% of suspended solids, 89.3% of the Chemical Oxygen Demand, and 81.9% of oils and waxes. The results showed the efficiency of the flotation system in the removal of suspended solids, oils and greases. The aerobic digestion of the floated material was efficient when it received inoculation with aeration period greater than 20 days, which allowed CDO the removal of 88.3% and 90% of oils and greases.

Keyword: Sludge from septic tanks; characterization of the sludge; prior treatment of the sludge; flotation; ultrasound; aerobic digestion; anaerobic digestion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Percentual de moradores em domicílios urbanos brasileiros sem saneamento básico adequado, segundo as grandes regiões. Fonte: PNAD 2001 e 2006	7
Figura 3.2 – Proporção de municípios com acesso ao serviço de esgotamento sanitário, segundo as Grandes Regiões do Brasil. Fonte: PNAD, 2006	8
Figura 3.3 – Esquema de um tanque séptico. Fonte: ABNT, NBR 7229/1993	15
Figura 3.4 – Esquema de tanque séptico de câmara única. Fonte: Adaptado de Andrade Neto et al. (1999)	16
Figura 3.5 – Esquema de tanque séptico com câmaras em série. Fonte: Adaptado de Andrade Neto et al. (1999)	16
Figura 3.6 – Esquema de tanque séptico de câmaras sobrepostas. Fonte: Adaptado de Andrade Neto et al. (1999)	17
Figura 3.7 – Etapas da digestão anaeróbia. Fonte: Gujer e Zehnder (1983)	25
Figura 4.1 – Localização das fossas selecionadas no município de São Carlos/SP. Fonte: Imagem de satélite disponibilizada pelo Google maps	55
Figura 4.2 – Tanques sépticos selecionados para a pesquisa	56
Figura 4.3 – Draga de Ekman utilizada para coleta de lodo in situ	58
Figura 4.4 – Instalações feitas no tanque de recebimento: tomadas para coletas (a), piezômetro (b) e peneira (c)	59
Figura 4.5 – Microscopia óptica da amostra de lodo após ultrassom. Cinco minutos (a), dez minutos (b), quinze minutos (c)	60
Figura 4.6 – Fluxograma do tratamento preliminar das amostras de lodo, precedendo as análises de laboratório	61
Figura 4.7 – Central de Recebimento de Resíduo da SANASA, Campinas-SP . Vista geral (a) Vista lateral (b)	63
Figura 4.8 – Descarte de lodo na Central de Recebimento de Resíduo da SANASA, Campinas-SP. Caminhão limpa-fossa preparando para o descarregamento (a) Amostras coletadas durante o descarte (b)	64

Figura 4.9 – Foto do sistema experimental: unidade de pré-tratamento e tanque de recebimento	66
Figura 4.10 – Foto do sistema experimental: ETE piloto	66
Figura 4.11 – Corte esquemático da instalação piloto para remoção de areia e flotação	67
Figura 4.12 – Compressor utilizado na montagem experimental	69
Figura 4.13 – Régua graduada para medir lâmina líquida no vertedor triangular	69
Figura 4.14 – Ilustração dos locais de coleta das amostras: entrada do reator (a), saída do reator (b) e material flotado (c)	72
Figura 4.15 – Fluxograma esquemático do pré-tratamento das amostras no tratamento preliminar precedendo as análises de laboratório	73
Figura 4.16 – Montagem experimental para degradação anaeróbia do lodo flotado	75
Figura 5.1 – Microscopia óptica do lodo de tanque séptico. (a) lodo sem ultrassom e (b) lodo com ultrassom	77
Figura 5.2 – Ovos de helmintos, tanque séptico 3 (a) e tanque séptico 4 (b)	80
Figura 5.3 – DQO do lodo coletado in situ (a) DQO do lodo dos caminhões limpa-fossas (b)	81
Figura 5.4 – pH do lodo coletado in situ (a) pH do lodo dos caminhões limpa-fossas (b)	82
Figura 5.5 – Alcalinidade do lodo coletado in situ (a) Alcalinidade do lodo dos caminhões limpa-fossas (b)	82
Figura 5.6 – Óleos e graxas do lodo coletado in situ (a) Óleos e graxas do lodo dos caminhões limpa-fossas (b)	83
Figura 5.7 – Sólidos presentes no lodo in situ (a1,a2,a3) e descartados por caminhões limpa-fossas (b1,b2,b3)	84
Figura 5.8 – Nitrogênio presentes no lodo in situ (a1,a2) e descartados por caminhões limpa-fossas (b1,b2)	85
Figura 5.9 – Fósforo total do lodo coletado in situ (a) Fósforo total do lodo descartado por caminhões limpa-fossas (b)	86
Figura 5.10 – Cloretos do lodo coletado in situ (a) e cloretos do lodo descartado por caminhões limpa-fossas (b)	86

Figura 5.11 – Análise estatística dos metais presentes no lodo in situ (a1, a2, a3, a4) e descarregados por caminhões limpa-fossas (b1, b2, b3, b4)	88
Figura 5.12 – Análise estatística dos metais presentes no lodo in situ (a1, a2, a3, a4) e descarregados por caminhões limpa-fossas (b1, b2, b3, b4)	89
Figura 5.13 – DQO do lodo - primeira campanha (a) DQO do lodo – segunda campanha(b)	92
Figura 5.14 – Óleos e graxas do lodo - primeira campanha (a) Óleos e graxas do lodo – segunda campanha (b)	92
Figura 5.15 – Sólidos totais do lodo - primeira campanha (a) Sólidos totais do lodo – segunda campanha(b)	93
Figura 5.16 – pH (a) Alcalinidade (b) do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas na cidade de Campinas-SP	98
Figura 5.17 – DQO (a) DBO (b) do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas na cidade de Campinas-SP	99
Figura 5.18 – Nitrogênio Kjeldahl total (a) Nitrogênio amoniacal (b) do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas na cidade de Campinas-SP	99
Figura 5.19 – Óleos e graxas (a) Cloretos (b) do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas na cidade de Campinas-SP	100
Figura 5.20 – Fosfato total (a) Sólidos sedimentáveis (b) do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas na cidade de Campinas-SP	100
Figura 5.21 – Sólidos totais (a), sólidos totais voláteis (b), sólidos suspensos (c) sólidos suspensos voláteis (d) do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas na cidade de Campinas-SP	101
Figura 5.22 – Metais do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas na cidade de Campinas-SP: Zinco (a), Chumbo (b), Cádmio (c), Níquel (d), Ferro (e), Manganês (f), Cobre(g), Cromo (h) Prata (i)	102
Figura 5.23 – Concentrações medianas de DQO da caracterização do lodo de tanques sépticos de São Carlos-SP e da caracterização aleatória de fossas e tanques sépticos de Campinas-SP	107

Figura 5.24 – Concentrações medianas de óleos e graxas da caracterização do lodo de tanques sépticos de São Carlos-SP e da caracterização aleatória de fossas e tanques sépticos de Campinas-SP 107

Figura 5.25 – Concentrações medianas da série de sólidos da caracterização do lodo de tanques sépticos de São Carlos-SP e da caracterização aleatória de fossas e tanques sépticos de Campinas-SP 107

Figura 5.26 – Eficiência de remoção em relação as taxas de aplicação superficial DQO (a), Óleos (b) e graxas, Sólidos totais (c) e Sólidos suspensos (d) 112

Figura 5.27 – Curva granulométrica do material retido na peneira que antecedia o flotador nos ensaios: ensaio com taxa de aplicação superficial $80 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ (a), ensaio com taxa de aplicação superficial $110 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ (b), ensaio para taxa de aplicação superficial $140 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ (c) e ensaio para taxa de aplicação superficial $200 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ (d). 114

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Níveis de atendimento urbano com esgoto dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2006, segundo a região geográfica. Fonte: SNIS, 2006.	8
Tabela 3.2 – Eficiência dos tanques sépticos	19
Tabela 3.3 – Contribuições unitárias de esgoto e de lodo fresco por tipos de prédios e de ocupantes ($L. \text{ pessoa}^{-1}. \text{ dia}^{-1}$)	21
Tabela 3.4. – Período de detenção em função da vazão afluente (N.C)	21
Tabela 3.5 – Taxa de acumulação total de lodo em dias (K)	22
Tabela 3.6 – Produção de lodo segundo o tipo de tratamento	26
Tabela 3.7 – Parâmetros recomendados para análise de lodo séptico	28
Tabela 3.8 – Características físico-químicas de lodo de tanques sépticos	31
Tabela 3.9 – Caracterização biológica de lodo de tanque séptico da cidade de Natal-RN	32
Tabela 3.10 – Caracterização biológica de lodos de tanques sépticos na região metropolitana de Curitiba-PR	32
Tabela 3.11 – Comparação entre as características de lodo séptico e lodo de ETE	33
Tabela 3.12 – Características físico-químicas do material removido na limpeza de tanques sépticos segundo USEPA, (2002).	33
Tabela 3.13 – Classificação das grades para esgoto sanitário conforme espaçamento entre elas.	39
Tabela 3.14 – Valores de concentração de substâncias oleosas e gordurosas encontradas em esgoto e lodos de tanques sépticos	44
Tabela 3.15 – Características do lodo adensado e do sobrenadante	45
Tabela 4.1 – Ensaio para caracterização das amostras de lodo	61
Tabela 4.2 – Dimensões do Flotador utilizado na pesquisa	68
Tabela 4.3 – Parâmetros para realização dos ensaios	70

Tabela 4.4 – Vazões utilizadas nos ensaios	71
Tabela 5.1 – Dados obtidos no momento da coleta do tanque <i>in situ</i>	77
Tabela 5.2 – Caracterização do lodo coletado <i>in situ</i>	78
Tabela 5.3 – Caracterização do lodo conforme descarregado pelos caminhões limpa-fossas	79
Tabela 5.4 – Médias dos sólidos totais presentes no lodo coletado <i>in situ</i> e descartados por caminhões	81
Tabela 5.5 – Resultados da 1ª e 2ª campanhas de dois tanques sépticos	91
Tabela 5.6 – Dados da caracterização de amostras aleatórias de descartes de caminhões limpa-fossas	94
Tabela 5.7 – Caracterização do lodo conforme descarregado pelos caminhões limpa-fossas em Campinas/SP	97
Tabela 5.8 – Caracterização de percolado de aterro sanitário e de lodo descartado de UASB conforme descarregado pelos caminhões limpa-fossas na Central de Recebimento de Resíduos em Campinas-SP	104
Tabela 5.9 – Estatística descritiva dos resultados físico-químicos da caracterização do lodo de tanques sépticos de São Carlos-SP e da caracterização aleatória de tanques sépticos de Campinas-SP	106
Tabela 5.10 – Resultados do ensaio para taxa de aplicação superficial de $80 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$	109
Tabela 5.11 – Resultados do ensaio para taxa de aplicação superficial de $110 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$	109
Tabela 5.12 – Resultados do ensaio para taxa de aplicação superficial de $140 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$	110
Tabela 5.13 – Resultados do ensaio para taxa de aplicação superficial de $200 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$	110
Tabela 5.14 – Resultados dos sólidos totais do material sedimentado durante os ensaios	111

Tabela 5.15 – Taxa de aplicação de sólidos dos ensaios e da faixa de variação encontrada na literatura	113
Tabela 5.16 – Quantidade de sólidos retidos nas peneiras, em teste de laboratório	113
Tabela 5.17 – Resultados do processo aeróbio de digestão do lodo flotado (taxa de aplicação superficial de $80 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)	115
Tabela 5.18 – Resultados do processo aeróbio de digestão do lodo flotado (taxa de aplicação superficial de $110 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)	115
Tabela 5.19 – Resultados do processo aeróbio de digestão do lodo flotado (taxa de aplicação superficial de $140 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)	115

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA	American Public Health Association
AT	Alcalinidade Total [mgCaCO ₃ .L ⁻¹]
AWWA	American Water Works Association
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio [mg.L ⁻¹]
DQO	Demanda química de oxigênio [mg.L ⁻¹]
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EPA	Environmental Protection Agency
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FIPAI	Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LAB	Lodo ativado por batelada
N-Amon	Nitrogênio amoniacal [mg.L ⁻¹]
NBR	Norma Brasileira
ND	Não detectável
NMP	Número mais provável
N-org	Nitrogênio orgânico [mg.L ⁻¹]
N-total	Nitrogênio total [mg.L ⁻¹]
NKT	Nitrogênio Kjeldahl Total [mg.L ⁻¹]
pH	Potencial hidrogeniônico
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
SANASA	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento SA
SHS	Departamento de Hidráulica e Saneamento
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SS	Sólidos sedimentáveis [mg.L ⁻¹]
SSF	Sólidos em suspensão fixos [mg.L ⁻¹]
SST	Sólidos em suspensão totais [mg.L ⁻¹]
SSV	Sólidos em suspensão voláteis [mg.L ⁻¹]
ST	Sólidos totais [mg.L ⁻¹]
STF	Sólidos totais fixos [mg.L ⁻¹]
STV	Sólidos totais voláteis [mg.L ⁻¹]
TAS	Taxa hidráulica de escoamento superficial [m ³ .m ⁻² .d ⁻¹]
TCS	Taxa de aplicação de sólidoS [kgSST.m ⁻² .d ⁻¹]
TDH	Tempo de detenção hidráulica [h]
UASB	Reator anaeróbio de manta de lodo (<i>upflow anaerobic sludge blanket</i>)
USEPA	United State Environmental Protection Agency
USP	Universidade de São Paulo
WEF	Water Environment Federation
WWTP	Wastewater Treatment Plant

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ_s	Massa específica [kg.m^{-3}]
A/S	Razão ar/sólidos [mg.mg^{-1}]
C	Contribuição de esgoto per capita [L.hab.dia^{-1}]
F	Fração de ar dissolvido [%]
h	Altura da lâmina líquida [m]
K	Taxa de acumulação total de lodo [dia]
L_f	Contribuição de lodo fresco [L.dia^{-1}]
N	Número de pessoas ou população equivalente [hab]
P	Pressão absoluta [atm]
Q	Vazão [$\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$] ou [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]
R	Vazão de recirculação [$\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$]
Sa	Solubilidade do ar na água [mL.L^{-1}]
T	Período de detenção de despejos [h] ou [dia]
V	Volume útil [L]

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	1
2.	OBJETIVOS	5
2.1.	Geral	5
2.2	Específicos	5
3.	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	6
3.1.	Generalidades	6
3.2.	Saneamento no Brasil.....	6
3.3.	Generalidades sobre aplicações do tratamento anaeróbio de esgoto sanitário	9
3.4.	Fossas e tanques sépticos.....	10
3.4.1.	Generalidades	10
3.4.2.	Fossas e Latrinas.....	12
3.4.3.	Tanque séptico	13
3.4.3.1.	Tipos de tanques sépticos	15
3.4.3.2.	Eficiência dos tanques sépticos	17
3.4.3.3.	Dimensionamento de tanques sépticos	20
3.4.3.4.	Decomposição biológica nos tanques sépticos.....	23
3.4.3.5.	Efluentes gerados nos tanques sépticos	25
3.4.3.6.	Características do lodo séptico	27
3.5.	Generalidade sobre tratamento e disposição dos efluentes de fossa e tanque séptico.....	34
3.6.	Operações que podem ser empregadas no pré-tratamento do lodo de fossas e tanques sépticos.....	36
3.6.1.	Generalidades	36
3.6.2.	Tratamento Preliminar de Estação de Tratamento de Esgoto.....	37
3.6.2.1.	Gradeamento.....	38
3.6.2.2.	Desarenadores.....	40
3.6.3.	Flotadores	41
3.7.	Tratamento do lodo gerado em Estação de Tratamento de Esgoto	48
3.7.1.	Generalidades	48
3.7.2.	Desintegração do lodo	48

3.7.3. Desintegração do lodo com ultrassom	51
4. MATERIAL E MÉTODOS	53
4.1. Generalidades	53
4.2. Caracterização do lodo (São Carlos/SP)	54
4.2.1. Número e natureza dos tanques/fossas sépticas	54
4.2.2. Coleta de amostras de lodo	57
4.2.3. Preparo da amostra para posterior análise.....	60
4.2.4. Ensaio e determinações	61
4.3. Caracterização do lodo descarregado na Central de Recebimento de Resíduos da ETE Piçarrão em Campinas/SP	62
4.4. Tratamento estatístico das caracterizações do lodo de São Carlos-SP e Campinas-SP	64
4.5.1. Características do sistema de pré-tratamento	67
4.5.2. Monitoramento da unidade piloto	70
4.5.3. Testes complementares para avaliação da potencialidade de degradação biológica do lodo flotado	74
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
5.1. Caracterização do lodo (São Carlos-SP	76
5.2. Caracterização do lodo da Central de Recebimento de Resíduo (SANASA-Campinas/SP).....	93
5.2.1. Lodo de fossas e tanques sépticos.....	93
5.2.2. Caracterização de percolado de aterro sanitário e de lodo descartado de reator UASB.....	103
5.3. Comparação entre os dados da cidade de São Carlos-SP e Campinas-SP	105
5.4. Ensaio da unidade piloto.....	108
5.5. Testes complementares para avaliação do lodo flotado na unidade de pré-tratamento	115
6. CONCLUSÕES.....	117
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios de 2006 (PNAD), disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 83,2% da população de brasileiros têm acesso ao abastecimento de água, enquanto que 70,6% têm o serviço de esgotamento sanitário (rede coletora de esgoto ou fossa ou tanque séptico) e 86,6% têm o serviço de coleta de lixo.

Como aproximadamente 30% da população ainda não têm acesso aos serviços de esgotamento sanitário; fica explícita a necessidade da aplicação de tecnologia adequada à realidade brasileira que atenda tanto a grandes cidades como a pequenos assentamentos. Nesse sentido, verifica-se a importância da utilização de sistemas individuais, simples e, se possível, de baixo custo de tratamento de esgoto para melhoria da saúde e qualidade de vida.

Os sistemas de disposição do esgoto doméstico são conhecidos como públicos, caracterizados pelo seu esgotamento por tubulações até uma estação de tratamento e/ou disposição sanitária segura; ou individuais que são representados pela fossa ou tanque séptico (BATALHA, 1989).

A fossa e o tanque séptico foram as primeiras unidades idealizadas para *tratamento* de esgoto e até hoje são os mais extensivamente empregados. Conforme a PNAD de 2006, disponibilizada pelo IBGE, 21,1% dos domicílios particulares permanentes utilizam a fossa ou tanque séptico como sistema de *tratamento* (embora incompleto) de esgoto.

Embora muitos considerem que a fossa e tanque séptico sejam similares, existem diferenças entre eles. O tanque séptico deve ser usado quando o sistema for impermeável, que

não permitindo infiltrações por suas paredes, e apresentarem dispositivo que permitem a separação do lodo e matérias flutuantes. A fossa séptica quando for um simples buraco escavado no solo. Ainda as fossas podem ser agrupadas em secas ou sépticas. Nas primeiras não se tem a utilização de transporte hídrico, exigindo solução independente para disposição das águas servidas. Já as fossas sépticas possuem instalações hidráulicas que permitem o transporte hídrico dos despejos (HELLER e CHERNICHARO, 1996 e LEITE *et al.*, 2006).

As fossas e os tanques sépticos são, praticamente, sistemas de tratamento apenas em nível primário de esgoto “*in situ*”, nos quais são feitas a separação e a transformação parcial da matéria orgânica e a produção de três tipos de efluentes: líquido, sólido (lodo) e gás. O efluente líquido é caracterizado pelo esgoto “*isento*” dos materiais sedimentáveis e flutuantes, e apresenta odor desagradável, cor escura e grande quantidade de microrganismos. O lodo sedimentado contém parcela significativa de sólidos e apresenta, instabilidade biológica, presença de patógenos (vírus, bactérias, helmintos), e, ainda, altas concentrações de sólidos (PAULA JUNIOR *et al.*, 2003).

Observa-se, no país, a grande utilização de fossas e de tanques sépticos; porém, devido à falta de monitoramento dos mesmos e do lodo gerado, as condições operacionais e o destino do lodo são geralmente problemáticos. O lodo retido no interior das fossas e dos tanques sépticos deve ser retirado periodicamente, visando manter a eficiência do sistema, de maneira quase generalizada, sendo que a limpeza dessas unidades processa-se de forma desordenada.

As principais formas de disposição do lodo gerado nas fossas e nos tanques sépticos são: i) lançamento em estações de tratamento de esgoto (ETE); ii) lançamento direto em rios; iii) aplicação na agricultura sem controle; iv) sistemas de lagoas, entre outros. Sem o adequado processamento, esses resíduos colocam em risco a saúde da população e a qualidade ambiental. Devido a isso, a prática freqüente de lançá-lo diretamente em corpos de água ou

galeria de águas pluviais e dispor de forma inadequada em terrenos nos limites das cidades tem sido condenada (ABNT, 1992).

Como a fossa e o tanque séptico são amplamente utilizados, quantidades significativas de lodos são gerados. Portanto, é necessário conhecer as características qualitativas e quantitativas do lodo nessas unidades, pois o mesmo apresenta características próprias, levando-se em conta as atividades, costumes e padrão de vida dos usuários. Em se tratando da coleta de lodo, deve-se levar em consideração as particularidades relacionadas tanto à coleta, ao transporte, e à descarga do lodo, como também à grande heterogeneidade de tipos de caminhões empregados para esse fim.

Há pouca informação sobre tratamento e destino final desse lodo, menos se sabe, ainda, sobre a potencialidade do uso do tratamento preliminar, responsável pela remoção da areia, sólidos grosseiros, óleos e graxas. Tais materiais, quando lançados em ETEs podem causar uma série de agravantes, tais como: aumento dos custos de operação e de manutenção dos equipamentos devido à presença de materiais abrasivos, fibras, trapos comprometimento do funcionamento das etapas do tratamento e disposição, dentre outros.

Nesta pesquisa, foi feita a caracterização do lodo *in situ* de fossas e de tanques sépticos da cidade de São Carlos-SP, e, também do lodo removido por caminhões, de fossas e de tanques sépticos da cidade de São Carlos-SP e Campinas-SP (SANASA).

Também, foi concebida e operada uma unidade de pré-tratamento de lodo de fossa e tanque séptico, constituída de gradeamento, desarenador e flotador, cujas funções são, respectivamente, a remoção de sólidos grosseiros, areia e óleos e graxas, antes de seu lançamento em Estações de Tratamento de Esgoto.

A proposta de se utilizar flotação de lodo de tanques sépticos, da forma aqui abordada, não é encontrada na literatura técnica. Nesta pesquisa, essa proposição foi abordada pensando-se, em casos em que há necessidade de se reduzir a carga de DBO, de DQO ou

sólidos em Estações de Tratamento de Esgoto, ou quando deseja-se promover o pré-adensamento do lodo, visando posterior desaguamento (com ou sem digestão), os resultados desta pesquisa demonstraram que trata-se de uma alternativa bastante atraente. O pré-desaguamento desse lodo também pode beneficiar soluções baseados em cenário em que se deseja efetuar sua posterior compostagem ou co-disposição.

O presente projeto faz parte de uma Rede nacional de Pesquisas com o objetivo de estudar a Caracterização, o Tratamento e a Disposição de Lodo Proveniente de Fossas Sépticas no Âmbito do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB, buscando avanços em conhecimento e a inclusão de aspectos originais para que haja efetiva evolução na amplitude dos conhecimentos sobre a problemática associada ao lodo gerado nos tanques e fossas sépticas. Trata-se do Convênio FINEP/FIPAI relativos ao PROSAB, EDITAL 5, TEMA 6 e desenvolvida pelo Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos/EESC- USP nesse contexto (programa PROSAB).

Além do trabalho em questão (SUBPROJETO 1: Caracterização de Lodo de Fossas e Tanques Sépticos, SUBPROJETO 3: Tratamento preliminar do lodo de Fossas e Tanques Sépticos), a equipe do SHS-EESCUSP, também desenvolveram-se no SHS EESC-USP os seguintes subprojetos:

SUBPROJETO 2: Co-disposição de Lodo de Tanques Sépticos com Lixo Domiciliar em Aterros Sanitários.

SUBPROJETO 4: Co-disposição de Lodos de Tanques Sépticos com Lixo Domiciliar em Compostagem.

SUBPROJETO 5: Impacto do Lançamento de Lodos de Tanques Sépticos em uma ETE com reator UASB.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

O estudo proposto teve como objetivos principais a caracterização do lodo de fossas e de tanques sépticos, e a concepção, desenvolvimento e avaliação de uma unidade de pré-tratamento de lodo de tanque séptico, constituída de gradeamento, desarenador e flotador, visando a remoção de sólidos grosseiros, areia e óleos e graxas, e adensamento do lodo

2.2 Específicos

- Amostragem e caracterização do lodo coletado *in situ* e do lodo que chega em caminhões limpa-fossas, na cidade de São Carlos-SP;
- Caracterização de lodo de tanques sépticos descartados na Central de Recebimento de Lodo da Estação de Tratamento de Esgoto de Piçarrão/Campinas-SP (SANASA);
- Avaliação de desempenho de uma unidade para flotação do lodo de tanques sépticos;
- Avaliação da potencialidade de se efetuar a degradação do material flotado por processo anaeróbio ou aeróbio.

3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

3.1. Generalidades

A presente revisão bibliográfica visa à contextualização do tema proposto pela pesquisa. Inicialmente, apresenta-se um panorama do saneamento básico no Brasil. A seguir, destaca-se a utilização de fossas e de tanques sépticos, englobando as diferenças entre as duas unidades; e os tipos, eficiência, dimensionamento, decomposição biológica, efluentes gerados e disposição final do lodo de tanque séptico.

Nesta revisão, comentam-se alguns conceitos sobre o tratamento preliminar, com enfoque nas unidades de gradeamento e desarenação, e também sobre flotação, que serão utilizados para tratamento do lodo de tanques sépticos.

Por fim, apresentam-se algumas informações sobre o uso de ultrassom na desintegração do lodo.

3.2. Saneamento no Brasil

O acesso a serviços de saneamento avançou nos últimos anos, porém, a falta de saneamento adequado ainda atinge cerca de 26,8% (PNAD, 2006) dos moradores em domicílios urbanos. Não obstante, a proporção da população urbana que não conta com o serviço de saneamento básico é desigual entre as regiões brasileiras. A Figura 3.1 apresenta o

percentual de moradores em domicílios urbanos brasileiros sem saneamento básico adequado nas regiões brasileiras, nos anos de 2001 e 2006.

Figura 3.1 – Percentual de moradores em domicílios urbanos brasileiros sem saneamento básico adequado, segundo as grandes regiões. Fonte: PNAD 2001 e 2006

Nota-se através da Figura 3.1, que houve diminuição do percentual de moradores em domicílios urbanos sem saneamento básico, em todas as Regiões brasileiras. Mas, ainda há desigualdade na proporção urbana que não conta com esse serviço entre as Regiões. A proporção da população urbana que não conta com esses serviços é cerca de seis vezes maior no Norte e mais de quatro vezes superior no Nordeste, quando se compara com o Sudeste.

Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios de 2006 (PNAD), disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 83,2% da população de brasileiros têm acesso ao abastecimento de água, enquanto 70,6% têm o serviço de esgotamento sanitário (rede coletora de esgoto ou sistema individual de tratamento) e 86,6% têm o serviço de coleta de lixo.

Segundo a pesquisa supracitada, dentre os serviços de saneamento básico (abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de lixo), o serviço de esgotamento sanitário é o que tem menos cobertura nos municípios brasileiros. Nas áreas urbanas, 29,4%

da população brasileira e 34,5 milhões de pessoas não têm acesso ao serviço de esgotamento sanitário. Conforme a Figura 3.2, o Sudeste é a região que tem a maior proporção de municípios com esgotamento sanitário (87,6%), seguido do Sul (77,5%), Norte (52,1%), Nordeste (48,5%), Centro-Oeste (44,5%).

Figura 3.2 – Proporção de municípios com acesso ao serviço de esgotamento sanitário, segundo as Grandes Regiões do Brasil. Fonte: PNAD, 2006

Outros dados sobre esgotamento sanitário, disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2006, são apresentados na Tabela 3.1. Nota-se que o impacto poluidor é potencializado pelo fato de que apenas parte do esgoto coletado recebe algum tipo de tratamento.

Tabela 3.1 – Níveis de atendimento urbano com esgoto dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2006, segundo a região geográfica. Fonte: SNIS, 2006.

Abrangência	Índice de atendimento urbano (%)	
	Coleta de esgoto	Tratamento do esgoto coletado
Norte	6,1	8,4
Nordeste	26,4	31,9
Sudeste	69,6	33,7
Sul	35,2	28,2
Centro-oeste	45,9	42,8
Brasil	48,3	32,2

3.3. Generalidades sobre aplicações do tratamento anaeróbio de esgoto sanitário

O decanto-digestor (tanque séptico), filtro anaeróbio, reator de manta de lodo, reator de leito expandido ou fluidificado e a lagoa anaeróbia são os reatores anaeróbios mais comumente utilizados no Brasil (ANDRADE NETO e CAMPOS, 1999).

A primeira contribuição significativa ao tratamento anaeróbio de esgoto sanitário foi a *câmara* vedada ao ar, desenvolvida em 1882, na França, denominada Fossa Automática Mouras. A partir de então, muitas outras *câmaras* foram desenvolvidas como: o tanque séptico, em 1895 na Inglaterra, o tanque Talbot, em 1884, nos Estados Unidos, e o taque Imhoff de câmaras sobrepostas, em 1905, na Alemanha (Mc CARTY¹, 1982 apud FORESTI *et al.*, 1999).

Deve-se a Young e McCarty¹ no final do ano 1960, a demonstração de que a matéria orgânica solúvel presente no esgoto pode ser tratada por processo anaeróbio. No início dos anos 70 surgiram o reator de leito fluidizado e o reator anaeróbio de fluxo ascendente, especialmente para o tratamento de águas residuárias industriais. A partir dos anos 80 iniciou-se a aplicação dos reatores anaeróbios, do tipo UASB, no tratamento de esgoto sanitário como uma alternativa interessante para compor o fluxograma de novas ETEs (FORESTI *et al.*, 1999).

Os principais aspectos positivos dessa concepção de reator são:

- Baixo consumo de energia; consequentemente os custos operacionais são menores;
- Baixa produção de sólidos biológicos, cerca de 5 a 10 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbios;
- Lodo parcialmente estabilizado;

¹ Mc.CARTY, P.L. One Hundred Years of Anaerobic Treatment. In: Anaerobic Digestion 1981. Hugges et al. Eds. Elsevier biomedical Press B. V, p.3-22, 1982.

- Produção de metano, possibilidade de recuperação e utilização do mesmo como combustível;

Em contrapartida o tratamento anaeróbio tem seus aspectos negativos, que dentre os quais se podem destacar:

- A partida do processo geralmente é lenta;
- Alguma forma de pós-tratamento é necessária, pois a remoção de nutrientes, fósforo e patógenos é baixa;
- Possibilidade de geração de maus odores;
- Necessidade de gastos para proteção dos componentes contra corrosão.

Contudo, nas condições ambientais, climáticas e econômicas do Brasil não se pode desprezar as vantagens e conveniências da aplicação de reatores anaeróbios, sendo este uma importante opção nas análises de alternativas para ser incorporada em projetos de estações de tratamento de esgoto doméstico (ANDRADE NETO e CAMPOS, 1999).

3.4. Fossas e tanques sépticos

3.4.1. Generalidades

As diferenças entre as fossas e os tanques sépticos são consideráveis. A fossa é um simples buraco escavado no solo, enquanto que o tanque séptico que é uma unidade impermeável, que não permite infiltração do esgoto por suas paredes e apresentam dispositivos de separação que permite a separação de lodo e materiais flutuantes. O tanque séptico é construído de forma a receber todo o esgoto doméstico (fezes, urina e efluentes provenientes de pias, tanques, chuveiros). É vedado o encaminhamento ao tanque séptico de águas pluviais, e qualquer despejo capaz de causar interferência negativa em qualquer fase do

processo de tratamento ou elevação excessiva da vazão do esgoto afluyente, tais como os provenientes de piscinas e de lavagem de reservatórios de água (ABNT, 1993).

Outra diferença entre as duas unidades é o custo de construção, as fossas, normalmente, são de baixo custo enquanto os tanques sépticos, para adequar-se a NBR 7229/93, são de custo relativamente maior (HELLER e CHERNICHARO, 1996).

Considerando-se a NBR 7229/93, o custo com o material e execução da obra para se adequar a construção de tanques sépticos pode ser maior que o valor per capita gasto com a construção de uma ETE, e esta possui a vantagem de produzir efluente com melhor qualidade. Dados fornecidos por algumas empresas indicam que o valor, em média, para a construção de tanque séptico, conforme parâmetros estabelecidos pela ABNT, para atender cinco usuários é cerca de R\$ 1.800,00 reais (360 reais per capita). A título de comparação, tomando-se como data de referência junho de 2009, a ETE Monjolinho, estação recentemente construída em São Carlos-SP, apresentou, como valor per capita, 250 reais.

As fossas e tanques sépticos são utilizados por aproximadamente 65% dos habitantes na África e Ásia. Na América Latina, praticamente 50% das casas estão ligadas a este tipo de serviço (MONTANGERO² *et al.*, 2000 apud LEITE *et al.*, 2006).

No Brasil, as fossas e os tanques sépticos são sistemas alternativos mais utilizados para o tratamento primário do esgoto sanitário, 21,1% dos domicílios particulares permanentes utilizam este serviço (PNAD, 2006).

² MONTANGERO, A., STRAUSS, M., INGALLINELLA, A.M., KOOTTATEP, T., LARMIE, S.A. Cuando los tanques septicos estan llenos – El desafio del manejo y tratamiento de lodos fecales. In: Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente, 11º. AIDIS, Argentina; 2000.

3.4.2. Fossas e Latrinas

Tanto as fossas como as latrinas são buracos escavados no solo, permitindo que o líquido se infiltre no terreno. A diferença entre eles é que as latrinas não possuem instalações hidráulicas, assim, os despejos são depositados em um buraco escavado diretamente no terreno (VON SPERLING e OLIVEIRA, 2007).

As fossas podem ser agrupadas em secas ou sépticas. Sendo que as primeiras consiste, basicamente, de um buraco e seus elementos acessórios, onde são depositadas as excretas até um nível correspondente a cerca de 0,5 a 1,0 metro abaixo da superfície do terreno. Quando o nível é atingido, o espaço livre é preenchido com terra, a fossa é desativada, podendo as estruturas superiores serem deslocadas para outro buraco, compondo nova fossa. A fossa é denominada negra quando o buraco é escavado sob ou a menos de 1,5 metros do lençol freático (VON SPERLING e OLIVEIRA, 2007).

Tanto nas latrinas quanto nas fossas secas, que recebem uma pequena quantidade de água, os dejetos sofrem reações químicas e biológicas complexas que acarretam a decomposição a material inócuo, água e gases. A água remanescente e os gases são dissipados no terreno ou ar, permanecendo nas fossas e latrinas o resíduo sólido (COTTON³ *et al.*, 1995 apud (VON SPERLING e OLIVEIRA, 2007).

Já nas fossas o esgoto é tratado primariamente na própria fossa, via sedimentação e digestão anaeróbia. Como a fossa não é impermeabilizada, ocorre o processo de infiltração do efluente no solo, que mediante processos biogeoquímicos naturais são assimilados parcialmente os poluentes.

³ COTTON, A.; FRANCEYS, R. W. A.; PICKFORD, J. A.; SAYWELL, D. L. On- Plot Sanitation in Low Income Urban Communities. A review of literature. WEDC – Water Engineering and Development Center, Loughborough University of Technology, UK, 1995.

3.4.3. Tanque séptico

Tanque séptico é uma câmara construída de modo a receber a contribuição de esgoto sanitário de um ou mais domicílios, armazenando-o por um período de tempo especificamente estabelecido, a fim de obter a sedimentação dos sólidos e a remoção dos óleos e graxas contidos nos esgotos, transformando-os bioquimicamente em substâncias mais estáveis (JORDÃO e PESSOA, 2005).

No Brasil, a aplicação pioneira de tanque séptico parece ter sido um grande tanque construído em Campinas, São Paulo, para *tratamento* de esgoto sanitário urbano, em 1892. Porém, a difusão dos tanques sépticos se deu apenas a partir de 1930, e este tem sido muito utilizado em áreas desprovidas ou não de rede coletora pública de esgotos sanitários e em locais que geram vazões relativamente pequenas (ANDRADE NETO *et al.*, 1999).

Os tanques sépticos, também conhecidos como decanto-digestores, são normatizados pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Atualmente, duas normas estão vigentes, a NBR-7229, de novembro de 1993, “Projeto, Construção e Operação e Sistemas de Tanques Sépticos”, e NBR-13969, de setembro de 1997, “Tanques Sépticos – Unidade de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes Líquidos – Projeto, Construção e Operação”.

A NBR 7229 (1993) indica o uso de tanques sépticos em:

- Áreas desprovidas de rede coletora de esgoto;
- Como uma alternativa de tratamento em locais que possuam rede coletora local;
- Retenção prévia dos sólidos sedimentáveis, quando da utilização de rede coletora com diâmetro e/ou declividade reduzidos.

Segundo Jordão e Pessoa (2005), ocorrem simultaneamente os seguintes processos/operações nos tanques sépticos:

- Retenção dos sólidos: o esgoto é detido por um período de tempo especialmente estabelecido, podendo variar de 12 a 24 horas, conforme as contribuições dos afluentes;
- Sedimentação: consiste na sedimentação dos sólidos em suspensão; 60% a 70% dos sólidos contidos nos esgotos sedimentam, formando o lodo;
- Flotação: é a retenção na superfície livre do líquido de óleos, graxas, gorduras e outros materiais misturados com gases, formando assim a espuma;
- Digestão anaeróbia do lodo: ocorre a degradação de forma progressiva do lodo e da espuma pelas bactérias anaeróbias e arqueas.

Os principais fenômenos ativos sobre o esgoto são decorrentes da ação física – decantação do líquido com sedimentação dos sólidos e flotação (ANDRADE NETO *et al* 1999). A decantação consiste na separação das fases líquida, sólida e gasosa por diferença de massa específica. A sedimentação é o processo de deposição dos sólidos por gravidade. A flotação ocorre devido ao desprendimento de pequenas bolhas de gases, produzidas na digestão anaeróbia, que aceleram a ascensão de partículas sólidas. A Figura 3.3 destaca os principais fenômenos que ocorrem no interior do tanque séptico.

A digestão anaeróbia acontece com maior intensidade no lodo, onde ocorre a maior atividade de transformação da matéria orgânica. Na fração líquida, o processo biológico é de pouca importância. Esta ação possui como agentes, as bactérias facultativas ou anaeróbias, reduzindo as substâncias orgânicas a formas pouco oxidadas com dissolução ou liquefação de alguns sólidos. Nesta fase ocorre o desprendimento de gases, que contêm principalmente metano (ação das arqueas) e gás carbônico, podendo haver, ainda, a geração de pequenas quantidades de gás sulfídrico e de outros gases (BATALHA, 1989).

Para Andrade Neto *et al.*, (1999) parte dos sólidos sedimentados e o lodo ativo produzido, misturam-se parcialmente com a fase líquida, devido à turbulência de fluxo e,

principalmente, às mudanças de densidade do lodo sedimentado e da espuma, em decorrência das várias fases da digestão anaeróbia, e às correntes de convecção térmica e aos gases ascendentes. Esse fato aumenta a eficiência da unidade na remoção de matéria orgânica dissolvida.

Figura 3.3 – Esquema de um tanque séptico

Fonte: ABNT, NBR 7229/1993

3.4.3.1. Tipos de tanques sépticos

Os decanto-digestores (tanques sépticos) podem ter forma cilíndrica ou prismática retangular, possuírem uma única câmara, câmaras em série ou câmaras sobrepostas. No tanque de câmara única tem-se apenas um compartimento na qual ocorrem os fenômenos de sedimentação, flotação e digestão da espuma na região superior e na zona inferior existe o acúmulo e a decomposição do lodo (NBR 7229, 1993). Na Figura 3.4 é apresentado um esquema de tanque séptico de câmara única.

Figura 3.4 – Esquema de tanque séptico de câmara única

Fonte: Adaptado de Andrade Neto *et al.* (1999)

O tanque séptico com câmara em série (Figura 3.5) possui dois ou mais compartimentos, dispostos seqüencialmente, no sentido do fluxo do líquido e interligados por paredes com aberturas para passagem de esgoto. Na primeira câmara ocorre a sedimentação dos sólidos, consequentemente, há acúmulo de lodo na mesma, apesar das bolhas ascendentes formadas na decomposição da biomassa, a remoção de matéria orgânica dissolvida é significativa. Devido a menor produção de biogás na segunda câmara, a sedimentação dos sólidos suspensos é mais eficiente, permitindo que este tipo de tanque séptico propicie melhores resultados que os de câmara única, tendo as mesmas facilidades de construção e operação (ANDRADE NETO *et al.*, 1999).

Figura 3.5 – Esquema de tanque séptico com câmaras em série

Fonte: Adaptado de Andrade Neto *et al.* (1999)

Os tanques sépticos de câmaras sobrepostas (Figura 3.6) possuem dois compartimentos arranjados verticalmente, em que placas inclinadas separam as fases sólida, líquida e gasosa. Esse dispositivo permite a passagem do lodo da câmara superior até a inferior e desvia os gases produzidos nesta segunda região, possibilitando uma melhor sedimentação.

Figura 3.6 – Esquema de tanque séptico de câmaras sobrepostas
Fonte: Adaptado de Andrade Neto *et al.* (1999)

Nos tanques sépticos de câmara única, todos os fenômenos ocorrem em um único compartimento. Nos tanques sépticos de câmaras em série, embora ocorra sedimentação e digestão nas duas câmaras, a primeira favorece a digestão e a segunda favorece a sedimentação, sequencialmente. Nos de câmaras sobrepostas, a câmara superior, favorece apenas a sedimentação de sólidos e a câmara inferior funciona como digestor e acumulador de resíduos.

3.4.3.2. Eficiência dos tanques sépticos

A eficiência de tanques sépticos é comumente medida em função de dois parâmetros utilizados: Sólidos em Suspensão (SS) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

(JORDÃO E PESSOA, 2005). A eficiência depende de vários fatores, dentre eles podem-se destacar:

- Carga orgânica volumétrica;
- Carga hidráulica;
- Geometria;
- Dispositivos de entrada e saída;
- Arranjo das câmaras;
- Temperatura;
- Condições de operação.

Segundo Jordão e Pessoa (2005) a eficiência dos tanques sépticos está intimamente vinculada aos recursos humanos e materiais dos seus usuários, podendo ter sua eficiência afetada segundo os seguintes fatores:

- Desconhecimento comum da obrigatoriedade de evitar poluição;
- Incapacidade material para a execução dos serviços de limpeza periódica do material acumulado nos tanques sépticos (lodo);
- Localização adequada dos tanques sépticos e dos sistemas de disposição dos seus efluentes (líquidos e sólidos);
- Dificuldade de locais adequados à disposição do material sólido removido (lodo);
- Aversão natural do manuseio da matéria fecal;
- Negligência dos usuários em harmonia com a ausência de fiscalização dos órgãos públicos responsáveis.

A Tabela 3.2 apresenta resultados de eficiência observados por alguns autores, em fossas e tanques sépticos.

Tabela 3.2 – Eficiência dos tanques sépticos

Parâmetros	Azevedo Netto e Hess (1970)	Macintyre (1996)	Sperling <i>et al.</i> (1996)	Andrade Neto <i>et al.</i> (1999)	Metcalf e Eddy (2003)	Jordão e Pessoa (2005)	Nascimento e Castro (2005)
DBO	40% a 60%	30% a 60%		40% a 70%	33% a 63%	30%	40% a 60 %
DQO	30% a 60%			50% a 80%			30% a 60 %
Sólidos em suspensão	50% a 70%	50% a 70%	60% a 70%		53% a 83%	50%	50% a 70 %
Sólidos Sedimentáveis	85% a 95%						85% a 95 %
Óleos e graxas	70% a 90%	70% a 90%					70% a 90 %
Nitrogênio Amoniacal							0% a 10 %
Nitrogênio Total							0% a 10 %
Microorganismos patogênicos			30% a 40%				
Coliformes totais							20% a 60%

Fonte: adaptado de Azevedo Netto (1970), Macintyre (1996), Andrade Neto *et al.* (1999), Jordão e Pessoa (2005) e Nascimento e Castro (2005)

Nota-se, mediante os dados da Tabela 3.2, a ocorrência moderada de remoção da matéria orgânica, redução da demanda bioquímica de oxigênio, aliada a pequena remoção de nutrientes e microorganismos patogênicos. Portanto, o tratamento do esgoto pelo tanque séptico produz efluente de baixa qualidade. A partir disso, pode-se verificar a necessidade de pós-tratamento dos efluentes dos tanques sépticos.

Conforme a NBR 7229, a eficiência na remoção de DBO seria de 30% a 50% em tanques sépticos de câmara única ou de câmaras sobrepostas, e de 35% a 55% em tanques sépticos de câmaras em série.

Oliveira (1983), com base em um sistema de tanque séptico com duas câmaras em série, alimentado com vazão de $4,57 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ e com tempo de detenção hidráulica variando entre 0,72 e 1,47 dia, obteve remoção de cerca de 70% da DBO na primeira câmara, sendo que, considerando-se também a segunda câmara, essa eficiência alcançou 75%. Em relação aos sólidos suspensos, a remoção na primeira câmara foi de 77% e chegou a 90% de remoção considerando-se as duas câmaras.

Viera e Além Sobrinho (1983) sugerem os seguintes dados relacionados à eficiência de tanque séptico de câmara dupla: 62% para DBO; 57% para DQO; 56% para sólidos sedimentáveis; e 55% NMP de coliformes totais.

3.4.3.3. Dimensionamento de tanques sépticos

Os tanques sépticos podem ser adquiridos pré-fabricados ou construídos pelo próprio interessado. Sendo que suas dimensões devem atender satisfatoriamente a vazão afluenta e armazenamento do lodo e, além disso, que permita manutenção fácil, econômica e segura. O dimensionamento do tanque séptico deve atender a disposição da NBR – 7229, considerando os seguintes parâmetros (ABNT, 1993):

a) Número de pessoas (N) a serem atendidas que corresponde ao número de pessoas que habitam o local. Os seguintes padrões devem ser adotados:

- duas pessoas por quarto, exceto quarto de empregada;
- uma pessoa por dependência destinada à empregada doméstica.

b) Contribuição de despejos (C) que é a contribuição diária de esgoto, por habitante.

No cálculo da contribuição de esgoto deve ser observado:

- o número de pessoas a serem atendidas;
- a geração local do esgoto, podendo-se adotar o percentual de 80% do consumo de água, quando este for conhecido; na falta deste dado, deve-se adotar a contribuição diária apresentada na Tabela 3.3;
- nos períodos em que houver, ao mesmo tempo, ocupantes permanentes e temporários, o volume total da contribuição é a soma dos volumes correspondentes a cada um desses casos, sendo o período de detenção usado para ambos os casos o correspondente à contribuição total.

Tabela 3.3 – Contribuições unitárias de esgoto e de lodo fresco por tipos de prédios e de ocupantes (L. pessoa⁻¹. dia⁻¹)

Prédio	Unidade	Contribuição de esgoto	Lodo fresco
<u>Ocupantes permanentes</u>			
residência padrão alto	pessoa	160	1,00
residência padrão médio	pessoa	130	1,00
residência padrão baixo	pessoa	100	1,00
hotel (sem lavanderia e cozinha)	pessoa	100	1,00
alojamento provisório	pessoa	80	1,00
<u>Ocupantes temporários</u>			
fábricas em geral	operário	70	0,30
escritórios	pessoa	50	0,20
edifícios públicos/comerciais	pessoa	50	0,20
escolas e locais de longa permanência	pessoa	50	0,20
bares	pessoa	6	0,10
restaurantes e similares	refeição	25	0,10
cinemas, teatros, locais de curta permanência	"lugar"	2	0,02
sanitários públicos	bacia sanitária	480	4,00

Fonte: ABNT, 1993

c) Período de retenção de despejos (T): é o período em que o esgoto fica retido no tanque séptico, variando de acordo com a contribuição diária de despejos (Tabela 3.4). Os tanques sépticos são projetados com tempos mínimos de retenção hidráulica que variam de 12 a 24 horas.

d) Contribuição de lodo fresco (L_f) que representa a contribuição de lodo fresco por pessoa em um dia (Tabela 3.3).

Tabela 3.4. – Período de retenção em função da vazão afluente (N.C)

Contribuição diária (L.dia ⁻¹)	Período de retenção	
	horas	dias
Até 1.500	24	1,00
De 1.501 a 3.000	22	0,92
De 3.001 a 4.500	20	0,83
De 4.501 a 6.000	18	0,75
De 6.001 a 7.500	16	0,67
De 7.501 a 9.000	14	0,58
Mais que 9.000	12	0,5

Fonte: ABNT, 1993

e) Taxa de acumulação total de lodo (K) que representa a taxa de acumulação de lodo em dias, e está relacionada com o intervalo de limpeza do tanque séptico e com a média da temperatura ambiente do mês mais frio, onde o tanque opera. Na Tabela 3.5 é apresentada a taxa de acumulação de lodo para diferentes intervalos entre limpeza e para diferentes temperaturas.

Tabela 3.5 – Taxa de acumulação total de lodo em dias (K)

Intervalos entre limpezas (anos)	Temperatura (°C)		
	<10	10<T<20	>20
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fonte: ABNT, 1993

A NBR - 7229 apresenta para o cálculo do volume útil do tanque séptico a seguinte fórmula:

$$V = 1000 + N(C \times T + K \times L_f) \quad (3.1)$$

Em que:

V: volume útil (litro);

N: número de contribuintes, ou populações equivalente;

C: contribuição de esgoto per capita (litro por pessoa e por dia);

T: período de detenção (dia);

K: taxa de acumulação de lodo (dia);

L_f : contribuição de lodo fresco (litro por pessoa por dia).

A NBR 7229 apresenta, ainda, alguns detalhes construtivos e relações entre dimensões a serem obedecidas. Como por exemplo, a relação comprimento/largura nos tanques prismáticos retangulares deve estar compreendida entre 2:1 e 4:1; a largura interna e o

diâmetro interno mínimos devem ser 0,8m e 1,10 respectivamente. Em relação à profundidade são recomendadas faixas em função do volume útil, quais sejam:

- Para tanques sépticos com volume útil até 6,0 m³: 1,20 m a 2,20m;
- Para tanques sépticos com volume útil de 6,0 m³ até 10,0 m³: 1,50 m a 2,50 m;
- Para tanques sépticos com volume útil acima de 10,0 m³: 1,80 m a 2,80 m.

Outro preceito importante da Norma em questão refere-se à descarga do lodo. Quando essa for feita por pressão hidrostática, o fundo do reator deve ter inclinação de 45°, sobretudo nos de grande porte. Quando a descarga do lodo for prevista por sucção (caminhões limpa-fossa, bombas ou sifonamento), o fundo do reator pode ser plano, mesmo nos de grande porte, desde que as aberturas de inspeção permitam a introdução do mangote nos vários compartimentos do reator, atingido o fundo de forma que o raio máximo de abrangência horizontal de cada ponto de sucção seja 1,5 m, para efeito de limpeza.

3.4.3.4. Decomposição biológica nos tanques sépticos

Na fossa e tanque séptico ocorre a decomposição biológica de forma anaeróbia. A primeira condição significativa ao tratamento anaeróbio do esgoto sanitário foi a câmara vedada ao ar por 12 anos, desenvolvida por Jean Louis Mouras em 1872 na França, na qual o material em suspensão presente nos esgotos era liquefeito. A tendência do uso do reator anaeróbio como unidade de tratamento biológico de esgoto deve-se, principalmente, à constatação de que fração considerável do material orgânico pode ser removida nessa unidade, sem o dispêndio de energia ou adição de substâncias químicas auxiliares.

A digestão anaeróbia é um processo bioquímico que ocorre na ausência de oxigênio molecular, no qual um consórcio de diferentes tipos de microrganismo promove a transformação de compostos orgânicos complexos como carboidratos, lipídios e proteínas, em

produtos mais simples como metano e gás carbônico, envolvendo várias reações sequenciais. Os microrganismos envolvidos na digestão anaeróbia são muito especializados e cada grupo atua em reações específicas (METCALF e EDDY, 2003).

A digestão anaeróbia de material orgânico complexo envolve quatro etapas diferentes no processo global de conversão: hidrólise, acidogênese, acetogênese, metanogênese (Figura 3.7).

Na hidrólise o material orgânico particulado é convertido em compostos dissolvidos de menor peso molecular, através da ação de exo-enzimas que são excretadas pelas bactérias fermentativas. Assim, proteínas são transformadas em aminoácidos, os carboidratos se transformam em açúcares solúveis e os lipídios são convertidos em ácidos graxos de cadeia longa e glicerina.

No processo de acidogênese os compostos dissolvidos gerados na etapa anterior (hidrólise) são absorvidos nas células das bactérias fermentativas e, após a acidogênese, excretadas como substâncias simples tais como ácidos graxos voláteis de cadeia curta, alcoóis, ácido láctico e compostos minerais como CO_2 , H_2 , NH_3 , H_2S , entre outros.

Na acetogênese ocorre a conversão dos produtos da acidogênese em compostos que formam os substratos para produção de metano: acetato, hidrogênio e dióxido de carbono.

Na metanogênese há a formação de metano através de duas rotas: a partir da redução de ácido acético pelas bactérias acetotróficas ou a partir da redução de dióxido de carbono pelas bactérias hidrogenotróficas. Tem-se as seguintes reações catabólicas:

- Metanogênese acetotrófica ou acetoclástica:

- Metanogênese hidrogenotrófica:

Figura 3.7 – Etapas da digestão anaeróbia
 Fonte: Gujer e Zehnder (1983)

Para que a metanogênese ocorra à taxa máxima, cada uma das etapas anteriores deve ser mantida em equilíbrio dinâmico. A manutenção desse equilíbrio está relacionada com a natureza das “rotas” e com a intensidade com que o destino final de hidrogênio é afetado. Como as bactérias que produzem metano a partir de hidrogênio crescem mais rapidamente que aquelas que usam ácido acético, o hidrogênio deve ser continuamente removido do meio para assegurar que a produção de ácido acético não seja interrompida ou diminua drasticamente.

3.4.3.5. Efluentes gerados nos tanques sépticos

Os tanques sépticos geram três efluentes: líquido, sólido e gasoso. O efluente líquido é caracterizado pelo esgoto com baixa concentração de materiais sedimentáveis e flutuantes, e apresenta odor desagradável, cor escura e grande quantidade de bactérias. O efluente sólido

(lodo) é composto basicamente por água, material orgânico e inorgânico (JORDÃO e PESSOA, 2005).

Em se tratando de produção de lodo, a NBR 7229 estima a taxa de produção de lodo fresco (Lf) em até $1,0 \text{ L.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ para esgoto tipicamente doméstico. Devem-se aplicar sobre este valor os coeficientes de redução R1 e R2, da ordem de 0,5 e 0,25, respectivamente, por adensamento e redução de sólidos voláteis na digestão. A quantidade e a qualidade do lodo produzido dependem da vazão do esgoto tratado, das características do esgoto, do tipo de tratamento e operação (ANDRADE NETO *et al.*, 1999).

Na Tabela 3.6 é mostrada como a produção de lodo é variável segundo o tipo de tratamento.

Tabela 3.6 – Produção de lodo segundo o tipo de tratamento

Tipo de tratamento	Quantidade de lodo produzido ($\text{m}^3.\text{hab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$)
Lagoa facultativa primária	0,037
Lagoa facultativa	0,03 a 0,08
Lagoa anaeróbia - Lagoa facultativa	0,01 a 0,04
Lagoa aerada facultativa	0,03 a 0,08
Lodos ativados convencionais	1,1 a 1,5
Lodos ativados (aeração prolongada)	0,7 a 1,2
Lodos ativados (fluxo intermitente)	0,7 a 1,5
Filtro biológico (baixa carga)	0,4 a 0,6
Filtro biológico (alta carga)	1,1 a 1,5
Biodiscos	0,7 a 0,1
UASB	0,07 a 0,1
Tanque séptico - filtro anaeróbio	0,07 a 0,1

Fonte: Jordão e Pessoa, 2005

A retirada do lodo produzido nos tanques sépticos deve ser prática bem estabelecida e programada para não prejudicar a eficiência do sistema, e a NBR 7229 recomenda intervalos de limpeza de no mínimo 1 e no máximo 5 anos. Eventualmente, efetua-se a limpeza dos tanques sépticos quando o lodo atingir camada igual ou superior a 50 cm, ou 1/3 da profundidade de líquido no tanque para unidades maiores (JORDÃO e PESSOA, 2005).

Por outro lado, Batalha (1989) cita que o tanque séptico deve ser limpo pelo menos uma vez por ano, devendo permanecer no tanque um volume de aproximadamente 25 litros de lodo em digestão se não for providenciada a retirada do lodo digerido, após tempo adequado, o tanque séptico passará a funcionar como uma simples caixa de passagem, produzindo efluente de má qualidade, com elevado teor de sólidos sedimentáveis.

A remoção dos lodos sépticos pode ser dificultada pela complexidade de acesso dos caminhões às residências e pelo transporte desse lodo a grandes distâncias, ocasionando a retenção por períodos prolongados e prejudicando a eficiência da tratabilidade do lodo (KLINGER⁴ *et al.*, 2002 *apud* LEITE *et al.*, 2006).

Andrade Neto *et al.*, (1999) recomenda que não se deve raspar ou lavar o reator quando se procede ao esgotamento, porque esse lodo ativo será importante para o desenvolvimento mais rápido da nova população bacteriana. Quando da remoção do lodo digerido, aproximadamente 10% de seu volume devem ser deixados no interior do tanque (NBR- 7229, 1993).

3.4.3.6. Características do lodo séptico

A *Environmental Protection Agency* (EPA) define como lodo séptico o material líquido ou sólido removido de um tanque séptico, banheiro químico ou sistema similar que receba somente esgoto doméstico. O resíduo de caixas de gorduras não pode ser chamado de resíduo séptico, pois sua composição e seu percentual de gordura é muito mais elevado do que o dos tanques sépticos. A norma técnica NBR 8160 (ABNT, 1999) exige o uso de caixas de gordura antes do tanque séptico e a NBR 7229 (ABNT, 1992) trata das normas de seu dimensionamento.

⁴ KLINGEL, F., MONTANGERO, A., KONÉ, D., STRAUSS, M.. Faecal Management in Developing Countries – a planning manual. EAWAG: Suíça, 2002. 55p.

O lodo gerado é composto por diferentes substâncias e organismos, dependendo do efluente tratado no sistema. Cerca de 75% dos sólidos são constituídos de matéria orgânica degradável, com grande quantidade de microrganismos provenientes de fezes humanas e com probabilidade de ocorrência de patógenos. A adição de efluentes industriais poderá conter metais tóxicos e outros componentes distintos daqueles decorrentes do esgoto doméstico (METCALF e EDDY, 1991).

Os principais parâmetros analisados em lodos de tanques sépticos, em trabalho desenvolvido por Leite, Inguza e Andreoli (2006), encontram-se apresentados na Tabela 3.7, os quais se subdividem em parâmetros mínimos, complementares e úteis e devem ser determinados em função da disposição final do resíduo. Em relação aos termos “alta estabilidade” e “baixa estabilidade” referem-se ao grau de digestão do lodo.

Tabela 3.7 – Parâmetros recomendados para análise de lodo séptico

Parâmetros	Concentrações típicas	
	Alta estabilidade (tanques sépticos)	Baixa estabilidade (banheiros químicos)
Parâmetros Mínimos		
ST (%)	0,5 - 3	<3,5
STV (% dos ST)	<60	>60
Parâmetros Complementares		
DQO total (mg O ₂ .L ⁻¹)	6.000 - 15.000	20.000 - 50.000
Sólidos Sedimentáveis (ml.L ⁻¹)	<300	São perturbados pela produção de biogás
Outros Parâmetros Úteis		
SS (ml.L ⁻¹)	5.000 - 15.000	>30.000
DBO5 filtrada (mg de O ₂ .L ⁻¹)	<500	>500
DQO filtrada (mg O ₂ .L ⁻¹)	<1.000	>1.000
DBO/DQO	5:1 a 10:1	1:2 a 1:5
N - amon (mg. L ⁻¹)	<1.000	2.000 - 5.000

Fonte: Leite, Ingunza e Andreoli (2006)

Algumas pesquisas nacionais sobre a caracterização físico-química e biológica são apresentadas a seguir e os resultados das mesmas encontram sintetizados nas Tabela 3.8, 3.9 e 3.10.

O trabalho de Leite *et al* (2006) teve como objetivo geral a avaliação de alternativas para processamento de lodos de fossa séptica doméstica visando sua disposição final ambientalmente segura e economicamente viável, com base na sua quantificação e caracterização. Para tanto, foi realizado na Região Metropolitana de Curitiba-PR, onde foram coletadas 20 amostras aleatórias provenientes de caminhões de resíduos sépticos que chegavam à ETE Belém no período de 5 a 11 de julho de 2005. A ETE Belém recebe o descarte de 462 caminhões/mês, o que representa o volume de $3.309 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$ ($110 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$), o que equivale a 0,128% da vazão média que chega a essa ETE. Os resultados desse trabalho são apresentados na Tabela 3.8.

Meneses *et al.* (2001) relataram uma caracterização físico-química (resultados apresentados na Tabela 3.8) e biológica (Tabela 3.9) dos resíduos do sistema tipo tanque séptico-sumidouro da cidade do Natal-RN. As coletas foram realizadas no período de agosto de 2000 a fevereiro de 2001, com frequência quinzenal, totalizando 15 coletas.

Foram retiradas frações individuais de amostras obtidas do descarregamento de caminhões limpa fossa, colocadas em frascos plásticos e acondicionadas em caixa térmica com gelo, que reunidas formavam uma amostra composta. Para cada amostra individual coletada foram determinados, de imediato, a temperatura e o pH.

A amostra composta foi mantida sob refrigeração a 4°C até ser submetida à análise. Para a realização das análises de cloretos, alcalinidade, fósforo total, nitrogênio (orgânico, amoniacal) as amostras foram diluídas e filtradas em papel de filtro, efetuando-se os testes nas porções filtradas. Já para a análise de DBO e DQO, as amostras foram apenas diluídas.

Os parâmetros analisados foram baseados no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (1995) e no Rodier, J.⁵, sendo eles: pH, sólidos totais (fixos e voláteis), sólidos suspensos (fixos e voláteis), sólidos dissolvidos (fixos e voláteis), sólidos

⁵ RODIER, J. Analises de las Aguas. Aguas naturales, aguas residuales y aguas del mar. Barcelona, Ediciones Omega S.A, 1981

sedimentáveis, cloretos, alcalinidade, fósforo total, nitrogênio (orgânico, amoniacal), óleos e graxas, DBO, DQO, coliformes fecais e helmintos. Para determinação do número de ovos de helmintos foi utilizado o método desenvolvido por Barleger (1979) e modificado por Ayres e Mara (1996).

O trabalho de Tachin (2002) pretendeu avaliar o comportamento do Ralf no tratamento de esgotos domésticos, integrados com lodos de tanques sépticos. Para tanto, foram analisados alguns parâmetros físico-químicos de lodos de tanques sépticos, a partir de doze amostras coletadas no período de 3 de maio a 7 de agosto de 2001. Foram avaliados os seguintes parâmetros: pH, alcalinidade, DQO total e filtrada, DBO₅ total e filtrada, suspensos, totais, voláteis totais, nitrogênio e fósforo. Todas as análises foram realizadas de acordo com os métodos preconizados pelo Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 17.^a e 20.^a edições, da APHA, AWWA e WPCF. A frequência de análises variou de 1 a 2 vezes por semana. Os resultados desse trabalho são apresentados na Tabela 3.8.

Belli *et al.* (2004) realizaram estudos de caracterização físico-química o lodo de diversos tanques sépticos (obtido de empresas licenciadas para a limpeza de tanques sépticos da região da Grande Florianópolis-SC). Foram analisados os seguintes parâmetros: DQO, DBO₅, alcalinidade total, pH, nitrogênio amoniacal, fósforo total, óleos e graxas e série de sólidos. As análises das amostras seguiram as recomendações indicadas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 1995. O resultados dessa caracterização estão apresentados na Tabela 3.8.

A Tabela 3.8 apresenta os resultados da caracterização físico-química das pesquisas nacionais.

Tabela 3.8 – Características físico-químicas de lodo de tanques sépticos

Pesquisas	Leite et al.	Jordão e Pessoa	Belli et al.	Tachin	Meneses et al.
Parâmetros	2006	2005	2004	2002	2001
pH	-	-	6,78	6,80	6,94
Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	-	-	9.773	1.015	498
DBO (mg de O ₂ .L ⁻¹)	1.863	6.000	1.890	11.424	2.434
DQO (mg de O ₂ .L ⁻¹)	9.419	-	6.199	23.835	6.895
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	9.267	-	7.186	49.593	12.880
Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)	-	15.000	2.064	37.731	7.091
Sólidos Totais Fixos (mg.L ⁻¹)	4.399	-	3.773	-	2.824
Sólidos Suspensos Voláteis (mg.L ⁻¹)	-	7.000	3.272	-	3.518
Sólidos Totais Voláteis (mg.L ⁻¹)	4.868	-	3.413	29.685	2.246
Sólidos Sedimentáveis(ml.L ⁻¹)	209	-	-	579	266
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	588	8.000	327	-	531
Cloretos (mg.L ⁻¹)	-	-	-	-	254
Nitrogênio Total (mg de N ₂ .L ⁻¹)	-	700	-	-	120
N-amon. (mg de NH ₃ .L ⁻¹)	-	400	58	-	89
Fósforo Total (mg.L ⁻¹)	-	250	90	-	18

Fonte: adaptado de Leite *et al.* (2006), Jordão e Pessoa (2005), Belli *et al.* (2004), Tachin (2002) e Meneses *et al.* (2001)

De acordo com a Tabela 3.8 verifica-se a grande heterogeneidade da composição do lodo, pois esta depende de alguns fatores como frequência de limpeza, misturas nos caminhões de coleta e padrões e costumes da população.

Nas Tabelas 3.9 e 3.10 são apresentadas resultados determinações de Coliformes Fecais e Ovos de Helmintos do lodo de tanques sépticos da cidade de Natal-RN e do lodo de tanques sépticos na região metropolitana de Curitiba- PR, respectivamente.

Tabela 3.9 – Caracterização biológica de lodo de tanques sépticos da cidade de Natal-RN

Amostra	Coliformes Fecais (UFC.mL ⁻¹)	Ovos de Helmintos (ovos.L ⁻¹)
Mínimo	10 ⁵	53
Médio	10 ⁷	225
Máximo	10 ⁸	837

Fonte: adaptado de Meneses *et al.* (2001)

Tabela 3.10 – Caracterização biológica de lodos de tanques sépticos na região metropolitana de Curitiba-PR

Amostra	Coliformes fecais (NMP.100 mL ⁻¹)	Ovos de Helmintos Totais [ovos.(g massa seca) ⁻¹]	Ovos de Helmintos Viáveis [ovos.(g massa seca) ⁻¹]
Mínimo	<0,3	0	0
Médio	7568,5	18,1	1,2
Máximo	46000	357,4	56,4
Desvio Padrão	14051	39,38	2,26

Fonte: adaptado de Leite *et al.* (2006)

Diante dos dados das Tabelas 3.9 e 3.10, nota-se que o lodo de tanque séptico apresenta elevados índices de contaminação por Coliformes Fecais e Ovos de Helmintos, que depende principalmente do nível de contaminação da população e pode variar em função das condições sócio-econômicas e sanitárias da mesma, endemias regionais e do tipo de tratamento a que o lodo é submetido (LEITE, INGUNZA E ANDREOLI, 2006).

Em se tratando de metais pesados, os quais se encontram naturalmente nos solos, plantas e animais, dependendo das concentrações, estes podem causar riscos a saúde humana e ao meio ambiente. Os elementos Cd, Pb, Ni e Hg não apresentam função vital bem definida e normalmente acumulam-se, podendo tornar-se tóxicos e causar problemas de saúde, entre eles: câncer, osteoporose, doenças cardíacas, problemas no sistema nervoso, irritabilidade, problemas digestivos, úlceras, desempenho sexual, hipertensão arterial, entre outros. Portanto, são parâmetros importantes a serem analisados na caracterização de lodos de tanques sépticos. A Tabela 3.11 compara valores de alguns metais pesados de lodos de esgoto de tratamento e lodos de tanques sépticos (LEITE, INGUNZA E ANDREOLI, 2006).

Tabela 3.11 – Comparação entre as características de lodo séptico e lodo de ETE

Parâmetro	Concentração encontrada (mg.kg ⁻¹ de matéria seca)		
	Lodo de ETE	Lodo Séptico	Lodo Séptico (Curitiba-PR)
Cádmio	7	3	7,9
Cromo	120	14	5,6 a 70
Cobre	740	140	31 a 9193
Chumbo	130	35	9 a 190
Mercúrio	5	0,15	1,1 a 9,3
Molibdênio	4	-	3,6 a 6,4
Níquel	43	15	3,0 a 19
Selênio	5	2	<1
Zinco	1200	270	148 a 514

Fonte: adaptado de Leite, Ingunza e Andreoli (2006)

As características típicas dos lodos provenientes de tanque sépticos são apresentadas na Tabela 3.12 de acordo com a United State Environmental Protection Agency -USEPA, (2002) e Koottatep *et al* (2000).

Tabela 3.12 – Características físico-químicas do material removido na limpeza de tanques sépticos segundo USEPA, (2002).

Parâmetro	USEPA (2002)		Koottatep et al (2000)	
	Média	Varição	Média	Varição
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	34.106	1.132 a 130.475	16400	5.700 a 28.000
Sólidos totais voláteis (mg.L ⁻¹)	23.100	353 a 71.402	12170	4.000 a 21.800
Sólidos totais suspensos (mg.L ⁻¹)	12.862	310 a 93.378	13600	3.150 a 21.600
Sólidos suspensos voláteis (mg.L ⁻¹)	9.027	95 a 51.500		
DBO (mg.L ⁻¹)	6.480	440 a 78.600	2800	600 a 5.500
DQO (mg.L ⁻¹)	31.900	1.500 a 703.000	18200	5.400 a 34.500
NitrogênioTotal Kjeldahl (mg.L ⁻¹)	588	66 a 1.060	1060	370 a 1.500
N-amon (mg.L ⁻¹)	97	3 a 116	390	200 a 590
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	210	20 a 760		
Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	970	522 a 4.190		
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	5.600	208 a 23.368		
pH	-	1,5 a 12,6	7,5	6,7 a 8,0
Alumínio (mg.L ⁻¹)	48	-	-	-
Arsênio (mg.L ⁻¹)	0,16	-	-	-
Cádmio (mg.L ⁻¹)	0,27	-	-	-
Cromo (mg.L ⁻¹)	0,92	-	-	-
Mercúrio (mg.L ⁻¹)	0,23	-	-	-
Manganês (mg.L ⁻¹)	3,97	-	-	-
Níquel (mg.L ⁻¹)	0,75	-	-	-
Selênio (mg.L ⁻¹)	0,076	-	-	-
Zinco (mg.L ⁻¹)	27,4	-	-	-
Acetona (mg.L ⁻¹)	0	-	-	-
Benzeno (mg.L ⁻¹)	0,005	-	-	-
Xileno (mg.L ⁻¹)	0,005	-	-	-
Coliformes totais NMP/100 mL	-	10 ⁷ a 10 ⁹	-	-
Coliformes fecais NMP/100 MI	-	10 ⁶ a 10 ⁸	-	-
Estreptococos fecais NMP/100 mL	-	10 ⁶ a 10 ⁷	-	-
Os. Aeruginosa NMP/100 mL	-	10 ¹ a 10 ³	-	-
Salmonella sp. NMP/100 mL	-	1 a 10 ²	-	-
Parasitas ovos/g	Presentes	-	-	-
Helmintos ovos/g	Presentes	-	5	0 a 14

Fonte: USEPA (2002) e Koottatep *et al*(2000).

3.5. Generalidade sobre tratamento e disposição dos efluentes de fossa e tanque séptico

O efluente de fossas e tanques sépticos contém elevadas concentrações de patogênicos e matéria orgânica dissolvida e, portanto, necessita na maioria das vezes, de um tratamento complementar. A NBR 13969 (1997) propõe, principalmente, como tratamento complementar desses efluentes, o uso de filtro anaeróbio de leito fixo com fluxo ascendente, filtro aeróbio submerso, valas de filtração e filtros de areia, lodo ativado por batelada (LAB) e lagoas com plantas aquáticas.

Segundo Batalha (1989), a escolha da alternativa adequada depende de vários critérios, dentre os quais variam desde a aceitação cultural até testes experimentais empíricos. Diversos fatores são considerados na seleção dos métodos e do local, como, por exemplo: taxa de infiltração dos esgotos no solo; disponibilidade de espaço; inclinação do terreno; altura do lençol freático; natureza e profundidade do leito da rocha; variação do fluxo de esgotos; distância das águas superficiais e poços (nos casos de vala de infiltração ou filtro anaeróbio) e dos usos do corpo receptor de jusante.

A EPA (1993) sugere como opções de tratamento de lodo a aplicação no solo, disposições em leitos de secagem e lagoas. Neste último caso, o lodo deve ser aplicado no centro e parte inferior da lagoa, para que ocorra sua digestão e também para que o efluente retirado na parte superior da lagoa tenha melhores características.

No caso da disposição em leito de secagem, para remoção da umidade, geram-se três produtos: gases, efluente líquido e lodo seco. O efluente líquido pode ser tratado ou retornado às ETEs. O lodo seco pode ser disposto em aterro sanitário, usina de compostagem ou área agrícola, observando os critérios regionais de uso (KLINGEL *et al.*, 2002).

Em algumas regiões ou cidades, o lodo séptico é lançado em ETEs, e, em outros casos – não adequados – as principais formas de disposição são: lançamento direto em rios, ou aplicação na agricultura sem o devido controle (LEITE *et al.*, 2006).

A Resolução CONAMA 375/06 define os critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodo de estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Já a Resolução CONAMA 357/05, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes e dá outras providências.

No caso do lançamento de lodo de fossas e tanques sépticos em ETEs, podem-se implantar instalações com capacidade adequada para receber e armazenar o lodo, de modo que possa ser lançado na ETE, de forma compatível com a capacidade da ETE. Essas instalações devem estar localizadas em distâncias (dos pontos de geração de lodo) que tornem economicamente viável o transporte do lodo e devem dispor de unidades projetadas (JORDÃO e PESSOA, 2005).

Por outro lado, Leite, Ingunza e Andreoli (2006) sugerem que o lodo pode ser despejado diretamente na entrada da ETE, passando pelo fluxograma junto com o esgoto sanitário. O aumento da carga orgânica recebida pelo sistema pode sobrecarregá-lo, aliado à maior produção de lodo, que consequentemente aumenta os custos de tratamento, são aspectos negativos para ETE.

Gonçalves (2008) avaliou o desempenho de um reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) no tratamento combinado de esgoto sanitário com o lançamento de lodo proveniente de tanques sépticos. O reator UASB foi operado com tempo de detenção hidráulica médio (TDH) de 8 h, vazão afluyente média de $2,35 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ e velocidade ascensional de $0,6 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$. Foram realizados três ensaios com diferentes volumes de lodo (1; 3 e 5 m^3) descarregados na forma de pulso com vazão média de $5,24 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Os lodos sépticos

utilizados na pesquisa foram coletados por caminhões “limpa-fossa” e descarregados em um reservatório (15 m³) na ETE para posterior lançamento no reator UASB. Nos ensaios foram realizados monitoramentos temporais no reator UASB, logo após a descarga de lodo, para acompanhamento da resposta ao pulso de carga imposta. Nesse cenário, no geral, o reator UASB apresentou capacidade de degradar aproximadamente 2/3 da carga orgânica lançada com o lodo séptico. Os resultados foram um indicativo de que a disposição de lodo sépticos em reatores UASB, quando bem programada, é uma solução viável e de grande importância para o tratamento dos resíduos provenientes de fossas e tanques sépticos.

3.6. Operações que podem ser empregadas no pré-tratamento do lodo de fossas e tanques sépticos

3.6.1. Generalidades

O presente trabalho tem como proposta o tratamento preliminar e a flotação como tratamento de lodo de tanques sépticos. Como é uma proposta inédita, a concepção da unidade piloto utilizada na pesquisa foi baseada em conceitos aplicados a esgoto sanitário, adaptando-os para lodo de tanques sépticos.

Contudo, deve-se ressaltar que o lodo de fossas e tanques sépticos nunca deverão ser lançados em ETEs, sem passar por tratamento preliminar, no mínimo, um gradeamento, com aberturas iguais ou inferiores a 1,5 cm. A seguir serão apresentados alguns conceitos sobre o tratamento preliminar e a flotação.

3.6.2. Tratamento Preliminar de Estação de Tratamento de Esgoto

O tratamento preliminar é a primeira “barreira” usualmente encontrada nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), e é constituído por um conjunto de equipamento e unidades tais como: peneiras, grades, trituradores, desaneradores, medidores de vazão, removedores de gorduras, óleos e graxas, tanques de equalização e removedores de odor. Conforme a *Water Environment Federation* (1998), esses equipamentos e unidades devem atender três requisitos básicos, que são: remover os sólidos grosseiros, proteger equipamentos e tubulações contra entupimentos e obstruções, e melhorar o desempenho das unidades de processo atenuando picos de vazões, carga orgânica ou ambos (PRADO, 2006).

Os equipamentos e unidades do tratamento preliminar são tão importantes quanto as demais unidades de tratamento que os sucedem, pois seu mau funcionamento pode afetar todo o sistema de tratamento (PRADO, 2006).

Segundo Wilson ⁶ (1985) *apud* Prado (2006), a não valorização do tratamento preliminar pode custar muito caro, pois o custo associado à operação e manutenção de equipamentos de bombeamento, transporte e manuseio de lodo, contendo material abrasivo, é no mínimo cinco vezes maior do que seria, caso este tipo de material não estivesse presente.

Ressalta-se que o lodo de fossas e tanques sépticos tem particularidades distintas do esgoto bruto, pois contém teor mais elevado de sólidos suspensos e grosseiros e maiores quantidades de fibras, trapos e, às vezes de detritos abrasivos, que podem causar danos em componentes eletromecânicos das ETEs.

⁶ WILSON, G. E. Is There Grit in Your Sludge? Civil Engineering Magazine, v.55, n.4, p.61-63, Apr.

A presente pesquisa enfatizará, apenas duas (gradeamento, desarenadores), das várias unidades de operação e equipamentos constituintes do tratamento preliminar de esgoto, por se tratar do foco central desta pesquisa.

Será feita também, uma rápida abordagem sobre flotação, por ser operação envolvida na concepção da unidade experimental desta pesquisa.

3.6.2.1. Gradeamento

O sistema de gradeamento é um dos mais antigos recursos utilizados na remoção de sólidos grosseiros, os quais podem prejudicar ou interferir na operação de bombas e equipamentos das estações de tratamento.

O gradeamento é a operação pela qual o material flutuante e a matéria em suspensão com tamanho maior que as aberturas das grades, são retidos e removidos. A remoção dos sólidos grosseiros tem como finalidade condicionar o lodo para posterior tratamento ou lançamento no corpo de água receptor (JORDÃO e PESSÔA, 2005).

As grades são constituídas de dispositivos de retenção e de remoção. Os dispositivos de retenção podem ser descritos por um conjunto de barras paralelas espaçadas uniformemente entre si, instalados verticalmente ou inclinados ao longo da largura de escoamento (PRADO, 2006).

Os dispositivos de remoção podem ser mecânicos ou manuais (ancinho, garfo) e tem como finalidade evitar o represamento do lodo no canal a montante, e a consequente elevação do nível e aumento excessivo da velocidade do líquido entre as barras, provocando o arraste do material que se pretende remover. Portanto, o material retido na grade deve ser removido com frequência adequada (JORDÃO e PESSÔA, 2005).

O espaçamento e a espessura das barras paralelas devem ser adequados ao tipo de lodo a ser tratado. De acordo com o espaçamento, as grades para ETEs costumam ser classificadas em grosseiras, médias e finas. Devido à necessidade de se remover sólidos de menores dimensões já no tratamento preliminar, pode-se incluir na classificação as grades ultrafinas. A Tabela 3.13 apresenta a classificação das grades de acordo com o espaçamento entre elas. Vale ressaltar que esta classificação é feita para esgoto sanitário.

Tabela 3.13 – Classificação das grades para esgoto sanitário conforme espaçamento entre elas.

Tipo de grade	Polegadas	Milímetros
Grades grosseiras	Acima de 1 1/2	40 a 100
Grades médias	3/4 a 1 1/2	20 a 40
Grades finas	3/8 a 3/4	10 a 20
Grades ultrafinas	1/4 a 3/4	3 a 10

Fonte: Jordão e Pessoa (2005).

No caso de gradeamento de lodo proveniente de tanques sépticos, recomendam-se aberturas menores que 1,5 cm.

Como complementação na remoção dos sólidos grosseiros em ETEs, geralmente utilizam-se peneiras com malhas de pequenos espaçamentos para remover os resíduos mais finos, influentes no aspecto estético do destino final. Estas dispõem de aberturas, geralmente, de 0,1 a 6,00 mm e são classificadas em estáticas ou móveis, em função do tipo de remoção do material retido.

As peneiras estáticas são modelos projetados para promover a auto-limpeza. A retenção do material retido se dá através do efeito do fluxo durante o processo de peneiramento. Estas não requerem energia e não possuem peças móveis, apresentando baixo custo de operação e manutenção, entretanto, requerem maior área. As peneiras móveis são constituídos de cilindros giratórios, formados pelas barras de aço inoxidável, através dos quais passa o esgoto, restando-se assim o material que se pretende remover.

3.6.2.2. Desarenadores

Os desarenadores são unidades que priorizam a remoção de sólidos abrasivos e não putrescíveis mediante a sedimentação dos mesmos. Os desarenadores devem ser capazes de remover partículas densas (ρ_s : 2400 kg.m⁻³ a 2600 kg.m⁻³) maiores que 0,15 mm ou, pelo menos, aquelas com tamanho superior a 0,20 mm (WATER ENVIRONMENT FEDERATION, 1998).

A presença desses detritos é, normalmente, encontrado nos lodos de tanques sépticos, que tem origem devido ao manuseio normal do uso doméstico, das ligações clandestinas de águas pluviais e das infiltrações nos tanques sépticos. Estes podem causar efeitos adversos ao funcionamento das partes componentes das instalações da ETE, bem como impactos nos corpos receptores, principalmente devido ao assoreamento. Segundo Jordão e Pessoa (2005), as principais finalidades da remoção de areia são:

- Evitar abrasão nos equipamentos e tubulações;
- Reduzir a possibilidade de avarias e obstrução nas unidades da ETE, tais como: canalizações, caixas de distribuição ou manobra, poços de elevatórias, tanques, sifões, orifícios, calhas, entre outros;
- Facilitar o manuseio e transporte das fases líquida e sólida, ao longo das unidades componentes da ETE.

A unidade de remoção de areia, conhecida como caixa de areia ou desarenador, é constituída de dispositivos de retenção e remoção. Os dispositivos de retenção condicionam o fluxo do esgoto a velocidades que permitem separar o material mais denso que se deseja remover, o qual deve ser armazenado em compartimento apropriado para posterior remoção. A velocidade do fluxo horizontal de escoamento é usualmente em torno de 0,30 m.s⁻¹. Valores acima deste acarretam arraste de partículas menores do que se deseja remover, enquanto que

velocidades em torno de $0,15 \text{ m.s}^{-1}$ causarão a sedimentação da matéria orgânica, provocando odores desagradáveis devido a sua decomposição (JORDÃO e PESSÔA, 2005).

A areia retida deve ser frequentemente removida e adequadamente armazenada, e a remoção desta pode ser manual ou mecanizada. A remoção manual exige a paralisação da unidade de retenção, de modo que, com a drenagem do líquido retido na câmara, a areia possa ser facilmente removida. Na remoção mecânica não acontece este inconveniente da paralisação da unidade, pois conta com dispositivos transportadores de areia, que removem continuamente a areia acumulada em depósitos, especificamente projetados.

No caso de lodo de fossas e de tanques sépticos, essa operação é mais complicada, haja vista a maior quantidade de sólidos em suspensão, podendo os grãos de areia encontrarem-se em grande parte aglomerados a componentes de matéria orgânica.

3.6.3. Flotadores

A flotação é um processo de separação de partículas suspensas (sólidas ou líquidas) em meio líquido através da utilização de bolhas de gás, normalmente o ar. Tais bolhas, aderindo à superfície das partículas, aumentam seu empuxo, provocando assim a ascensão das mesmas em direção a superfície da fase líquida, onde são devidamente coletadas após atingirem concentração adequada (REALI, 1991).

Segundo Gochin e Solari (1983) os mecanismos de contato entre a bolha e as partículas na flotação são a colisão da bolha com a partícula causada pela turbulência ou carga de atração (principal mecanismo de contato), o aprisionamento de bolhas pré-formadas na estrutura dos flocos, pode ocorrer em três situações: (i) na formação do floco, (ii) durante a quebra do floco e sua reconstituição no interior da câmara de floculação e (iii) na ocorrência

do efeito de varredura das bolhas em ascensão pelos flocos em sedimentação e o crescimento de bolhas por nucleação, sobre a superfície dos sólidos no interior da estrutura dos flocos.

Os diferentes métodos de produção de bolhas originam as principais modalidades de flotação (ZABEL, 1984), que são:

- Flotação por ar disperso: turbinas e rotores são utilizados para promover a dispersão, aeração e agitação da suspensão, produzindo bolhas de gás com dimensões relativamente grandes (diâmetro superior a 1 mm);
- Flotação eletrolítica: bolhas de hidrogênio e oxigênio são geradas através da passagem de corrente contínua entre dois eletrodos localizados na câmara de flotação o que provoca a eletrólise da água. Estas bolhas apresentam diâmetros menores do que aqueles obtidos com a flotação por ar disperso ou por ar dissolvido;
- Flotação por ar dissolvido: as bolhas são geradas pela redução da pressão de um fluxo de água supersaturado com ar. Assim, o ar é precipitado na forma de pequenas bolhas, geralmente com diâmetro menor que 100 μm , e com pouca agitação do líquido.
- Flotação por microbolhas: a autora desta pesquisa incluiu essa modalidade, visto que mais recentemente estão-se usando sistemas com geração de microbolhas empregando-se dispositivos especiais (bombas multifásicas em substituição aos sistemas de saturação tradicional) para esse fim.

As vantagens das bombas multifásicas em relação às bombas tradicionais associadas à compressores de ar e câmara de saturação são: (i) alta eficiência , fornecendo uma grande massa de ar por unidade de volume por recirculação; (ii) eliminação da necessidade do uso de câmaras de saturação; (iii) suprimento do ar pode ser mediante compressores de baixa pressão

ou a partir do próprio ar atmosférico (não necessita de compressores). Em contrapartida, as desvantagens são: (i) podem resultar bolhas com dimensões maiores causado pelo possível excesso de ar fornecido; (ii) maior requerimento de potência devido às altas pressões de operação; (iii) pode reduzir a efetividade da bomba com o tempo, devido ao possível desgaste causado por partículas sólidas (ROSS, SMITH e VALENTINE, 2000).

A tecnologia de flotação teve sua gama de aplicações bastante ampliada nas últimas décadas. Inicialmente era utilizada no processamento de minérios. Depois passou a ser empregada em outras operações industriais como separação de sementes, recuperação de fibras na indústria de papel, remoção de óleos e gorduras e outros. Tem como principais vantagens a necessidade reduzida de área e lodos mais concentrados, e como desvantagem um custo operacional mais elevado, devido à mecanização (KIURI, 2001).

Em se tratando de óleos e gorduras, destaque-se a importância da remoção dos mesmos, haja vista que a presença desses no esgoto pode causar uma série de agravantes, dentre os quais: obstruções dos coletores; aderência nas peças especiais da rede coletora; acúmulo nas unidades de tratamento provocando odores desagradáveis e perfurações no funcionamento dos dispositivos de tratamento e aspecto desagradável nos corpos receptores (JORDÃO e PESSOA, 2005).

A unidade de remoção de óleos e gorduras mais utilizada, e mais simples, é comumente chamada de caixa de gordura, a qual recebe normalmente efluente de cozinhas e situa-se na própria instalação predial de esgoto. Devido ao aumento das concentrações de substâncias oleosas e gordurosas no esgoto, torna-se essencial um tratamento complementar à caixa de gordura, ressaltando-se a importância da flotação neste tratamento.

O tanque de flotação é uma unidade com dispositivo que insufla ar ao esgoto, com ou sem prévia coagulação e floculação, que resulta em uma flutuação de matéria oleosa e gordurosa na superfície, de onde deve ser retirada frequentemente.

A presença de substâncias oleosas e gordurosas no esgoto bruto situa-se na faixa de 50 a 150 mg.L⁻¹ (QASIM, 1999). Nos caminhões limpa-fossas, tais substâncias são encontradas em concentrações maiores (150 a 3.000 mg.L⁻¹). Isso se deve ao fato de que a fossa séptica é projetada para receber todos os despejos domésticos, inclusive os de cozinha. Entretanto, em alguns locais, é obrigatória a intercalação de um dispositivo de retenção de gordura (caixa de gordura) na canalização que conduz os despejos das cozinhas para a fossa, mas, muitas vezes, quando é feita a limpeza dessa unidade, também se faz a limpeza da caixa de gordura. Na Tabela 3.14 apresentam-se alguns dados das concentrações de substâncias oleosas e gordurosas encontradas em esgoto de cidades dos Estados do Rio de Janeiro e São Paulo, e em lodo de tanque séptico de cidades dos Estados de São Paulo, Santa Catarina e Paraná.

Tabela 3.14 – Valores de concentração de substâncias oleosas e gordurosas encontradas em esgoto e lodos de tanques sépticos

Local	Concentração do material "oleoso e gorduroso" (mg. L ⁻¹)
Esgoto da ETE Ipiranga, SP	45
Esgoto da ETE Penha, RJ	70
Esgoto da ETE Infraero-Apoio, RJ	60
Esgoto da ETE Infraero-TECA, RJ	30
Lodo de decanto-digestores de Joinville, SC	970
Lodo de decanto-digestores de Curitiba, PR	588
Lodo do Caminhão limpa- fossa São Carlos, SP	955

Fonte: adaptado de Jordão e Pessoa (2005) e Leite, Ingunza e Andreoli (2006).

Além de remover matéria graxa e oleosa, e mesmo os sólidos em suspensão, os flotadores promovem o adensamento do lodo, que consiste no aumento da concentração de sólidos, através da remoção parcial da quantidade de água. Portanto, esse tratamento visa a redução do volume do mesmo para manuseio e consequente processamento e destino final.

Os principais tipos de adensadores são por gravidade ou por flotação, sendo que o último apresenta maior eficiência, uma vez que os adensadores por gravidade não se mostram eficientes com lodos secundários dos processos biológicos e com lodo misto (JORDÃO e

PESSOA, 2005). A Tabela 3.15 apresenta os valores de adensamento do lodo e as características do sobrenadante dos dois tipos de adensadores.

Tabela 3.15 – Características do lodo adensado e do sobrenadante

Operação	Lodo adensado		Sobrenadante			
	Teor de sólidos (%)		DQO (mg. L ⁻¹)		SST (mg. L ⁻¹)	
	Faixa usual	Valor típico	Faixa usual	Valor típico	Faixa usual	Valor típico
Adensamento por gravidade						
lodo primário	4 a 6	6	100 a 400	250	80 a 200	200
lodo misto, primário e ativado	2 a 6	4	60 a 400	300	100 a 350	250
Adensamento por flotação						
lodo ativado	3 a 6	4	50 a 400	250	100 a 600	300

Fonte: Metcalf e Eddy, 2003

A ETE Barueri, SP (9 m³.s⁻¹) e a ETE La Farfana, Santiago (8 m³.s⁻¹), estações de grande porte, utilizam flotação por ar dissolvido para adensamento do lodo ativado sedimentado, proveniente dos decantadores secundários, sendo usual obter-se um lodo flotado com pelo menos 4% de teor de sólidos.

O projeto de unidades de adensamento de lodo por flotação é feito usualmente com base tanto na experiência com a operação de outras unidades aplicadas em situações parecidas quanto em resultados de ensaios com instalações-piloto (com alimentação contínua) ou de laboratório (com alimentação por batelada).

Os principais parâmetros de projeto de adensadores por flotação são:

- Taxa hidráulica de aplicação superficial (TAS): definida como o valor Máximo de vazão de lodo aplicado por unidade de área útil do adensador para obter um determinado grau de clarificação e de adensamento de lodo. A unidade é expressa em m³. m⁻².d⁻¹;

- Taxa de aplicação de sólido (TCS): define o fluxo de sólidos aplicado por unidade de área útil do adensador para obter um determinado grau de clarificação e de adensamento de lodo. A unidade é expressa em kg de SST. $\text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$;
- Relação entre o fluxo mássico de ar fornecido para flotação e o fluxo mássico de sólidos suspensos totais (A/S);
- Tempo de detenção hidráulica;
- Taxa hidráulica de aplicação superficial na zona de contato de flotores circulares;
- Velocidade longitudinal da água nos flotores retangulares;
- Características específicas do sistema e entrada de fluxo, aplicação de ar, remoção de lodo, dentre outros.

Segundo Harhoff e Van Vuuren (1993) os valores de TAS de adensadores de lodo gerados em ETEs com lodos ativados geralmente variam de 50 a 200 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. Para TCS, sem aplicação de coagulante, na faixa de 48 a 144 kg de SST. $\text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, ou de 144 a 288 em kg de SST. $\text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ com a aplicação do mesmo. A relação A/S está diretamente relacionada à quantidade de ar, operando eficientemente na faixa de 0,02 a 0,04.

A eficiência de um sistema de flotação por ar dissolvido, por exemplo, depende da razão entre a massa de ar e a massa de partículas em suspensão (relação A/S). Essa varia em função do tipo de suspensão e deve ser determinada experimentalmente em laboratório. A equação 3.4 (Metcalf e Eddy, 2003) relaciona a relação A/S, a solubilidade do ar, a pressão de operação na câmara de saturação e a concentração de partículas em suspensão (Lei de Henry).

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3Sa \times (f \times P - 1) \times R}{Ss \times Q} \quad (3.4)$$

Em que:

A/S: razão ar/sólidos ($\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1}$);

Sa: solubilidade do ar na temperatura do afluente (mL.L^{-1});

f: fração de ar dissolvido à pressão P;

P: pressão absoluta (atm);

Ss: sólidos suspensos (mg.L^{-1});

R: vazão de recirculação da água saturada ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$);

Q: vazão do líquido afluente ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$);

Ressalta-se que essa equação não se aplica a flotação por ar disperso, como também não se aplica apropriadamente para sistemas com microbolhas, como é o caso do presente trabalho. A relação ar-sólidos $(A/S)_{\text{TOTAL}}$ fornecida ao sistema de flotação por microbolhas é diferente da relação ar-sólidos $(A/S)_{\text{TEÓRICO}}$, calculada pela lei de Henry. Pois o “A” no sistema de microbolhas é a concentração mássica total efetivamente fornecida ao processo, envolvendo as frações de ar dissolvido e não dissolvido. Enquanto no “A” pela Lei de Henry é a concentração mássica teórica de ar capaz de ser dissolvido na água para uma determinada pressão e temperatura (PIOLTINI, 2009).

Recentemente tem-se desenvolvido sistemas com geração de microbolhas em substituição aos sistemas tradicionais (câmara de saturação).

Lee C.H *et al.* (2007) realizaram estudo em uma unidade FAD com capacidade de $150 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ aplicada à pré-clarificação de água para abastecimento com objetivo de avaliar o desempenho de uma bomba (DAF 40 Shin Shin Pump Inc. Korea) na geração de microbolhas de ar. O sistema foi realizado em água com diferentes valores de turbidez e operado visando à determinação do desempenho operacional, taxa de recirculação e condições de operação da bomba. Os autores chegaram as seguintes conclusões: (i) em condições de operação otimizadas, a vazão de ar deve ser de 8% a 10% da vazão de água e a taxa de recirculação de 30% para uma pressão de 5,1 atm; (ii) a fração de ar dissolvido na bomba, devido ao menor tempo de contato entre a água e ar, é menor que a câmara de saturação; (iii) a fração de bolhas

menores que 70 μm em todas as medidas foi superior a 97%; (iv) a bomba apresenta controles simplificados, não sendo necessário a utilização de compressor de ar e câmara de saturação.

3.7. Tratamento do lodo gerado em Estação de Tratamento de Esgoto

3.7.1. Generalidades

Nesta parte do levantamento bibliográfico estão apresentadas referências relacionadas com o assunto desintegração do lodo, tendo em vista que as análises efetuadas no presente trabalho envolveram a preparação das amostras mediante desintegração por ultrassom, visando aprimoramento dos resultados .

Cabe destacar, que a produção de lodo em Estações de Tratamento de Esgoto é elevada, principalmente quando se trata de processos aeróbios, sendo um dos grandes desafios para o sucesso técnico operacional de um sistema. Para tanto, nota-se a necessidade de se utilizar tecnologias que busquem a menor produção de lodo possível. Tecnologias como a destruição mecânica, para hidrolisar matérias sólidas, estão sendo utilizadas como tratamento para reduzir a produção de lodo. Geralmente em ETEs, utilizam-se trituradores para se hidrolisar a matéria sólida, entretanto tecnologias como a utilização de ultrassom também vem sendo estudada.

3.7.2. Desintegração do lodo

A desintegração do lodo é um processo de lise celular induzida que tem como objetivo acelerar o processo natural de lise, visando a desintegração da célula e utilizando-as como fonte de alimentação (CAMPOS 2002).

Vários são os métodos de desintegração do lodo, dentre eles pode-se citar (MÜLLER⁷, 1999; DOHÁNYOS e ZÁBRANSKÁ⁸, 2001; TANAKA e KAMIYAMA⁹, 2001 apud ANDREOLI, 2003):

- Desintegração mecânica: com utilização de ultrassom, trituração e homogeneização;
- Tratamento químico: com destruição dos compostos orgânicos complexos através de fortes minerais ácidos e básicos; e processos oxidativos, com utilização de ozônio e peróxido de hidrogênio;
- Tratamentos biológicos: com utilização de enzimas;
- Tratamento termoquímico: pré-tratamento por autoclave a 130°C por 5 minutos após ser adicionado NaOH;
- Tratamento térmico: especialmente em temperaturas entre 40 e 170°C. O tratamento térmico pode dividir e decompor uma parcela significativa da fração de sólidos fixos do lodo, resultando em sólidos solúveis, que são moléculas com menos complexidade.

Segundo Neis (2000), os métodos para desintegração celular especificamente para o tratamento de lodo de esgotos dividem em:

- Mecânicos: Moinhos de bolas, homogeneização a alta pressão, homogeneização;
- Elétricos: Descargas elétricas;
- Térmicos: Pirólise

⁷ MÜLLER, J.A. Pretreatment process for the recycling and reuse of sewage sludge. In: SPECIALIZED CONFERENCE ON DISPOSAL AND UTILIZATION OF SEWAGE SLUDGE (1999 : Atenas). Anais. Atenas : IAWQ. p 282-289, 1999.

⁸ DOHÁNYOS, M.; ZÁBRANSKÁ, J.. Anaerobic digestion. In: SPINOSA, L.; VESILIND P.A. Sludge into biosolids. UK: IWA Publishing, p. 223-241, 2001.

⁹ TANAKA, S.; KAMIYAMA, K. Thermo chemical pretreatment in the anaerobic digestion of waste activated sludge. In: SPECIALIZED CONFERENCE ON SLUDGE MANAGEMENT: REGULATION, TREATMENT, UTILIZATION AND DISPOSAL (10/2001 Acapulco - México). Anais... IWA. p. 117-123, 2001.

- Térmico-biológicos: Digestão aeróbia;
- Químicos: Reações ácido/base;
- Biológicos: Adição de enzimas;
- Acústicos: Cavitação

Dentre as funções da desintegração do lodo uma delas é melhorar sua digestão aumentar por processo biológico, mediante o rompimento da parede celular dos microrganismos presentes no lodo. Segundo Muller (1999) *apud* Andreoli *et al.* (2003), a desintegração do lodo é aplicada para melhorar os seguintes parâmetros nos processos de tratamento de esgoto e de lodo:

- Estabilização: Diminuir o tempo de estabilização do lodo e aumentar a taxa de degradação na digestão aeróbia e anaeróbia, pela dissolução da matéria orgânica;
- Escuma e densidade: Evitar a formação de escuma na aeração e nos tanques de decantação secundária, melhorando a sedimentação, redução e decantação do lodo devido ao rompimento dos filamentos dos microrganismos pela desintegração mecânica;
- Condicionamento e desaguamento: Elevar a concentração do teor de sólidos do lodo desaguado e reduzir o total a ser condicionado, devido à redução da água livre da matriz do mesmo depois do tratamento térmico;
- Remoção de nitrogênio: Substituição das fontes externas de carbono pelo processo de desnitrificação, pela desintegração do lodo com alto teor de carbono orgânico dissolvido;
- Reciclagem de nitrogênio e fósforo: Melhoramento da eficiência técnica e econômica nos processos de reciclagem, devido ao aumento da concentração de compostos dissolvidos no lodo;

- Disposição: Redução do total de lodo a ser disposto, devido ao aumento da estabilização e do reuso do lodo nos processos de tratamento de esgoto.

3.7.3. Desintegração do lodo com ultrassom

A homogeneização ultrasônica necessita de equipamento com componentes principais: um transdutor, que são dispositivos destinados a converter um tipo de sinal em outro, com objetivo de transformar um tipo de energia em outro; e um gerador, é a parte do equipamento que ligada à energia elétrica é responsável por converter esta energia (110 ou 220) com frequência de 50 Hz ou 60 Hz no sinal de alta frequência que é aplicado no transdutor (CAMPOS, 2002).

A aplicação de alta energia acústica a um sistema líquido pode gerar reações químicas e físicas que podem acarretar modificações nas características das substâncias dissolvidas e particuladas presentes no líquido. Em alta intensidade acústica, particularmente em frequências médias e baixas, há geração de bolhas de gás que variam de tamanho de acordo com a onda acústica até que entre em colapso, fenômeno conhecido por cavitação (NEIS, 2000).

Segundo Campos (2002) as aplicações do ultrassom podem ser: ensaios destrutivos e não destrutivos. No último caso as aplicações do ultrassom em frequência bastante alta (acima de 3 MHz), não são possíveis de gerar uma potência capaz de causar cavitação (geralmente usados para diagnósticos médicos). Nos ensaios destrutivos a faixa de frequência é ampla, variando de 20 kHz a 3 MHz.

Campos (2002) avaliou o comportamento de um reator sequencial em batelada aeróbio, em escala de laboratório, tratando esgoto sintético e com retorno total do lodo gerado para o tanque de aeração após desintegração com ultrassom. O reator foi operado com idade

do lodo de 8 dias e tempo de ciclo de 12 horas. Para a lise celular induzida foi utilizado um aparelho de ultrassom com frequência de 20khz, potência de 95W e tempo de 20 minutos. Houve um aumento nos teores de sólidos e de DQO no afluente do reator devido ao retorno do lodo. Entretanto este aumento não prejudicou o sistema durante todo o decorrer do estudo, mostrando que a desintegração do lodo e seu retorno ao tanque de aeração mostrou ser uma solução alternativa para o problema da alta produção de lodo em sistemas aeróbios.

Em estudos realizados por Muller *et al.* (2000), utilizando ultrassom em baixa intensidade, somente para a *quebra* de bactérias filamentosas (predominantemente *Microthrix Parvicella*), ao tratar lodo de duas plantas diferentes, conseguiram uma redução no volume de lodo flotado de 7% para 1% do lodo total.

Shimizu¹⁰ *et al.* (1993) *apud* Campos (2002) obtiveram um aumento de 60% eficiência de digestão e 40% na produção de gás metano, operando um digestor anaeróbio alimentado com lodo proveniente de reator de lodos ativados lisado com ultra-som.

¹⁰ SCHMITZ, U.; BERGER, C.R.; ORTH, H. Protein Analysis as a Simple Method for the Quantitative Assessment of Sewage Sludge Disintegration. Water Research, v.34, n.14, p. 3682-3685.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Generalidades

Inicialmente foram levantadas as áreas urbanas da cidade de São Carlos-SP onde não há sistema público de coleta de esgoto sanitário, ou seja, delimitação das áreas da cidade onde há tanques sépticos. Posteriormente foram escolhidos os tanques sépticos a serem utilizados no estudo e efetuadas coletas do lodo gerado nas mesmas para a sua caracterização. A coleta do lodo séptico foi realizada em duas maneiras; coleta do lodo *in situ*, que foi coletado mediante amostrador específico; e coleta do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas.

A caracterização do lodo de tanques sépticos da cidade de São Carlos-SP foi realizada em duas campanhas, sendo uma feita na primeira visita da equipe ao local pré-definido, e outra realizada aproximadamente 6 meses após a primeira coleta.

Paralelamente, foi construída e operada uma unidade piloto para o pré-tratamento de lodo de fossas e tanques sépticos. A unidade consiste de uma grade, desarenador e flotador, cujas funções são, respectivamente, a remoção de sólidos grosseiros, areia e materiais flutuantes. Os sólidos grosseiros removidos na grade foram levados ao laboratório e submetidos à inspeção visual. Foi realizada análise granulométrica da areia retida no desarenador, e foi estudada a degradação do lodo flotado por processos anaeróbios e aeróbios.

Vale ressaltar que como essa é uma proposta inédita, não há nenhuma linha de pesquisa semelhante encontrada na literatura, assim a concepção da unidade piloto foi

baseada, preliminarmente, em conceitos conhecidos para a flotação de esgoto sanitário e adaptada para lodos de tanques sépticos.

Também, foi realizada a caracterização do lodo de fossas e tanques sépticos da cidade de Campinas-SP-SANASA. A caracterização do lodo dessas unidades foi feita mediante o acompanhamento do descarte de lodo de caminhões limpa-fossa na Central de Recebimento de Resíduos da ETE Piçarrão/Campinas-SP. Além dessa caracterização, a SANASA forneceu alguns dados sobre a caracterização de outras amostras de lodo – coletadas aleatoriamente – descartados por caminhões limpa-fossas na central de recebimento da ETE Piçarrão.

4.2. Caracterização do lodo (São Carlos/SP)

4.2.1. Número e natureza dos tanques/fossas sépticas

Em São Carlos-SP, quase 100% da área urbana é coberta com rede de esgotamento sanitário. Entretanto, os loteamentos ou condomínios situados na área rural utilizam-se do sistema de fossas e tanques sépticos. Dentre os loteamentos estão: Represa do 29, Varjão, 21 de dezembro, Horto de São Carlos, Embaré, Fazenda Ohara Schmidt e Represa do Broa.

Há somente duas empresas privadas dedicadas à limpeza de fossas e tanques sépticos (Desentupidora e Limpadora Catoia e PROVAC); e o Serviço Autônomo de Água e Esgoto da cidade dispõe de três caminhões, que atendem áreas carentes e serviços próprios. Nesta pesquisa utilizaram-se os serviços da Desentupidora e Limpadora Catoia; a empresa conta com dois caminhões limpa-fossas, um de 6 m³ e o outro de 12 m³.

Levando em consideração as particularidades relacionadas à grande heterogeneidade de tipos de fossas e tanques sépticos existentes, os primeiros passos foram destinados a identificação e seleção das fossas e tanques sépticos do município de São Carlos – SP.

O campo de amostragem de unidades que foram objeto da pesquisa atende às seguintes condições: duas unidades em área de médio nível social e econômico, quatro unidades em área de menor nível social e econômico e duas unidades são de esgoto sanitário gerado em Indústria.

A Figura 4.1 apresenta a localização dos loteamentos escolhidos, Varjão e Represa do 29, como objeto da presente pesquisa. Na Figura 4.2 são apresentadas as imagens de alguns tanques sépticos selecionados para amostragem nas condições avaliadas.

Figura 4.1 – Localização dos tanques sépticos selecionados no município de São Carlos/SP.
Fonte: Imagem de satélite disponibilizada pelo Google Maps

Figura 4.2 – Tanques sépticos selecionados para a pesquisa

Considerando as dificuldades para conhecer, com segurança, o tempo decorrente desde que o tanque séptico foi “esvaziado” pela última vez, por ser esse dado depende de informação do usuário - portanto, sujeito a erros - as atividades de caracterização do lodo foram realizadas em duas etapas:

- **1ª Campanha:** Todos os tanques sépticos escolhidos para serem utilizados no estudo foram submetidos à operação de limpeza à caracterização de seu lodo, coletando-se amostras *in situ* e depois do transporte em caminhões limpa-fossas.
- **2ª Campanha:** Após período da ordem de seis meses, a partir da data da 1ª Campanha, submeteu-se, novamente, metade das unidades à operação de limpeza, porem somente efetuando-se a caracterização do lodo proveniente de caminhões limpas-fossas.

4.2.2. Coleta de amostras de lodo

De forma a atender um dos objetivos do trabalho, foi realizada a amostragem e caracterização do lodo de tanques sépticos coletado *in situ* e do removido por caminhões de limpeza do tipo limpa-fossas. Com isso, pretendia-se avaliar as características distintas dessas coletas, evidenciando que a forma de remover o lodo dos tanques pode ter influência direta na qualidade do resíduo a ser tratado.

Certamente, esperava-se que o lodo coletado *in situ* apresentasse concentração maior de sólidos fixos, por exemplo. Ocorre, entretanto, que em nenhuma referência bibliográfica havia comprovação desse fato ou menção dos aspectos qualitativos do lodo nessa condição.

Dessa maneira, o modo com que os dados apresentados na sequência estão dispostos permite comparar diretamente essas duas formas de amostragem, facilitando o entendimento dos resultados e posterior leitura das conclusões.

O lodo coletado *in situ* foi obtido pela equipe de pesquisa utilizando o equipamento conhecido com draga de Ekman (Figura 4.3); e lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas, foi descarregado em tanque pulmão de 15.000 litros (tanque de poliéster reforçado com fibra de vidro). Este tanque possui seis registros, em diferentes alturas, para realização da amostragem de acordo com a quantidade de lodo descarregado (Figura 4.4).

Figura 4.3 – Dragas de Ekman utilizadas para coleta de lodo *in situ*

Considerando-se as particularidades relacionadas com a coleta, o transporte, e a descarga do lodo, foram feitas algumas instalações no tanque de recebimento para cumprir uma série de cuidados que são descritos a seguir.

Para se obter uma amostra composta foram instalados seis registros em diferentes alturas como mostra a Figura 4.4.a. Essa adaptação permitiu a realização da amostragem de acordo com a quantidade de lodo descarregado. A fim de se saber o volume de lodo descarregado por caminhões foi instalado um piezômetro na lateral do tanque de recebimento (Figura 4.4.b) permitindo assim saber a que altura se encontrava o lodo.

Por fim, devido à possibilidade de haver materiais grosseiros com dimensões relativamente grandes foi instalada um dispositivo, placa com furos de 5 cm, para remover sólidos com tamanho superior a 5 cm, no qual era descarregado o lodo antes de cair no tanque (Figura 4.4 c).

Figura 4.4 – Instalações feitas no tanque de recebimento: tomadas para coletas (a), piezômetro (b) e peneira (c)

As amostras do lodo coletado por caminhões foram retiradas proporcionalmente nas diferentes alturas do tanque pulmão de forma a ter um lodo mais homogeneizado, obtendo-se assim amostra mais representativa.

No momento da coleta do lodo *in situ* foram levantados alguns dados tais como: aspectos visuais e olfativos (cor e odor característicos do lodo), tipo de unidade e, ainda, informações do usuário tais como: data da última limpeza da fossa e número de indivíduos contribuintes no ponto de coleta.

Na coleta do lodo *in situ*, o acondicionamento da amostra foi feito em recipiente de vidro com boca larga e volume útil de dois litros. A coleta do lodo, no tanque pulmão, foi feita em recipiente de polietileno e volume útil de um litro.

A coleta do resíduo retido na peneira do tanque de recebimento foi feita manualmente, armazenando a amostra em recipiente de vidro de boca larga e volume útil de dois litros.

4.2.3. Preparo da amostra para posterior análise

Com o intuito de se tentar aprimorar as análises das amostras do lodo *in situ* (mais concentrado que o lodo transportado em caminhões), foi testado o uso de ultrassom, com finalidade de melhor fragmentar o material particulado, disponibilizando em maior grau, sua dispersão/solubilização no meio líquido:

- Para desintegração do lodo foi testado um sistema de ultrassom, para tanto se utilizou um aparelho de ultrassom, com frequência de 25 kHz, tempo de 10 minutos e potência de 100 W;
- Após passar pelo sistema de ultrassom a amostra foi diluída em água deionizada.

Para se determinar o tempo em que a amostra deveria permanecer no sistema de ultrassom, foram testados os tempos de cinco, dez e quinze minutos. Em seguida, as amostras eram encaminhadas à microscopia óptica para se observar o grau de desintegração do lodo (critério visual). Com base nesse procedimento fixou-se o tempo de dez minutos, em que a amostra apresentou uma boa desintegração (Figura 4.5).

Quanto à amostra coletada no tanque pulmão (15 m³), foi preparada amostra composta com as amostras retiradas proporcionalmente nas diferentes alturas do tanque.

Figura 4.5 – Microscopia óptica da amostra de lodo após ultrassom. Cinco minutos (a), dez minutos (b), quinze minutos (c)

Na Figura 4.6 é apresentado, resumidamente, um esquema do acondicionamento da amostra de lodo coletado *in situ* e do coletado no tanque de descarregamento de lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas.

Figura 4.6 – Fluxograma do tratamento preliminar das amostras de lodo, precedendo as análises de laboratório

4.2.4. Ensaio e determinações

Realizou-se a caracterização qualitativa e quantitativa do lodo mediante os ensaios apresentados na Tabela 4.1, baseados no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21th (2005).

Tabela 4.1 – Ensaio para caracterização das amostras de lodo

Variáveis	Unidade	Método	Número do método	Referência
pH	-	Potenciométrico	4500 - H+	APHA, 2005
Alcalinidade	mg.L ⁻¹	Titulométrico	2320 B	APHA, 2005
Nitrogênio Kjeldahl total	mg.L ⁻¹	Kjeldahl	4500- Norg B	APHA, 2005
Nitrogênio amoniacal	mg.L ⁻¹	Destilação preliminar	4500- NH ₃ B	APHA, 2005
DQO	mg.L ⁻¹	Colorimétrico por refluxo fechado	5220 D	APHA, 2005
Fosfato total	mg.L ⁻¹	Colorimétrico	4500- P E	APHA, 2005
Sólidos totais	mg.L ⁻¹	Gravimétrico	2540 B	APHA, 2005
Sólidos totais dissolvido	mg.L ⁻¹	Gravimétrico	2540 C	APHA, 2005
Sólidos totais suspensos	mg.L ⁻¹	Gravimétrico	2540 D	APHA, 2005
Sólidos fixos e voláteis	mg.L ⁻¹	Gravimétrico	2540 E	APHA, 2005
Sólidos sedimentáveis	ml.L ⁻¹	Gravimétrico	2540 F	APHA, 2005
Óleos e graxas	mg.L ⁻¹	Gravimétrico	5520 B	APHA, 2005
Cloretos	mg.L ⁻¹	Nitrato mercúrio	4500- Cl ⁻ C	APHA, 2005
Coliformes totais	mg.L ⁻¹	Filtração	9222 B	APHA, 2005
Coliformes fecais	mg.L ⁻¹	Filtração	9222 D	APHA, 2005
Metais	mg.L ⁻¹	Espectrometria por absorção atômica	3111 B	APHA, 2005
Ovos de helmintos	n° de ovos.L ⁻¹	Bailenger modificado	-	AYRES & MARA, 1996

As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento da EESC-USP, com exceção da análise para ovos de helmintos que foi realizada na Universidade Federal de São Carlos pelo professor do Departamento de Morfologia e Patologia, Clovis Wesley Oliveira de Souza.

Quanto ao material removido na entrada do tanque pulmão, foi feita análise granulométrica com as seguintes unidades que têm as aberturas: 2,0 cm; 1,0 cm; 0,5 cm; 0,2 cm e 0,1 cm. A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Solos do Departamento de Geotecnia da EESC-USP.

4.3. Caracterização do lodo descarregado na Central de Recebimento de Resíduos da ETE Piçarrão em Campinas/SP

A ETE Piçarrão atende população da ordem de 210.000 habitantes e é constituída por: tratamento preliminar, reatores UASB, tanque de aeração seguido por flotação por ar dissolvido com prévia aplicação de pequena dosagem de polímero.

Há cerca de dois anos, a SANASA – Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento SA, implantou uma Central de Recebimento de Resíduo, distante seis quilômetros da ETE. Essa Central recebe até 100 caminhões de lodo por dia, e 280 m³ de percolato de aterros sanitários. A mesma é composta por três unidades receptoras de resíduos. Cada unidade é constituída por uma grade com abertura de 2 cm.

Essa Central tem horário de funcionamento das 7:00 horas até 19:00 horas, todos os dias da semana, domingo incluso, para recepção de lodo de tanques sépticos; e, para recepção de percolato de aterro, das 7:00 horas às 24:00 horas, também diariamente.

O percolato (volume médio diário: 280 m³ dia⁻¹, aproximadamente) é acumulado em três tanques com capacidade total de 90 m³, cuja descarga é controlada com vazões da ordem de 4 L.s⁻¹ e de 2 L.s⁻¹, nos períodos das 7:00 às 24:00 horas e das 24:00 às 7:00 horas, respectivamente.

Na Figura 4.7 está apresentada a vista geral e a vista lateral da Central de Recebimento de Resíduos.

Figura 4.7 – Central de Recebimento de Resíduo da SANASA, Campinas-SP. Vista geral (a) Vista lateral (b)

Nesta pesquisa foi realizada uma campanha de coleta de lodo *in loco*, coletando-se, amostras compostas de lodo descarregado por 24 caminhões. Para amostragem foram

coletadas 3 alíquotas da descarga de cada caminhão, misturando-as em seguida para constituir a amostra a ser analisada em laboratório. Na Figura 4.8 está apresentado o descarregamento dos caminhões na referida Central bem como a coleta da amostra.

Figura 4.8 – Descarte de lodo na Central de Recebimento de Resíduo da SANASA, Campinas-SP. Caminhão limpa-fossa sendo preparado para o descarregamento (a) Amostras coletadas durante o descarte (b)

Das 24 amostras coletadas, 3 foram de percolado de aterro sanitário, 2 de lodo de UASB e os restantes, 19, foram lodo de tanques sépticos. Dessas últimas, 12 foram de origem residencial, 4 de escolas e 1 de obra (construção: sanitário provisório).

Em adição, foram fornecidos pela SANASA, alguns dados sobre a caracterização de 15 amostras de lodo descartado por caminhões limpa-fossas na Central de Recebimento.

4.4. Tratamento estatístico das caracterizações do lodo de São Carlos-SP e Campinas-SP

Os dados foram submetidos a análise estatística básica (estatística descritiva) sendo obtidos valores máximos e mínimos, de tendência central (média, mediana) e valores de dispersão (desvio padrão, variância, quartiz). Devido a grande dispersão dos resultados foram excluídos valores extremos, considerados como sendo os resultados superiores ao

valor da média aritmética acrescido de três vezes o valor do desvio padrão de cada grupo (valores acima do limite superior de 99% de confiança). Optou-se pelo emprego da mediana, devido a alta variabilidade dos dados obtidos, como medida de tendência central representada nos gráficos elaborados. Este tratamento preliminar não foi aplicado aos parâmetros biológicos.

4.5. Sistema experimental para pré-tratamento de lodo de tanques sépticos

A unidade de pré-tratamento, objeto de estudo, apresentada nas Figuras 4.9, 4.10, foi desenvolvida para promover a flotação de sólidos suspensos, óleos e graxas, e a sedimentação de areia. Ela é composta por uma grade, desarenador e flotador e foi instalada no Campus da Universidade de São Paulo, na Estação de Tratamento de Esgoto do Campus – área 1. A alimentação dessa unidade ocorria mediante descargas de lodos dos caminhões limpa-fossa, armazenados em um tanque de homogeneização de 15 m³.

O lodo séptico era recalcado do tanque de homogeneização até a unidade de pré-tratamento por uma bomba do tipo centrífuga, auto-escorvante, com potência de 10 CV que admitia controle de vazão mediante o uso de inversor de frequência.

Figura 4.9 – Foto do sistema experimental: unidade de pré-tratamento e tanque de recebimento

Figura 4.10 – Foto do sistema experimental: ETE piloto

4.5.1. Características do sistema de pré-tratamento

As principais dimensões da unidade piloto utilizada nesta presente pesquisa estão apresentados na Tabela 4.2. A Figura 4.11 representa o corte esquemático do sistema de pré-tratamento.

Figura 4.11 – Corte esquemático da instalação piloto para remoção de areia e flotação

Tabela 4.2 – Dimensões do Flotador utilizado na pesquisa

Tanque de flotação	Dimensões
Largura (m)	0,70
Altura (m)	1,90
Área superficial total (m ²)	1,82
Área superficial útil (m ²)	1,33
Volume útil (m ³)	2,50

O ar utilizado na unidade piloto era aplicado na canalização de sucção do conjunto elevatório de recirculação mediante mangueira de Poliuretano com diâmetro interno de 2,4 mm, conectada ao compressor central que abastece todas as necessidades da Estação de Tratamento de Esgoto do Campus, marca Raeser Coburg, tipo ECP 630- 250, com as seguintes características: potência de 3 CV, rotação de 2420 rpm, pressão máxima de 10 bar e vazão máxima de 630 L. min⁻¹ (Figura 4.12). Para controlar a vazão de ar foi instalado registro de agulha. Ressalta-se que esse compressor tinha capacidade bastante excedente em relação à demanda de ar efetivamente utilizada.

A medição da vazão do lodo que alimentava o sistema foi realizada por meio de vertedor triangular de parede delgada. Uma régua graduada (Figura 4.13) permitia a leitura de valores da lâmina líquida e mediante a fórmula a seguir tem-se a vazão (equação de Thomson):

$$Q = 1,4 \times h^{\frac{5}{2}} \quad (4.1)$$

Em que:

Q: vazão (m³.s⁻¹);

h: altura da lâmina líquida (m).

Figura 4.12 – Compressor utilizado na montagem experimental

Figura 4.13 – Régua graduada para medir lâmina líquida no vertedor triangular

Parte do efluente do tanque de flotação era recirculada após receber a aplicação de ar na canalização de sucção (conjunto elevatório marca Grundfos – Mark, modelo 08082012).

Essa unidade de flotação foi concebida sem câmara de saturação, pois essa unidade e seus acessórios certamente apresentariam problemas operacionais e de manutenção face às características do lodo.

A pressão desejada na recirculação era controlada por válvulas de esfera e monitorada por manômetros no recalque e vacuômetro na canalização de sucção.

O material flotado (lodo na superfície) era removido por um raspador de lodo superficial, com acionamento manual e direcionado para um recipiente de acúmulo. O material sedimentado (areia + detritos), por sua vez era removido mediante descargas de fundo, com abertura e fechamento de registros, encaminhando-o para outro recipiente de acúmulo.

Geralmente emprega-se na flotação de esgoto uma unidade, antecedente de floculação com a adição de polímeros ou coagulantes. Neste caso, para redução de custos, não foram empregados coagulantes e polímeros.

4.5.2. Monitoramento da unidade piloto

Para que fossem alcançados os objetivos propostos, selecionaram-se quatro taxas de aplicação superficial, baseados em resultados de pesquisas relacionadas com a flotação convencional de esgoto sanitário.

Na Tabela 4.3 estão apresentados os parâmetros operacionais para cada ensaio. A duração de cada ensaio foi estabelecida como sendo cinco vezes o tempo de detenção hidráulica, pois nesse período, constatava-se a estabilização da operação.

Tabela 4.3 – Parâmetros para realização dos ensaios

Taxa de aplicação superficial ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)	Vazão		Tempo de detenção hidráulica (min)	Duração do ensaio (min)
	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$		
80	4,43	1,23	33,8	169
110	6,10	1,69	24,6	123
140	7,76	2,16	19,3	97
200	11,08	3,08	13,5	68

Como não há na literatura técnica aplicações do uso de flotação para lodo de tanques sépticos, optou-se por utilizar como primeira e grosseira aproximação, a fórmula usual (equação 3.4) para projeto de flotação por ar dissolvido para esgoto sanitário (Metcalf e Eddy, 1991). Adotaram-se os seguintes valores para estimativa de vazão de recirculação: razão de ar/sólidos: 0,03; sólidos suspensos: $3000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; solubilidade do ar na temperatura de 20°C : $18,7 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$; pressão absoluta: 5 atm e fração de ar dissolvido 0,5. Na Tabela 4.4 estão apresentados os valores das referidas vazões utilizadas nos ensaios.

$$\frac{A^*}{S} = \frac{1,3Sa \times (f \times P - 1) \times R}{Ss \times Q} \quad (4.1)$$

Em que:

A^* : a fração de ar dissolvido e não dissolvido;

A/S: razão ar/sólidos ($\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1}$);

Sa: solubilidade do ar na temperatura do efluente ($\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$);

f: fração de ar dissolvido à pressão P;

P: pressão absoluta (atm);

Ss: sólidos suspensos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$);

R: vazão de recirculação da água saturada ($\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$);

Q: vazão do líquido afluente ($\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$);

Tabela 4.4 – Vazões utilizadas nos ensaios

Vazão de recirculação ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$)	Vazão afluente ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$)	Vazão de ar ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$)
1847	924	90
2956	1478	144
4064	2032	198
5172	2586	251
7389	3694	359

A rigor, A fórmula 4.1 não se aplica a projetos para flotação, com essa concepção (sem câmara de saturação); ela aplica-se a casos de flotação por ar dissolvido convencional, que não é o caso. Na configuração proposta nesta pesquisa, a flotação ocorre não só por ar dissolvido/precipitado, mas também por microbolhas produzidas pela fragmentação de bolhas grandes introduzidas na sucção da bomba de recirculação. Portanto, não se devem elaborar projetos de unidades em escala plena com base nessa fórmula. Essa fórmula foi utilizada apenas para se ter um ponto de partida para adoção de parâmetros operacionais preliminares,

o que foi seguido por alguns testes de campo antes de se adotar as taxas de aplicação superficial que foram objeto da pesquisa.

Para essa estimativa adotou-se concentração de sólidos suspensos com valor de 3000 mg. L⁻¹; no entanto, a faixa de variação desse parâmetro é extremamente variável no lodo de fossas e de tanques sépticos de diferentes origens.

A vazão de ar foi medida por um micro-sensor (HONEYWELL - modelo AWM5104VN), com capacidade para medir vazão até 1200 L.h⁻¹.

Na Figura 4.14 são apresentas as fotos dos locais em que foram coletadas amostras para realização das análises. Foram efetuadas três coletas durante as horas de operação relativa a cada ensaio. As amostras individuais, obtidas durante a operação, eram coletadas em recipientes de polietileno com volume útil de um litro e acondicionadas em caixa térmica com gelo, até o final da operação. A seguir, as mesmas eram encaminhadas a laboratório, onde era preparada a amostra composta.

Figura 4.14 – Ilustração dos locais de coleta das amostras: entrada do reator (a), saída do reator (b) e material flotado (c)

Foram monitorados os parâmetros: DQO, série de sólidos, óleos e graxas, metais, Coliformes totais, Coliformes fecais, nitrogênio kjedahl total, fosfato total e ovos de helmintos. Também foram monitorados o lodo flotado e o material sedimentado (areia + outros detritos).

Em relação a avaliação do número de ovos de helmintos, esta somente foi feita no primeiro ensaio, pois o número de ovos de helmintos detectado no lodo, de maneira geral resultou bastante baixa.

O material retido na peneira era coletado em recipiente de vidro com boca larga e volume útil de cinco litros, e encaminhado ao laboratório, onde era “secado” em estufa, a 60°C, para posterior análise granulométrica com peneiras de aberturas de 2,0 cm; 1,0 cm; 0,5 cm; 0,2 cm e 0,1 cm.

Ao final de cada operação coletaram-se amostras do fundo do reator para quantificar a areia sedimentada (ensaio de sólidos totais). Foram realizadas duas coletas em recipientes de polietileno com volume útil de um litro. No laboratório preparou-se a amostra composta.

Na Figura 4.15 é apresentado, resumidamente, um esquema do acondicionamento das amostras coletadas durante os ensaios.

Figura 4.15 – Fluxograma esquemático do pré-tratamento das amostras no tratamento preliminar precedendo as análises de laboratório

4.5.3. Testes complementares para avaliação da potencialidade de degradação biológica do lodo flotado

Com intuito de avaliar de forma expedita e preliminar a degradação do lodo flotado na unidade de pré-tratamento objeto da presente pesquisa, foram realizados, também, dois testes complementares distintos: um empregando processo aeróbio e outro anaeróbio.

No processo aeróbio, as variáveis avaliadas foram óleos e graxas e DQO, para amostras extraídas nas três diferentes taxas de aplicação superficial aplicadas na unidade de pré-tratamento: $80 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$, $110 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ e $140 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$. Inicialmente, para as duas primeiras taxas, optou-se pela “simples” aeração do lodo flotado, mediante uso de um aerador de aquário, imerso em cerca de 700 mL de amostra contida num frasco de 1000 mL. A instalação foi mantida à temperatura ambiente, por 11 dias, com aeração ininterrupta. Em intervalos pré-determinados, amostras parcialmente digeridas foram coletadas e avaliadas.

Ocorre, entretanto, que os resultados obtidos não foram satisfatórios. Desse modo, optou-se pela inoculação do ambiente onde seria avaliada a degradação, mediante introdução de cerca de 200 mL de lodo oriundo do Tanque de Aeração da Estação de Tratamento das Flores de Rio Claro – SP, simulando as possíveis condições favoráveis ao processo. O volume de lodo flotado avaliado foi de 700 mL também, nas mesmas condições das duas primeiras amostras, estendendo-se, entretanto, o período de digestão para 19 dias.

Para o teste em ambiente anaeróbio, por sua vez, amostras com cerca de 200 mL de lodo flotado foram inseridas em frascos de Duran de 500 mL, que posteriormente foram lacrados para avaliar a formação de gases em seu interior, mediante observação do deslocamento de líquido no frasco controle, conforme observado na Figura 4.16. Os recipientes foram mantidos a temperatura ambiente, com extração da amostra digerida após 11 dias. O lodo flotado na unidade de pré-tratamento para as três taxas de aplicação

superficial avaliadas teve sua produção de biogás quantificada ($80 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$, $110 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ e $140 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$).

Figura 4.16– Montagem experimental para degradação anaeróbica do lodo flotado
]

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização do lodo (São Carlos-SP)

Realizou-se a caracterização do lodo de oito tanques sépticos: seis para esgoto de origem doméstica residencial, sendo quatro situados em áreas de menor nível social, econômico e dois situados em áreas de médio nível social, econômico; e, dois de esgoto sanitário gerado em indústrias.

No primeiro tanque séptico coletaram-se amostras apenas da descarga dos caminhões limpa-fossas. No segundo tanque séptico apenas lodo *in situ*. Já, nos demais, ambos os tipos de coletas foram realizadas.

Os dados coletados *in situ* e os fornecidos pelo usuário da unidade encontram-se na Tabela 5.1. Nota-se, na maioria dos casos, grande tempo decorrente desde que a unidade foi “esvaziada” pela última vez, mas vale ressaltar que esse dado depende de informação do usuário, portanto, altamente sujeito a erros.

Na Tabela 5.2 são apresentados os resultados das determinações da caracterização do lodo coletado *in situ* com e sem a submissão ao ultrassom. De acordo com os valores resultantes, nota-se que os resultados obtidos com a utilização do ultrassom apresentam valores maiores, na maioria dos casos, em relação aos resultados obtidos sem ultrassom. Atribui-se esse fato à desestruturação parcial dos aglomerados causado pelo ultrassom.

Tabela 5.1 – Dados obtidos no momento da coleta do tanque *in situ*

Características	Tanque séptico 1	Tanque séptico 2	Tanque séptico 3	Tanque séptico 4
Odor do lodo	Desagradável	Desagradável	Desagradável	Desagradável
Cor do lodo	Preto	Preto	Preto	Preto
Última limpeza da unidade	2 anos	7 anos	Não soube informar	3 anos
Nº de pessoas na casa	2	10	4	5
Origem	Residencial	Comercial	Residencial	Comercial
Tipo	Camãra única	Camãra única	Camãra única	Quatro camãras
Características	Tanque séptico 5	Tanque séptico 6	Tanque séptico 7	Tanque séptico 8
Odor do lodo	Desagradável	Desagradável	Desagradável	Desagradável
Cor do lodo	Preto	Preto	Preto	Preto
Última limpeza da unidade	1 ano	1 mês	7 anos	3 anos
Nº de pessoas na casa	3	26	4	2
Origem	Residencial	Residencial	Residencial	Residencial
Tipo	Camãra única	Camãra única	Camãra única	Camãra única

A Figura 5.1 comprova que os grãos de lodo após passar pelo sistema de ultrassom encontram-se mais desintegrados, do que aqueles que não passaram pelo ultrassom.

Figura 5.1 – Microscopia óptica do lodo de tanque séptico. (a) lodo sem ultrassom e (b) lodo com ultrassom

Na Tabela 5.3 são apresentados os resultados da caracterização dos lodos descarregados no tanque-pulmão por caminhões limpa-fossas.

Tabela 5.2 – Caracterização do lodo coletado *in situ*

Parâmetro	Tanque 2		Tanque 3		Tanque 4		Tanque 5		Tanque 6		Tanque 7		Tanque 8	
	Com us	Sem us	Com us	Sem us	Com us	Sem us	Com us	Sem us	Com us	Sem us	Com us	Sem us	Com us	Sem us
pH	7,43	7,23	7,57	7,12	7,19	7,00	7,11	7,03	7,01	6,95	6,83	6,65	8,38	8,62
Alcalinidade (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	1.083	999	1.428	1.526	4.059	3.453	1.646	1.350	2.490	2.135	1.190	1.243	3.053	2.264
DQO (mgO ₂ .L ⁻¹)	5.414	3.336	5.970	4.010	161.863	158.937	105.984	90.800	316.880	234.360	154.640	140.160	118.525	110.550
Fosfato (mg PO ₄ ³⁻ .L ⁻¹)	36	32	16	16	152	148	129	114	763	712	819	588	1.847	1.705
Nitrogênio Kjeldahl Total (mgN.L ⁻¹)	667	537	620	584	4.855	4.581	2.585	2.277	6.649	4.262	3.491	3.565	3.485	3.192
Nitrogênio amoniacal (mgNH ₃ .L ⁻¹)					776	835	314	87	344	273	231	206	716	690
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	3.398	2.294	2.834	3.514	30.681	27.502	6.745	5.641	3.441	4.153	2.409	2.337	9.067	8.157
Cloretos (mgCl.L ⁻¹)	760	350	420	340	1.459	2.429	4.200	2.560	7.240	5.320	1.040	960	2.775	1.600
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	—	—	—	—	79.612	70.776	92.188	73.544	145.904	108.244	143.064	137.016	124.090	121.175
Sólidos totais fixos (mg.L ⁻¹)	—	—	—	—	11.257	10.084	48.256	32.716	63.520	45.580	86.952	85.648	70.255	68.805
Sólidos totais voláteis (mg.L ⁻¹)	—	—	—	—	68.355	60.692	43.932	40.828	82.384	62.664	51.368	51.368	53.835	52.370
Sólidos suspensos (mg.L ⁻¹)	—	—	—	—	76.295	66.615	74.500	71.860	116.747	82.740	104.453	88.060	124.538	100.600
Sólidos suspensos fixos (mg.L ⁻¹)	—	—	—	—	10.222	10.151	34.180	28.400	46.640	31.000	59.353	42.987	72.275	55.800
Sólidos suspensos voláteis (mg.L ⁻¹)	—	—	—	—	66.073	56.465	40.320	43.460	70.107	51.740	45.100	45.073	52.262	44.800
Sólidos sedimentáveis (mL.L ⁻¹)	—	—	—	—	140	120	250	250	350	300	340	335	740	700
Ovos de helmintos (Nº de ovos.L ⁻¹)	—	—	—	—	—	—	120	340	168	600	38	0	ND	ND
Zinco (mg Zn.L ⁻¹)	5,075	1,371	3,269	1,546	103,724	107,741	99,400	62,520	49,320	41,480	42,540	30,696	77,050	50,300
Chumbo (mg Pb.L ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	2,412	2,529	7,880	6,560	5,360	4,720	4,280	3,880	3,050	3,300
Cádmio (mg Cd.L ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	<0,0006	<0,0006	0,396	0,332	0,340	0,188	0,316	0,088	0,390	0,390
Níquel (mg. Ni.L ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	0,176	0,118	3,132	2,644	2,460	2,000	2,424	1,744	2,475	2,385
Ferro (mg Fe.L ⁻¹)	50,021	11,871	28,685	7,923	481,871	503,371	2013,6	1543,2	2347,2	1857,6	4254	3091	7415	6525
Manganês (mg.Mn.L ⁻¹)	0,207	0,036	0,154	ND	6,647	5,888	10,632	7,636	27,6	19,5	30,544	24,736	46,900	40,350
Cobre (mg. Cu.L ⁻¹)	2,671	0,807	1,408	0,746	79,988	72,082	24,368	19,592	15,048	12,352	15,672	13,508	13,230	13,535
Cromo (mg Cr.L ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	0,588	0,294	3,892	3,905	2,508	2,192	2,132	1,872	0,925	0,875
Coliformes totais (NMP/100ml)	5,4 x 10 ⁹	2,94 x 10 ⁹	4,1 x 10 ⁹	7,6 x 10 ⁹	9,0 x 10 ⁹	8,0 x 10 ⁹	4,0 x 10 ⁸	1,16 x 10 ⁷	1,6 x 10 ⁸	7,2x 10 ⁷	1,48x 10 ⁷	1,04 x 10 ⁷	3,7 x 10 ⁶	3,3 x 10 ⁶
Coliformes fecais (NMP/100ml)	7,0 x 10 ⁶	0,49 x 10 ⁶	3,1 x 10 ⁷	3,5 x 10 ⁷	1,0 x 10 ⁷	2,0 x 10 ⁷	3,2 x 10 ⁸	5,6 x 10 ⁶	4,0 x 10 ⁶	8,8 x 10 ⁵	3,6 x 10 ⁶	2,4 x 10 ⁶	1,5 x 10 ⁵	1,0 x 10 ⁵

ND - não detectável

Tabela 5.3 – Caracterização do lodo conforme descarregado pelos caminhões limpa-fossas

Parâmetros	Tanque séptico 1	Tanque séptico 3	Tanque séptico 4	Tanque séptico 5	Tanque séptico 6	Tanque séptico 7	Tanque séptico 8
pH	7,60	7,12	6,91	6,62	6,65	7,17	7,47
Alcalinidade (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)	553	184	599	386	656	1.221	1.037
DQO (mgO ₂ .L ⁻¹)	1.988	2.798	13.146	3.077	22.372	18.660	4.715
Fosfato (mg PO ₄ ³⁻ .L ⁻¹)	14	7	49	10	67	215	151
Nitrogênio kjeldahl total (mgN.L ⁻¹)	226	132	1.994	172	460	806	351
Nitrogênio amoniacal (mgNH ₃ .L ⁻¹)		131	261	87	121	214	183
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	260	375	2.041	239	2.257	1.329	183
Cloretos (mgCl.L ⁻¹)	53	152	520	188	508	250	73
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	2.440	2.435	10.020	1.700	12.437	21.420	2.561
Sólidos totais fixos (mg.L ⁻¹)	938	501	2.248	521	2.561	11.211	1.118
Sólidos totais voláteis (mg.L ⁻¹)	1.502	1.934	7.772	1.179	9.876	10.209	1.443
Sólidos suspensos (mg.L ⁻¹)	2.250	1.810	5.120	1.129	11.232	15.178	1.452
Sólidos suspensos fixos (mg.L ⁻¹)	540	440	880	281	2.272	8.042	558
Sólidos suspensos voláteis (mg.L ⁻¹)	1.710	1.370	4.240	848	8.960	7.137	895
Sólidos sedimentáveis (ml.L ⁻¹)	10	6	52	12	280	325	4
Ovos de helmintos (Nº de ovos.L ⁻¹)	—	—	—	12	268	400	ND
Zinco (mgZn.L ⁻¹)	2,400	5,040	77,800	2,580	9,340	10,350	0,870
Chumbo (mgPb.L ⁻¹)	0,210	1,520	2,280	0,660	2,150	2,870	0,380
Cádmio (mgCd.L ⁻¹)	ND	ND	<0,0005	0,036	0,023	0,053	0,035
Níquel (mgNi.L ⁻¹)	0,020	ND	0,120	0,116	0,190	0,444	0,113
Ferro (mgFe.L ⁻¹)	42,650	37,920	330,160	19,050	77,680	510,500	225,700
Manganês (mgMn.L ⁻¹)	0,450	0,260	3,840	0,168	1,221	3,543	0,602
Cobre (mgCu.L ⁻¹)	0,940	1,150	50,400	0,437	1,902	3,919	0,258
Cromo (mgCr.L ⁻¹)	0,230	0,110	0,080	0,064	0,222	0,462	0,015
Coliformes totais (NMP/100 ml)	—	1,4 x 10 ⁷	4,0 x 10 ⁸	1,9 x 10 ⁷	1,8 x 10 ⁸	4,0 x 10 ⁷	1,26 x 10 ⁷
Coliformes fecais (NMP/100 ml)	—	7,0 x 10 ⁵	2,0 x 10 ⁷	6,0 x 10 ⁶	1,0 x 10 ⁶	4,8 x 10 ⁶	2,3 x 10 ⁶

ND - não detectável

Comparando os resultados das Tabelas 5.2 e 5.3, observa-se que o lodo coletado *in situ* é mais concentrado que o lodo descarregado pelos caminhões, já que os operadores dos caminhões no ato do esgotamento do tanque séptico não conseguem coletar apenas o lodo, e sim, lodo acrescido de sobrenadante.

Analisando os dados da Tabelas 5.2, observa-se que resultados das variáveis avaliadas para amostras de lodo descarregado por caminhões mostram-se expressivamente inferiores as referências mencionadas em USEPA (2002), por exemplo, a concentração de sólidos suspensos em média de 5.453 mg.L^{-1} e 12.862 mg.L^{-1} , respectivamente. Por outro lado, para as amostras coletadas *in situ* verifica-se que o lodo nessas condições é muito mais concentrado, apresentando concentração de média de sólidos suspensos em torno de 99.000 mg.L^{-1} .

Ainda com base nos dados das Tabelas 5.2 e 5.3 constata-se a presença de ovos de helmintos em quase todos os tanques analisados. A Figura 5.2 destaca a presença de ovos de helmintos em dois tanques.

Figura 5.2 – Ovos de helmintos, tanque séptico 3 (a) e tanque séptico 4 (b)

Na Tabela 5.4 apresentam-se as médias dos teores de sólidos totais, fixos e voláteis. Verifica-se que, pouco mais que 50% do teor de sólidos para o lodo coletado *in situ* e cerca de 64% para o lodo que chega do caminhão, são orgânicos, demonstrando que esses resíduos

seriam facilmente degradáveis. A Resolução CONAMA 375/2006 comenta que para fins agrícolas, o lodo de esgoto ou produto derivado será considerado estável se a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais for inferior a 0,7. Portanto, para ambas as coletas o lodo de tanque séptico pode ser considerado estável.

Tabela 5.4 – Médias dos sólidos totais presentes no lodo coletado *in situ* e descartados por caminhões

Parâmetros	Média	
	Lodo coletado <i>in situ</i> *	Lodo descartados por caminhões
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	116.972	7.573
Sólidos Totais Fixos (mg.L ⁻¹)	56.048	2.728
Sólidos Totais Voláteis (mg.L ⁻¹)	59.975	4.845

*Amostras previamente submetidas à exposição ao ultrassom

Nas Figuras 5.3 a 5.11 encontram-se apresentados os resultados obtidos das análises estatística para os parâmetros da caracterização do lodo coletado *in situ* e lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas, na cidade de São Carlos-SP.

A Figuras 5.3 apresenta os resultados das análises de DQO. Nota-se que, para o lodo coletado *in situ*, a mediana da DQO era de 118.525 mg.L⁻¹, já para o lodo que chega em caminhões, a mediana era de 4.715 mg.L⁻¹.

Figura 5.3 – DQO do lodo coletado *in situ* (a) DQO do lodo dos caminhões limpa-fossas (b)

Na Figura 5.4 encontram-se os gráficos sintetizando os resultados obtidos nas determinações de pH. Para ambas as coletas os valores encontrados aproximam-se de 7,0.

Figura 5.4 – pH do lodo coletado *in situ* (a) pH do lodo dos caminhões limpa-fossas (b)

Os valores para alcalinidade encontram-se nos gráficos da Figura 5.5. Verifica-se que 90% dos dados apresentam valores inferiores $3.500 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ para o lodo coletado *in situ*, e $1.200 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ para o lodo que chega em caminhões.

Figura 5.5 – Alcalinidade do lodo coletado *in situ* (a) Alcalinidade do lodo dos caminhões limpa-fossas (b)

A Figura 5.6 apresenta os gráficos com os resultados das análises de óleos e graxas. Nota-se elevada concentração de óleos e graxas. Isto se explica pelo fato de os tanques

sépticos indevidamente receberem todos os despejos domésticos, inclusive os de cozinha. Entretanto, em alguns locais é feita a intercalação de um dispositivo de retenção de gordura (caixa de gordura) na canalização que conduz os despejos das cozinhas para a fossa séptica, mas, muitas vezes, quando é feita a limpeza dessa fossa, também faz-se a limpeza da caixa de gordura, ou simplesmente não se dispõe de caixas de gorduras.

Figura 5.6 – Óleos e graxas do lodo coletado in situ (a) Óleos e graxas do lodo dos caminhões limpafossas (b)

A resolução CONAMA nº 357, de 2005, recomenda para lançamento de efluente contendo óleos e graxas, os valores máximos permitidos de óleos minerais: até 20 mg.L⁻¹ e óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg.L⁻¹. Verifica-se, portanto, que os valores para ambas as coletas de lodo são muito superiores a estes valores.

Na Figura 5.7 constam os resultados obtidos nas determinações de sólidos totais, sólidos suspensos e sólidos sedimentáveis para ambas as coletas de lodo.

Figura 5.7 – Sólidos presentes no lodo in situ (a₁,a₂,a₃) e no descartado por caminhões limpa-fossas (b₁,b₂,b₃)

Observa-se que os valores, tanto dos sólidos totais quanto dos sólidos suspensos e sedimentáveis são maiores para o lodo coletado *in situ*. Neste caso, 50% dos resultados apresentam valores superiores a 124.090 mg.L⁻¹, para sólidos totais; 104.454 mg.L⁻¹ para sólidos suspensos e 340 mL.L⁻¹ para sólidos sedimentáveis. No caso do lodo que chega em

caminhões, esses valores são de 2.561 mg.L^{-1} para sólidos totais, 2.250 mg.L^{-1} para sólidos suspensos e 12 mL.L^{-1} para sólidos sedimentáveis.

Da mesma forma, nota-se que as concentrações de nitrogênio Kjeldahl total (Figura 5.8) para o lodo coletado *in situ* são maiores que os valores para o lodo que chega em caminhões. Importante observar na referida Figura que grande parte do nitrogênio é orgânico, pois a mediana para o nitrogênio Kjeldahl total é 3.485 mg.L^{-1} , para o lodo coletado *in situ*, e 350 mg.L^{-1} , para o lodo que chega em caminhões, e a mediana do nitrogênio amoniacal é 344 mg.L^{-1} , para o lodo coletado *in situ*, e 131 mg.L^{-1} , para o lodo que chega em caminhões.

Figura 5.8 – Nitrogênio presentes no lodo *in situ* (a1,a2) e no descartado por caminhões limpa-fossas (b1,b2)

Na Figura 5.9 estão apresentados os resultados do fósforo total para o lodo coletado *in situ* e para lodo descartados por caminhões limpa-fossas. A mediana para o fosfato total é de

152 mg.L⁻¹ e 41 mg .L⁻¹, respectivamente, para o lodo coletado *in situ* e para o lodo descartado por caminhões limpa-fossas.

Figura 5.9 – Fosfato total do lodo coletado *in situ* (a) Fosfato total do lodo descartado por caminhões limpa-fossas (b)

A mediana do cloreto para o lodo coletado *in situ* é 1.459 mg.L⁻¹ e para o lodo descartados por caminhões limpa-fossas é 250 mg.L⁻¹ (Figura 5.10).

Figura 5.10 – Cloretos do lodo coletado *in situ* (a) e cloretos do lodo descartado por caminhões limpa-fossas (b)

Por fim, nas Figuras 5.11 e 5.12 estão apresentados, respectivamente, os resultados da análise estatística para os metais Zinco, Cádmio, Ferro e Cobre; e para os metais Chumbo,

Níquel, Manganês e Cromo, para o lodo coletado *in situ* e para o lodo que chega em caminhões.

Nas Figuras 5.11 e 5.12 estão apresentados os resultados das determinações das concentrações de metais pesados, em função da concentração de sólidos totais (mg metal por kg ST), de forma a poder comparar com as referências da Resolução CONAMA, 2006, visando a possibilidade de disposição do lodo removido no pré-tratamento.

Analizando as Figuras 5.11 e 5.12 e comparando-as com os limites máximos de concentrações de lodo de esgoto e de produtos derivados, para o uso agrícola (CONAMA 375/2006), observa-se:

- Para o zinco: 100% e um pouco mais de 75% dos valores obtidos para o lodo coletado *in situ* e para o lodo que chega em caminhões, respectivamente, encontraram-se abaixo de $2.800 \text{ mg Zn.kg}^{-1}$ (limite CONAMA)
- No caso do Chumbo: 100% dos valores são inferiores a 300 mg Pb.L^{-1} , para o lodo coletado *in situ* e 75% para o lodo que chega em caminhões;
- Já para o Cádmio, para ambas as formas de coleta todos os valores se enquadraram abaixo do limite máximo de concentração estabelecido pela resolução CONAMA nº 357 de 2006, que é de 39 mg Cd.L^{-1} (limite CONAMA);
- Com relação ao Níquel, todos os valores obtidos, para ambas as formas de coletas, foram inferiores a 420 mg Ni.L^{-1} ;
- Para o Cobre, todos os valores foram inferiores a $1.500 \text{ mg Cu.kg}^{-1}$ para o lodo coletado *in situ*, e, pouco menos de 90% dos valores para lodo que chega em caminhões.
- Para o Cromo, todos os valores obtidos em ambas as formas de coleta foram inferiores ao limite máximo de concentração ($1000 \text{ mg Cr.L}^{-1}$).

Figura 5.11 – Análise estatística dos metais presentes no lodo *in situ* (a1, a2, a3, a4) e descarregados por caminhões limpa-fossas (b1, b2, b3, b4)

Figura 5.12 – Análise estatística dos metais presentes no lodo *in situ* (a₁, a₂, a₃, a₄) e descarregados por caminhões limpa-fossas (b₁, b₂, b₃, b₄)

De acordo com esses dados, nota-se para o lodo coletado *in situ* que todos os valores obtidos para as análises de metais foram inferiores ao limite máximo estabelecido pela CONAMA 375/2006. Para o lodo coletado pelo caminhão, alguns metais como zinco, chumbo e cobre tiveram valores acima do limite máximo estabelecido. A presença de metais na composição do lodo pode promover a reciclagem de nutrientes e melhoria da fertilidade do solo. Por outro lado, grandes concentrações de metais pode traduzir-se em prejuízos, devido ao acúmulo dos mesmos nas plantas.

Todavia, se a referência for estabelecida em relação aos sólidos totais (mg/kg), pode-se observar que a proporção de metal pesado nas amostras de lodo *in situ* é relativamente menor que nas descarregadas por caminhões, evidenciando, novamente, a maior concentração do lodo quando coletado diretamente nas unidades.

Na Tabela 5.5 estão apresentados os resultados da segunda campanha, realizada cerca de seis meses após a primeira campanha. Nota-se, que a maioria dos valores obtidos na primeira campanha foram superiores aos da segunda, devido, provavelmente, ao maior tempo de acúmulo de lodo, que chegou até sete anos. Por sua vez, nas Figuras 5.13, 5.14 e 5.15 estão apresentados os resultados da análise estatística para determinações de DQO, óleos e graxas e sólidos totais, respectivamente, das duas campanhas.

Tabela 5.5 – Resultados da 1ª e 2ª campanhas de dois tanques sépticos

Parâmetros	Tanque séptico 1		Tanque séptico 5		Tanque séptico 7		Tanque séptico 8	
	1ª campanha	2ª campanha	1ª campanha	2ª campanha	1ª campanha	2ª campanha	1ª campanha	2ª campanha
pH	7,6	7,1	6,62	7,35	7,17	7,15	7,47	6,98
Alcalinidade (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)	553	361	386	461	1.221	1.041	1.037	355
DQO (mgO ₂ .L ⁻¹)	1.988	1.286	3.077	809	18.660	7.668	4.715	3.718
Fosfato (mgPO ₄ ³⁻ .L ⁻¹)	14	7	10	17	215	136	151	37
Nitrogênio kjeldahl total (mgN.L ⁻¹)	226	84	172	54	806	345	351	195
Nitrogênio amoniacal (mgNH ₃ .L ⁻¹)	131	40	87	51	214	187	250	75
Cloretos (mgCl.L ⁻¹)	53	31	188	26	250	108	280	73
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	260	223	239	155	1.329	325	183	108
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	2.440	1.541	1.700	1.686	21.420	6.454	2.561	2.359
Sólidos totais fixos (mg.L ⁻¹)	938	604	521	1.200	11.211	3.227	1.118	85
Sólidos totais voláteis (mg.L ⁻¹)	1.502	937	1.179	486	10.209	3.227	1.443	2.274
Sólidos suspensos (mg.L ⁻¹)	2.250	1.272	1.129	1.180	15.178	5.605	1.452	1.055
Sólidos suspensos fixos (mg.L ⁻¹)	540	337	281	868	8.042	2.822	558	515
Sólidos suspensos voláteis (mg.L ⁻¹)	1.710	935	848	312	7.137	2.783	895	540
Sólidos sedimentáveis (ml.L ⁻¹)	10	16	12	2	325	160	4	10
Zinco (mgZn.L ⁻¹)	2,4	1,016	2,58	0,752	10,350	5,926	0,87	1,985
Chumbo (mgPb.L ⁻¹)	0,21	0,56	0,66	0,38	2,870	0,69	0,38	0,62
Cádmio (mgCd.L ⁻¹)	ND	0,054	0,036	0,044	0,053	0,064	0,035	0,068
Níquel (mgNi.L ⁻¹)	0,02	0,175	0,116	0,084	0,444	0,267	0,113	0,106
Ferro (mgFe.L ⁻¹)	42,65	23,48	19,05	31,48	510,5	352,6	225,700	70,0
Manganês (mgMn.L ⁻¹)	0,45	0,5424	0,168	0,329	3,543	1,322	0,602	0,467
Cobre (mgCu.L ⁻¹)	0,94	0,491	0,437	0,284	3,919	1,516	0,258	0,34
Cromo (mgCr.L ⁻¹)	0,23	0,135	0,064	0,048	0,462	0,135	0,015	0,041
Coliformes totais (NMP/100 ml)		2,5 x 10 ⁴	1,9 x 10 ⁷	5,3 x 10 ⁶	4,0 x 10 ⁷	1,9 x 10 ⁶	1,26 x 10 ⁷	1,4 x 10 ⁸
Coliformes fecais (NMP/100 ml)		9,0 x 10 ⁵	6,0 x 10 ⁶	1,2 x 10 ⁶	4,8 x 10 ⁶	5,5 x 10 ⁴	2,3 x 10 ⁶	2,0 x 10 ⁵

ND – não detectável

Figura 5.13 – DQO do lodo - primeira campanha (a) DQO do lodo – segunda campanha(b)

Verifica-se na Figura 5.13 que para o lodo da primeira campanha, a mediana da DQO foi de 3.896 mg.L⁻¹, já para o lodo da segunda campanha, a mediana foi de 2.502 mg.L⁻¹. Houve uma diminuição de 35,8% na concentração de mediana de DQO, entre as duas campanhas.

Figura 5.14 – Óleos e graxas do lodo - primeira campanha (a) Óleos e graxas do lodo – segunda campanha (b)

Nota-se na Figura 5.14 que a diminuição na concentração da mediana de óleos e graxas foi de 24,3% entre as duas campanhas (249 mg.L⁻¹ na primeira campanha e 189 mg.L⁻¹ na segunda campanha).

Figura 5.15 – Sólidos totais do lodo - primeira campanha (a) Sólidos totais do lodo – segunda campanha(b)

Verifica-se na Figura 5.15 que os valores da mediana de sólidos totais são 2.500 mg.L⁻¹ e 2.022 mg.L⁻¹, respectivamente na primeira e segunda campanha (queda de 19,1% entre as duas campanhas).

Diante dos resultados apresentados nas duas campanhas, nota-se a importância de se realizar o esgotamento dos tanques sépticos dentro do período estabelecido nos seus projetos, conforme preconizado pela ABNT.

5.2. Caracterização do lodo da Central de Recebimento de Resíduo (SANASA-Campinas/SP)

5.2.1. Lodo de fossas e tanques sépticos

Na Tabela 5.6, estão apresentados os dados fornecidos pela SANASA, da caracterização de amostras de descarte de caminhões limpa-fossas na Central de Recebimento de Resíduo, em coletas aleatórias.

Tabela 5.6 – Dados da caracterização de amostras aleatórias de descartes de caminhões limpa-fossas

Discriminação	Amostras														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Data	28/4/2008	17/6/2008	14/7/2008	23/7/2008	12/8/2008	13/8/2008	25/8/2008	26/8/2008	9/8/2008	22/9/2008	23/9/2008	13/10/2008	28/10/2008	12/11/2008	14/11/2008
pH	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,9	7,5	7,3		7,0	7,0	6,8	7,1	7,0	7,0
DBO (mgO ₂ .L ⁻¹)	1.320	1.912	798	4.650	548	6.742	1.604		848	408	78	418	76	1.838	653
DQO (mgO ₂ .L ⁻¹)	3.283	3.791	1.574	9.600	1.140	14.020	3.285	2.244	1.770	856	162	860	364	2.840	1.220
Nitrogênio kjeldahl total (mgN.L ⁻¹)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	84	76	–	–
Nitrogênio amoniacal (mgNH ₃ .L ⁻¹)	155	144	88		–	100	168	–	24	22	16	–	–	172	–
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	373	390	390	158	–	–	–	–	–	–	–	–	220	–	–
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	6.800	4.106	2.194	19.468	–	22.850	1.954	–	3.256	924	724	1.060	812	5.012	1.422
Sólidos totais fixos (mg.L ⁻¹)	2.612	958	990	1.590	–	1.698	950	–	1.360	498	298	512	598	1.658	582
Sólidos totais voláteis (mg.L ⁻¹)	4.188	3.148	1.204	17.876	–	21.152	1.004	–	1.896	426	426	548	214	3.356	860
Sólidos dissolvidos (mg.L ⁻¹)	560	2.926	809	616	–	2.884	1.054	–	1.433	624	524	580	568	1.407	446
Sólidos suspensos (mg.L ⁻¹)	6.240	1.180	1.385	18.850	–	19.986	900	–	823	300	200	480	244	3.605	976
Sólidos suspensos fixos (mg.L ⁻¹)	2.390	280	540	510	–	994	220	–	704	116	84	112	196	1.040	224
Sólidos suspensos voláteis (mg.L ⁻¹)	3.850	900	845	18.340	–	18.992	680	–	119	184	116	368	48	2.565	752
Sólidos sedimentáveis (ml.L ⁻¹)	180	25	25	220	–	450	16	–	33	–	2	4	1	48	8

Fonte: SANASA (2009)

Por sua vez, na Tabela 5.7 são apresentados os resultados da caracterização efetuada na presente pesquisa, mediante campanha de coleta de lodo na referida central da SANASA, durante parte de um dia de rotina de operação da unidade. Foram coletadas 19 amostras de lodo de tanques sépticos, com as seguintes origens:

- Amostra 1: Creche
- Amostra 2: Residencial (Jardim São Conrado)
- Amostra 3: Residencial (Jardim Mirassol)
- Amostra 4: Faculdade Santa Cândida
- Amostra 5: Estabelecimento Comercial (Sanitários)
- Amostra 6: Obra (Construção: sanitário provisório – Bairro Santa Genel)
- Amostra 7: Residencial (Bairro São Luiz)
- Amostra 8: Residencial (Bairro Santa Cândida)
- Amostra 9: Residencial (Bairro Satélite III)
- Amostra 10: Residencial (Bairro Satélite III)
- Amostra 11: Residencial (Bairro Monte Cristo)
- Amostra 12: Condomínio residencial (Cidade Universitária)
- Amostra 13: Colégio Notre Dame (Bairro Satélite III)
- Amostra 14: Escola 2º grau
- Amostra 15: Escola 2º grau
- Amostra 16: Residencial (Bairro Gramado)
- Amostra 17: Residencial (Bairro Satélite III)
- Amostra 18: Residencial (Bairro Satélite I)
- Amostra 19: Residencial (Parque Universitário)

É interessante destacar que nesta Central, diariamente, é descartado o lodo de tanques sépticos de cerca de até 100 caminhões, e, também, cerca de $280 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ de percolado de aterros sanitários.

Os resultados apresentados na Tabela 5.7 permitem comprovar a constatação feita em campo pelo operador da coleta, em que sempre que o pH apresentava-se menor que 6,5, o aspecto visual do lodo indicava a presença nítida de óleos e graxas. As análises posteriores comprovaram tal fato, mostrando concentrações desse material de até $14.531 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Tabela 5.7 – Caracterização do lodo conforme descarregado pelos caminhões limpa-fossas em Campinas/SP

Parâmetros	AMOSTRAS																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Temperatura (°C)	27,0	26,5	25,5	26,5	26,0	26,0	28,5	27,5	28,0	28,5	27,0	26,0	27,0	27,0	27,0	24,5	25,0	24,0	23,0
pH	7,5	7,0	7,0	6,0	7,0	6,0	7,0	6,0	7,0	7,0	7,0	6,5	7,5	7,0	7,0	6,5	7,0	7,5	6,5
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	520	307	420	502	721	2.082	614	320	301	878	652	654	359	397	481	219	508	441	293
Cloretos (mg Cl ⁻ .L ⁻¹)	179	155	198	300	163	183	140	98	90	188	290	138	60	65	80	48	100	90	55
DBO (mg O ₂ .L ⁻¹)	267	867	750	10.728	386	7.413	582	3.898	347	816	926	7.153	184	172	457	234	385	563	906
DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	578	2.810	1.752	19.520	698	22.445	982	8.040	598	1.228	1.792	21.440	486	466	13.360	688	786	908	2.184
Fosfato Total (mg PO ₄ ³⁻ .L ⁻¹)	29	34	29	39	28	148	34	63	17	45	42	73	21	25	44	23	62	47	47
Nitrogênio Total Kjeldhal (mg N.L ⁻¹)	158	144	131	382	171	763	163	297	84	253	218	396	78	90	135	76	142	132	130
Óleos e Graxas (mg.L ⁻¹)	13	285	51	14.531	127	1.285	137	823	115	121	153	2.803	7	55	35	105	15	123	157
Sólidos Sedimentáveis (mL.L ⁻¹)	5	19	9	168	4	250	4	136	4	20	24	200	4	4	10	5	4	6	24
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	1.228	2.747	1.408	27.932	967	23.016	1.070	5.351	927	1.905	1.973	14.926	695	862	1.519	1.381	1.062	1.346	2.027
Sólidos Totais Fixos (mg.L ⁻¹)	804	1.507	754	1.361	385	13.153	444	636	451	1.115	971	3.280	244	465	918	571	555	711	999
Sólidos Totais Voláteis (mg.L ⁻¹)	424	1.240	654	26.571	582	9.863	626	4.715	476	790	1.002	11.646	451	397	601	810	507	635	1.028
Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)	732	2.435	785	12.047	425	19.280	488	4.365	505	1.495	1.333	13.778	270	448	1.100	1.165	723	815	1.673
Sólidos Suspensos Fixos (mg.L ⁻¹)	553	1.345	305	1.015	118	10.653	130	243	225	738	503	3.160	98	203	603	540	378	383	808
Sólidos Suspensos Voláteis (mg.L ⁻¹)	179	1.090	480	11.032	307	8.627	358	4.122	280	757	830	10.618	172	245	497	625	345	432	865
Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L ⁻¹)	496	312	623	15.885	542	3.736	582	986	422	410	640	1.148	425	414	419	216	339	531	354
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg.L ⁻¹)	251	162	449	346	267	2.500	314	393	226	377	468	120	146	262	315	31	177	328	191
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg.L ⁻¹)	245	150	174	15.539	275	1.236	268	593	196	33	172	1.028	279	152	104	185	162	203	163
Zinco (mg Zn.L ⁻¹)	0,197	1,187	0,575	1,356	0,399	4,62	0,27	2,531	0,334	0,398	0,723	7,06	0,336	0,364	2,023	0,424	0,293	0,402	1,56
Chumbo (mg Pb.L ⁻¹)	0,4	0,51	0,34	0,58	0,23	0,75	0,24	0,39	0,23	0,27	0,28	0,78	0,27	0,43	0,44	0,41	0,38	0,4	0,63
Cádmio (mg Cd.L ⁻¹)	0,062	0,073	0,058	0,06	0,043	0,095	0,041	0,045	0,033	0,043	0,042	0,06	0,033	0,035	0,043	0,041	0,043	0,042	0,043
Níquel (mg Ni.L ⁻¹)	0,148	0,186	0,151	0,321	0,165	0,484	0,109	0,193	0,1	0,123	0,11	0,395	0,144	0,136	0,183	0,144	0,15	0,142	0,176
Ferro Total (mg Fe.L ⁻¹)	9,86	43,16	18,99	48,27	9,6	270,8	5,6	29,3	11,6	28,75	11,28	137,9	4,774	15,07	43,8	18,94	13,54	15,24	36,96
Manganês Total (mg Mn.L ⁻¹)	0,18	0,318	0,156	0,624	0,113	5,31	0,137	0,349	0,18	0,408	0,505	1,632	0,08	0,115	0,207	0,155	0,183	0,172	0,272
Cobre (mg Cu.L ⁻¹)	0,057	0,265	0,188	6,08	0,051	1,632	0,057	0,788	0,054	0,159	0,088	4,76	0,298	0,138	0,19	0,124	0,08	0,07	0,58
Cromo Total (mg Cr.L ⁻¹)	0,134	0,286	0,148	0,355	0,221	0,412	0,159	0,23	0,144	0,13	0,159	0,412	0,124	0,123	0,176	0,125	0,139	0,114	0,174
Prata (mg Ag.L ⁻¹)	0,004	0,009	0,007	0,047	0,002	0,008	0,015	0,018	0,006	0,02	0,027	0,188	0,005	0,011	0,012	0,007	0,006	0,004	0,008

Nas Figuras de 5.12 a 5.16 são apresentados os gráficos *box plot*, sintetizando os resultados obtidos das análises realizadas com lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas, na cidade de Campinas-SP. Vale ressaltar que os dados da caracterização do lodo de Campinas-SP são de origem não conhecidas. Portanto não se conhece a origem do lodo (fossa ou tanque séptico).

Na Figura 5.16 são apresentados os resultados obtidos nas determinações de pH e de alcalinidade. De acordo com essa Figura, nota-se pequena variação do pH (mesmo valor para mediana, 1º e 3º quartil). E, que a mediana da alcalinidade foi 461 mg.L⁻¹.

Figura 5.16 – pH (a) Alcalinidade (b) do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas na cidade de Campinas-SP

Na Figura 5.17 encontram-se os resultados das análises de DQO e DBO. Nota-se que, a mediana da DQO e DBO foram respectivamente, 1.663 mg.L⁻¹ e 702 mg.L⁻¹. A relação entre a mediana da DQO e a mediana da DBO é 2,37, o que indica que há elevado proporção de material inerte no lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas.

Figura 5.17 – DQO (a) DBO (b) do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas na cidade de Campinas-SP

Na Figura 5.18 constam os resultados obtidos das determinações de nitrogênio Kjeldahl total e nitrogênio amoniacal. Observa-se que a mediana do nitrogênio Kjeldahl total e do nitrogênio amoniacal foram de 138 mg.L⁻¹ e 95 mg.L⁻¹, respectivamente. Logo, o nitrogênio amoniacal (68,8%) representa a maior parcela do nitrogênio Kjeldahl total, demonstrando que houve boa amonificação da matéria orgânica.

Figura 5.18 – Nitrogênio Kjeldahl total (a) Nitrogênio amoniacal (b) do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas na cidade de Campinas-SP

Na Figura 5.19 estão apresentados os gráficos com os resultados das análises de óleos e graxas e cloretos. Verifica-se que 90% dos valores de óleos e graxas são inferiores a 390 mg.L⁻¹, e 90% dos valores de cloretos são inferiores a 216 mg.L⁻¹.

Figura 5.19 – Óleos e graxas (a) Clorets (b) do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas na cidade de Campinas-SP

Na Figura 5.20 encontram-se os resultados das análises de fosfato total e sólidos sedimentáveis.

Figura 5.20 – Fosfato total (a) Sólidos sedimentáveis (b) do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas na cidade de Campinas-SP

Na Figura 5.21 são apresentados os gráficos contendo os resultados obtidos nas determinações de sólidos totais, sólidos totais voláteis, sólidos suspensos e sólidos suspensos voláteis. Os sólidos totais e suspensos apresentaram valores elevados com valor mediano de 1.712 mg.L⁻¹ e 1.000 mg.L⁻¹, respectivamente. Destaca-se o percentual da fração orgânica, 42% de sólidos totais voláteis e 49% de sólidos suspensos voláteis, demonstrando a possibilidade de tratamento biológico complementar para o lodo removido de fossas e de tanques sépticos.

Figura 5.21 – Sólidos totais (a), sólidos totais voláteis (b), sólidos suspensos (c) sólidos suspensos voláteis (d) do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas na cidade de Campinas-SP

Por fim, na Figuras 5.22 estão apresentados os resultados da análise estatística dos metais (Zinco, Cádmio, Ferro, Cobre; Chumbo, Níquel, Manganês e Cromo) do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas.

Figura 5.22 – Metais do lodo proveniente dos caminhões limpa-fossas na cidade de Campinas-SP: Zinco (a), Chumbo (b), Cádmio (c), Níquel (d), Ferro (e), Manganês (f), Cobre(g), Cromo (h) Prata (i)

Analisando a Figuras 5.22 e comparando-a com os limites máximos de concentrações de lodo de esgoto e de produtos derivados para o uso agrícola (CONAMA 375/2006), observa-se que:

- Para o zinco, 100% dos valores obtidos encontraram-se abaixo de 2.800 mg Zn.kg⁻¹ (limite CONAMA);
- No caso do Chumbo e o Cádmio, 75% dos valores foram inferiores aos limites máximo de concentrações recomendados pela resolução CONAMA 375/2006, que são 300 mg Pb.L⁻¹ e 39 mg Cd.L⁻¹, respectivamente;

- Com relação ao Níquel, todos os valores obtidos foram inferiores ao limite máximo de concentração recomendada pela resolução CONAMA 375/2006 (420 mg Ni.L⁻¹);
- Para o Cobre, todos os valores foram inferiores a 1.500 mg Cu.kg⁻¹ (limite CONAMA), bem como para o Cromo todos os valores foram inferiores, 1000mg Cr.L⁻¹ (limite CONAMA).

5.2.2. Caracterização de percolado de aterro sanitário e de lodo descartado de reator UASB

A Central de Recebimento de Resíduos na qual foram obtidas algumas amostras para a presente pesquisa recebe resíduos não somente de lodo de tanques sépticos, mas também percolado de aterros sanitários e lodo de reatores anaeróbios. Diariamente, são descartados em média 280 m³ de percolado de dois aterros sanitários e pequena parcela das descargas advém de lodo gerado em uma ETE de pequeno porte, também operada pela SANASA.

Assim, apesar de não fazer parte do escopo desse trabalho, torna-se interessante apresentar os resultados da caracterização desses despejos, tendo em vista que algumas coletas foram efetuadas na ocasião de alguns descartes.

Na Tabela 5.8 constam os resultados obtidos da caracterização do percolado de aterro sanitário (amostras 1, 2 e 3) e de lodo descartado de reator UASB (amostras 4 e 5).

Tabela 5.8 – Caracterização de percolado de aterro sanitário e de lodo descartado de UASB conforme descarregado pelos caminhões limpa-fossas na Central de Recebimento de Resíduos em Campinas-SP

Parâmetros	AMOSTRAS				
	Percolado de aterro sanitário			Lodo de UASB	
	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	28,0	27,5	31,0	27,5	25,0
pH	8,5	8,5	8,5	7,5	7,5
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	2.383	7.566	6.395	980	1.001
Cloretos (mg Cl ⁻ .L ⁻¹)	1.375	2.475	2.250	2.025	88
DBO (mg O ₂ .L ⁻¹)	1.302	1.048	1.192	7.526	7.321
DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	4.160	1.888	1.930	21.440	16.640
Fosfato Total (mg PO ₄ ³⁻ .L ⁻¹)	54	23	26	161	158
Nitrogênio Total Kjeldhal (mg N.L ⁻¹)	472	1.141	1.220	608	781
Óleos e Graxas (mg.L ⁻¹)	67	33	55	989	2.313
Sólidos Sedimentáveis (mL.L ⁻¹ .H ⁻¹)	10	0	0,1	950	600
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	5.232	7.179	7.279	14.268	16.518
Sólidos Totais Fixos (mg.L ⁻¹)	3.412	6.097	6.084	6.082	6.295
Sólidos Totais Voláteis (mg.L ⁻¹)	1.820	1.082	1.195	8.186	10.223
Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)	2.347	98	108	13.490	15.293
Sólidos Suspensos Fixos (mg.L ⁻¹)	1.153	21	32	5.435	6.028
Sólidos Suspensos Voláteis (mg.L ⁻¹)	1.194	77	76	8.055	9.265
Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L ⁻¹)	2.885	7.081	7.171	778	1.225
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg.L ⁻¹)	2.259	6.076	6.052	647	267
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg.L ⁻¹)	626	1.005	1.119	131	958
Zinco (mg Zn.L ⁻¹)	1,191	0,166	0,297	25,56	25,32
Chumbo (mg Pb.L ⁻¹)	0,54	0,49	0,52	1,54	1,55
Cádmio (mg Cd.L ⁻¹)	0,065	0,078	0,084	0,249	0,231
Níquel (mg Ni.L ⁻¹)	0,337	0,348	0,334	9,29	0,807
Ferro Total (mg Fe.L ⁻¹)	300,7	7,45	6,44	288,5	282,8
Manganês Total (mg Mn.L ⁻¹)	4,87	0,432	0,383	2,37	2,43
Cobre (mg Cu.L ⁻¹)	0,34	0,078	0,336	10,35	9,71
Cromo Total (mg Cr.L ⁻¹)	0,707	0,101	0,078	2,021	1,855
Prata (mg Ag.L ⁻¹)	0,017	0,013	0,011	0,291	0,299

Tanto o lodo advindo de reator UASB, como o percolado de aterros têm características bastante distintas daquelas do lodo de tanques sépticos. No caso de lodo de tanques sépticos tem-se sólidos suspensos em elevada quantidade, enquanto que no percolado de aterros predominam os sólidos dissolvidos e presença de material orgânico de degradação mais difícil de ser realizada em reatores biológicos.

5.3. Comparação entre os dados da cidade de São Carlos-SP e Campinas-SP

Em São Carlos-SP, foi feita a caracterização do lodo de tanques sépticos de sistemas individuais pré-definidos e de procedência conhecida. Já na cidade de Campinas-SP, a caracterização do lodo de tanques sépticos foi realizada com base em coletas aleatórias, durante a descarga de alguns caminhões limpa-fossas na Central de Recebimento de Resíduos. Os resultados da análise estatística para a caracterização físico-química dos lodos de tanques sépticos das cidades de São Carlos-SP e de Campinas-SP estão apresentados na Tabela 5.9.

Para melhor comparação dos resultados da caracterização entre os sistemas individuais pré-definidos e de procedência de São Carlos e de coletas aleatórias de Campinas, foram elaborados gráficos (Figuras 5.23 a 5.25) destacando os valores das medianas obtidas. São apresentadas para discussão as variações dos seguintes parâmetros: DQO, óleos e graxas e série de sólidos.

Tabela 5.9 – Estatística descritiva dos resultados físico-químicos da caracterização do lodo de tanques sépticos de São Carlos-SP e da caracterização aleatória de tanques sépticos de Campinas-SP

Parâmetros	São Carlos-SP						Campinas-SP					
	Nº	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	DP	Nº	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	DP
pH	7,0	6,6	7,6	7,0	7,1	0,3	33,0	6,0	7,5	6,9	7,0	0,4
Alcalinidade (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	7,0	183,6	1.221,0	662,2	599,2	359,1	18,0	219,0	878,0	477,1	461,0	219,0
DQO (mg.de O ₂ .L ⁻¹)	7,0	1.987,5	22.372,0	9.536,4	4.715,0	8.449,8	34,0	162,0	22.445,0	4.346,2	1.663,0	6.320,1
Fosfato total (mg PO ₄ ⁻³ .L ⁻¹)	7,0	6,7	214,6	73,2	49,0	80,3	18,0	17,0	73,0	39,0	36,5	15,5
Nitrogênio Kjeldalh total (mg N.L ⁻¹)	7,0	131,8	1.993,7	591,3	350,5	659,4	20,0	76,0	396,0	167,0	138,5	96,2
Cloretos (mgCl ⁻ .L ⁻¹)	7,0	53,0	520,0	249,1	187,5	192,8	19,0	48,0	300,0	137,9	138,0	73,6
Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	7,0	239,0	2.257,0	1.088,4	1.118,0	841,5	22,0	7,0	1.285,0	233,5	132,0	298,5
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	7,0	1.700,0	21.420,0	7.573,3	2.561,0	7.458,2	30,0	695,0	27.932,0	5.216,3	1.712,0	7.802,9
Sólidos Totais Fixos (mg.L ⁻¹)	7,0	1.700,0	21.420,0	7.573,3	2.561,0	7.458,2	28,0	244,0	2.612,0	941,9	779,0	532,4
Sólidos Totais Voláteis (mg.L ⁻¹)	7,0	1.179,0	10.209,0	4.845,0	1.934,0	4.229,1	28,0	214,0	17.876,0	2.406,3	722,0	4.103,3
Sólidos Suspensos (mg.L ⁻¹)	7,0	1.128,7	15.178,3	5.453,0	2.250,0	5.572,5	30,0	200,0	19.986,0	3.815,0	1.000,0	6.177,3
Sólidos Suspensos Fixos (mg.L ⁻¹)	7,0	281,2	8.041,7	1.858,9	557,5	2.807,4	29,0	98,0	3.160,0	657,8	383,0	700,7
Sólidos Suspensos Voláteis (mg.L ⁻¹)	7,0	847,5	8.960,0	3.594,2	1.710,0	3.358,1	28,0	48,0	11.032,0	1.749,0	488,5	3.115,2
Sólidos sedimentáveis (ml.L ⁻¹)	7,0	4,0	325,0	98,4	12,0	141,0	30,0	1,0	250,0	48,7	13,0	75,7
Zinco (mg Zn.kg ⁻¹)	7,0	297,3	1.302,9	727,5	620,9	447,8	18,0	48,5	769,6	353,0	363,4	159,4
Chumbo (mg Pb.kg ⁻¹)	7,0	24,6	85,5	41,4	30,3	25,0	19,0	20,8	498,8	229,7	241,5	128,9
Cádmio (mg Cd.kg ⁻¹)	7,0	0,0	4,3	2,4	2,3	1,6	19,0	2,1	50,5	28,3	29,7	15,2
Níquel (mg Ni.kg ⁻¹)	7,0	2,2	34,0	18,0	16,9	11,3	19,0	11,5	207,2	95,5	104,3	52,8
Ferro (mg Fe.kg ⁻¹)	7,0	6.052,8	59.755,0	26.694,5	21.842,3	20.398,4	19,0	1.728,1	28.834,8	11.743,5	11.765,7	6.093,0
Manganês (mg Mn.kg ⁻¹)	7,0	83,5	115,3	189,2	213,5	378,0	19,0	22,3	256,0	139,0	128,0	55,4
Cobre (mg Cu.kg ⁻¹)	7,0	103,1	1.004,7	317,7	109,5	390,1	19,0	44,6	428,8	133,7	89,8	107,2
Cromo (mg Cr.kg ⁻¹)	7,0	7,4	42,2	17,8	14,9	14,3	19,0	12,7	228,5	101,6	104,1	55,8

Figura 5.23 – Concentrações medianas de DQO da caracterização do lodo de tanques sépticos de São Carlos-SP e da caracterização aleatória de fossas e tanques sépticos de Campinas-SP

Figura 5.243 – Concentrações medianas de óleos e graxas da caracterização do lodo de tanques sépticos de São Carlos-SP e da caracterização aleatória de fossas e tanques sépticos de Campinas-SP

Figura 5.25 – Concentrações medianas da série de sólidos da caracterização do lodo de tanques sépticos de São Carlos-SP e da caracterização aleatória de fossas e tanques sépticos de Campinas-SP

Analisando as Figuras 5.23; 5.24 e 5.25, bem como a Tabela 5.9, fica evidente que os valores pertinentes à caracterização de lodo de sistemas individuais pré-definidos, de procedência conhecida (São Carlos-SP), são superiores aos encontrados na coleta aleatória durante a descarga do lodo na Central de Recebimento de Resíduos (Campinas-SP).

Uma das hipóteses para justificar essas diferenças recaí sobre o fato de que em Campinas-SP há maior controle, por parte da SANASA, das empresas que efetuam o serviço de esgotamento, garantindo que os esgotamentos das unidades sejam mais frequentes. Além disso, é uma exigência local a instalação de um dispositivo de retenção de gordura (caixa de gordura) a montante dos tanques sépticos, o que contribui para menor teor de óleos e graxas encontrado nessas amostras.

5.4. Ensaios da unidade piloto

Nas Tabelas 5.10 a 5.13 estão apresentados os resultados dos ensaios realizados com o sistema piloto de flotação. Nessas Tabelas, encontram-se os resultados do lodo afluente, e do efluente do sistema. Também apresentam-se os resultados pertinentes ao lodo flotado e a eficiência do sistema para as taxas de aplicação superficial selecionadas.

Tabela 5.10 – Resultados do ensaio para taxa de aplicação superficial de $80 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$

Parâmetros	Entrada	Saída	Flotado	Eficiência de remoção (%)
N- total ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	85	67	1892	21,6
Sólidos totais ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.596	877	61.830	45,1
Sólidos totais fixos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	649	383	24.805	41,0
Sólidos totais voláteis ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	947	494	37.025	47,8
Sólidos suspensos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.123	502	60.203	55,2
Sólidos suspensos fixos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	430	147	24.455	65,7
Sólidos suspensos voláteis ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	693	355	35.748	48,7
Óleos e graxas ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	193	87	7.243	54,9
DQO ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.400	606	71.650	56,7
Fosfato ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	7	6	273	14,2
Zn ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1,402	0,54	64,5	61,5
Pb ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,58	0,42	5,75	27,6
Cd ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,056	0,044	0,178	21,4
Ni ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,166	0,134	1,4	19,3
Fe ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	41,2	14,96	1632	63,7
Mn ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,533	0,325	24,55	39,0
Cu ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,574	0,213	24,55	62,9
Cr ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,154	0,123	1,361	20,1
Coliformes Totais (NMP/100 ml)	$1,82 \times 10^5$	$1,32 \times 10^5$	$5,6 \times 10^6$	< 1 log
Coliformes Fecais (NMP/100 ml)	$2,2 \times 10^4$	$1,2 \times 10^4$	$2,0 \times 10^6$	< 1 log

Tabela 5.11 – Resultados do ensaio para taxa de aplicação superficial de $110 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$

Parâmetros	Entrada	Saída	Flotado	Eficiência de remoção (%)
N- total ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	506	261	833	48,5
Sólidos totais ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	7.535	1.372	17.201	81,8
Sólidos totais fixos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	3.138	625	6.763	80,1
Sólidos totais voláteis ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	4.397	747	10.438	83,0
Sólidos suspensos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	6.650	550	16.605	91,7
Sólidos suspensos fixos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	2.193	248	6.655	88,7
Sólidos suspensos voláteis ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	4.458	303	9.950	93,2
Óleos e graxas ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	581	105	2.101	81,9
DQO ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	7.250	778	19.233	89,3
Fosfato ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	74	51	153	31,3
Zn ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	8,932	3,265	27,73	63,4
Pb ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,4	0,15	0,85	62,5
Cd ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,034	0,024	0,044	29,4
Ni ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,211	0,073	0,388	65,4
Fe ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	225	25,1	599	88,8
Mn ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1,77	0,231	10	86,9
Cu ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1,389	0,159	9,88	88,6
Cr ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,148	0,03	0,365	79,7
Coliformes Totais (NMP/100 ml)	$1,64 \times 10^5$	$4,2 \times 10^4$	$1,6 \times 10^6$	1 log
Coliformes Fecais (NMP/100 ml)	$1,4 \times 10^4$	$1,0 \times 10^3$	$7,0 \times 10^5$	1 log

Tabela 5.12 – Resultados do ensaio para taxa de aplicação superficial de $140 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$

Parâmetros	Entrada	Saída	Flotado	Eficiência de remoção (%)
N- total ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	439	287	1.707	34,6
Sólidos totais ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	6.346	2.899	41.939	54,3
Sólidos totais fixos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	2.701	1.240	15.088	54,1
Sólidos totais voláteis ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	3.645	1.659	26.851	54,5
Sólidos suspensos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	5.612	2.318	38.588	58,7
Sólidos suspensos fixos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	2.270	915	13.625	59,7
Sólidos suspensos voláteis ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	3.342	1.403	24.963	58,0
Óleos e graxas ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	737	201	5.173	72,7
DQO ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	7.000	4.076	56.230	41,8
Fosfato ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	108	87	440	19,5
Zn ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	7,433	2,977	34,860	59,9
Pb ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,620	0,400	3,950	35,5
Cd ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,043	0,026	0,102	39,5
Ni ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,158	0,085	0,773	46,2
Fe ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	112,500	55,260	890,800	50,9
Mn ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1,317	0,621	9,070	52,8
Cu ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1,416	0,609	11,440	57,0
Cr ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,245	0,057	1,315	76,7
Ovos de helmintos ($\text{N}^\circ \text{ de ovos} \cdot \text{L}^{-1}$)	ND	ND	ND	–

ND: não detectado

Tabela 5.13 – Resultados do ensaio para taxa de aplicação superficial de $200 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$

Parâmetros	Entrada	Saída	Flotado	Eficiência de remoção (%)
N- total ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	70	55	86	21,3
Sólidos totais ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.426	1.098	2.207	23,0
Sólidos totais fixos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	952	742	1105	22,1
Sólidos totais voláteis ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	474	356	1102	24,9
Sólidos suspensos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	912	752	1638	17,5
Sólidos suspensos fixos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	645	502	790	22,1
Sólidos suspensos voláteis ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	267	250	847	6,5
Óleos e graxas ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	199	137	411	31,2
DQO ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	709	597	2278	15,7
Fosfato ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	15	12	24	15,1
Zn ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,977	0,588	1,59	39,8
Pb ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,4	0,31	0,41	22,5
Cd ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,046	0,037	0,02	19,6
Ni ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,076	0,06	0,097	21,1
Fe ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	24,26	19,85	44,76	18,2
Mn ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,279	0,219	0,523	21,5
Cu ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,294	0,268	0,847	8,8
Cr ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0,06	0,041	0,082	31,7
Coliformes Totais (NMP/100 ml)	$1,18 \times 10^7$	$3,7 \times 10^6$	$1,7 \times 10^8$	1 log
Coliformes Fecais (NMP/100 ml)	$1,8 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$	$1,2 \times 10^7$	1 log

Baseando-se nas Tabelas 5.10 a 5.13, verifica-se que o lodo flotado apresentou as seguintes porcentagens de sólidos totais: 6,2%; 1,7%; 4,2% e 0,2% para as taxas de aplicação: 80; 110; 140 e 200 $\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, respectivamente. Vale ressaltar que não foi possível fazer todos os ensaios com um mesmo lodo. Cada ensaio foi realizado com lodo proveniente de diferentes unidades.

Verifica-se que os resultados obtidos nos ensaios com taxas de 110 e 200 $\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ são inferiores aos dados de adensamento por flotação de lodos ativados (Tabela 3.16). Para o presente estudo, a melhor condição de adensamento do lodo foi obtido nos ensaios efetuados com taxa de aplicação menor que 110 $\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Muito embora, deve-se considerar que a variável A/S também exerce influência marcante no grande espessamento por flotação, variável esta que não foi controlada no presente estudo.

Na Tabela 5.14 apresentam-se resultados de determinações de sólidos totais, fixos e voláteis no material sedimentado (areia + detritos) no tanque de flotação.

Tabela 5.14 – Resultados dos sólidos totais do material sedimentado durante os ensaios

Taxa de aplicação superficial ($\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$)	Sólidos totais (mg.L^{-1})	Sólidos totais fixos (mg.L^{-1})	Sólidos totais voláteis (mg.L^{-1})
80	69.590	29.765	39.825
110	2.636	1.187	1.449
140	34.132	13.845	20.287
200	9797	5407	4390

Mediante essas determinações de sólidos, constatou-se que o material removido por sedimentação, apresenta, ainda, elevado teor de sólidos voláteis, o que demonstra a necessidade de se aprimorar o sistema (aplicação de mais ar no fundo) para se obter areia com menos “impurezas” orgânicas.

Nota-se, pelas Tabelas 5.9; 5.10; 5.11 e 5.12 que a taxa de aplicação superficial de 110 $\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ foi a que resultou mais eficiente, em relação aos outros ensaios.

Pela análise dos resultados, nota-se que não houve remoção adequada de fósforo. Vale ressaltar que não foram utilizados coagulantes nem polímeros nestes ensaios. Remoções de

fósforo podem ser obtidas através da precipitação química, utilizando-se coagulantes, tais como o sulfato de alumínio e o cloreto férrico, associados ou não a polímeros.

A Figura 5.26 mostra a eficiência de remoção de algumas variáveis nos ensaios realizados.

Figura 5.26 – Eficiência de remoção em relação as taxas de aplicação superficial DQO (a), Óleos (b) e graxas, Sólidos totais (c) e Sólidos suspensos (d)

Na Tabela 5.15 estão apresentados os resultados da taxa de aplicação de sólidos para os ensaios realizados, bem como a faixa de variação encontrada na literatura. A concentração de sólidos suspensos foram maiores nos ensaios com taxa de aplicação superficial 110 e 140 $\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, por isso a taxa de aplicação de sólidos relativamente elevada e fora da faixa recomendada por METCALF E EDDY e EPA.

Tabela 5.15 – Taxa de aplicação de sólidos dos ensaios e da faixa de variação encontrada na literatura

Taxa de aplicação superficial ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)	Taxa de aplicação de sólidos ($\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$)	Taxa de aplicação de sólidos recomendada na literatura ($\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$)
80	89,8	52,8 ¹ a 585,6 ²
110	731,5	
140	785,7	
200	182,5	

Fonte: ¹EPA (1975); ²METCALF e EDDY(1991)

A relação ar-sólido é um parâmetro importante no projeto da unidade do sistema de flotação, pois o desempenho do sistema de flotação depende de se ter uma quantidade de bolhas de ar suficiente para flotar substancialmente todos os sólidos suspensos presentes. Nos ensaios realizados, para as taxas de aplicação de 80; 110; 140 e 200 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$, as relações ar-sólido foram de 0,481; 0,081; 0,096 e 0,592, respectivamente.

A faixa de variação de ar-sólido recomendada na literatura é de 0,005 a 0,1 (EPA, 1975, DICK, 1972). A relação de ar-sólido para as taxas de 80 e 200 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ foram superiores a encontradas na literatura.

Na Figura 5.27 estão apresentadas as curvas granulométricas do material retido na peneira da unidade piloto e, na Tabela 5.16 estão apresentados os dados da quantidade de sólidos retidos por m^3 de lodo em cada abertura das peneiras (testes em laboratório) para as diferentes taxas de aplicação superficial utilizadas no flotador (as quais foram utilizadas para diferenciar cada ensaio com a instalação piloto).

Tabela 5.16 – Quantidade de sólidos retidos nas peneiras, em teste de laboratório

Abertura (mm) TAS($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)	Massa de material retido/volume de lodo tratado ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)					Total
	19,0	10,0	5,6	2,0	1,0	
80	0,0012	0,0003	0,0003	0,0004	0,0003	0,0024
110	0,0015	0,0013	0,0004	0,0003	0,0002	0,0037
140	0,0079	0,0003	0,0006	0,0003	0,0001	0,0091
200	0,0013	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0021

Figura 5.27 – Curva granulométrica do material retido na peneira que antecedia o flotador nos ensaios: ensaio com taxa de aplicação superficial $80 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ (a), ensaio com taxa de aplicação superficial $110 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ (b), ensaio para taxa de aplicação superficial $140 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ (c) e ensaio para taxa de aplicação superficial $200 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ (d)

Na curva granulométrica, conforme Figura 5.27, está representado em abscissas os diâmetros equivalentes e em ordenadas as porcentagens que passam pelas aberturas das peneiras. Nota-se que menos de 50 % do material passou pela peneira de 10 mm em todos os ensaios. As porcentagens foram 47,8%, 29,3%, 10,5% e 26,1% para as taxas de aplicação superficial de 80, 110, 140 e 200 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$, respectivamente. Portanto, conclui-se que a maior parte do material, possui dimensões maiores ou iguais a 10 mm.

5.5. Testes complementares para avaliação do lodo flotado na unidade de pré-tratamento

Em relação aos testes complementares com o lodo flotado, mediante digestão aeróbia, seus resultados são apresentados nas Tabelas 5.17 a 5.19.

Tabela 5.17 – Resultados do processo aeróbio de digestão do lodo flotado (taxa de aplicação superficial de $80 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)

Parâmetros	1º dia	8 º dia	11 º dia	Eficiência (%)
DQO ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	71.650	52.550	43620	39,1
Óleos e graxas ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	7.243	2.109	1855	74,4

Tabela 5.18 – Resultados do processo aeróbio de digestão do lodo flotado (taxa de aplicação superficial de $110 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)

Parâmetros	1º dia	10º dia	Eficiência (%)
DQO ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	19.233	16.950	11,9
Óleos e graxas ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	2.101	1.37	31,6

Tabela 5.19 – Resultados do processo aeróbio de digestão do lodo flotado (taxa de aplicação superficial de $140 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)

Parâmetros	1º dia	19º dia	Eficiência (%)
DQO ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	56.230	6.604	88.3
Óleos e graxas ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	5.173	497	90,0

Os ensaios de aeração, que foram realizados primeiramente, corresponderam ao lodo obtidos nos ensaios com taxas de aplicação superficial de 80 e $110 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$. Esses ensaios foram realizados sem inoculação. Contudo, face à eficiência relativamente baixa, constatada, optou-se por se utilizar o lodo flotado para a taxa de aplicação superficial de $140 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$. Decidiu-se neste caso efetuar a inoculação com lodo de um sistema de lodos ativados (ETE Jardim das Flores, Rio Claro/SP). Neste caso, os resultados de eficiência foram bastante animadores (88,3% e 90% para remoção de DQO e óleos e graxas, respectivamente).

No que se refere aos testes visando a degradação anaeróbia, monitorados pela produção de gases, os resultados não foram conclusivos, contudo, em todos os testes a produção de gás foi extremamente pequena; mesmo quando se aplicou inóculo.

6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados do levantamento de dados de campo e da operação da unidade piloto desta pesquisa, podem ser estruturadas as seguintes conclusões principais:

- Na caracterização do lodo de tanque sépticos das cidades de São Carlos-SP e de Campinas-SP, pode-se observar a presença significativa de óleos de graxas, com mediana acima de 375 mg.L^{-1} e 158 mg.L^{-1} , sólidos totais da ordem de 7.500 mg.L^{-1} e 5.200 mg.L^{-1} , e expressiva demanda química de oxigênio, com mediana de 4.715 mg.L^{-1} e 1.663 mg.L^{-1} , respectivamente, evidenciando o fato de que esse tipo de despejo não pode ser disposto sem o devido tratamento.
- A caracterização do lodo da cidade de São Carlos-SP, que envolveu a realização de duas formas de amostragens, com coletas *in situ* e nas descargas dos caminhões limpa-fossa, evidenciou a diferença do despejo dependendo da maneira como é extraído dos tanques sépticos, visto que a retirada durante o esgotamento abrange, também, o sobrenadante. A concentração de sólidos suspensos, por exemplo, é cerca de 46 vezes maior na amostra *in situ*. Nesse sentido, dependendo das condições do esgotamento (instalações, modo de operação e intervalo entre limpezas) o tratamento desse tipo de lodo pode decorrer em resultados distintos.
- A frequência dos esgotamentos dos tanques e fossas é uma das variáveis principais que afetam as características do lodo a ser tratado. Os resultados obtidos na segunda campanha de São Carlos – SP, em que o intervalo entre os esgotamentos foram definidos (em seis meses), indicaram que a quantidade de

matéria orgânica nas amostras, em termos de DQO, foi em torno de 7.600 mg.L⁻¹, enquanto que na primeira campanha, na qual o tempo de acúmulo nos tanques chegou a sete anos, a demanda química de oxigênio alcançou cerca de 18.600 mg.L⁻¹.

- O acompanhamento rigoroso que companhia de saneamento de Campinas – SP (SANASA) efetua junto as empresas que realizam o serviço de esgotamento dos tanques sépticos da cidade, mostra-se eficiente no controle da frequência de limpeza. Esse fato pôde ser evidenciado nas comparações dos resultados das avaliações das amostras de lodo de São Carlos-SP e de Campinas-SP, que demonstraram a maior concentração do material esgotado dos tanques da primeira localidade. Em termos de matéria orgânica, por exemplo, a DQO (mediana) do lodo de São Carlos-SP resultou cerca de 35% superior a de Campinas-SP, devido ao maior tempo de armazenamento do lodo.
- A submissão ao ultrassom do lodo coletado *in situ*, utilizado para aprimorar as análises, mostrou-se eficiente na destruição parcial da estrutura dos aglomerados, decorrendo em resultados provavelmente mais representativos. Em relação a quantidade de matéria orgânica, por exemplo, a DQO mediana das amostras íntegras foi de 110.550 mg.L⁻¹, enquanto que do lodo desestruturado foi de 118.525 mg.L⁻¹.
- Com relação a concepção da unidade de pré-tratamento de lodo de tanque séptico proposta no presente trabalho, pode-se concluir que a configuração adotada atendeu aos objetivos previstos inicialmente, de forma a poder ser usada como referência no projeto de unidades em escala plena. Ressalta-se, entretanto, que o sistema de introdução de ar deve ser melhor estudado, visando a otimização das condições operacionais.

- O sistema de pré-tratamento proposto apresentou as melhores eficiências na remoção de matéria orgânica, sólidos e óleos e graxas, nas condições operacionais com taxa de aplicação superficial de $110 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$, taxa de aplicação de sólidos de $731,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ e relação ar-sólidos de 0,081, deve-se salientar que essa variável não foi controlada durante os ensaios. A remoção de matéria orgânica foi em torno de 89%, a de sólidos totais foi de 82% e óleos e graxas de 82%. Além disso, a unidade promoveu a remoção expressiva da maior parte dos metais pesados avaliados, alcançando índices de 80% para o cromo, por exemplo, indicando que parte expressiva desses metais encontram-se incorporados aos sólidos em suspensão.
- O sistema de flotação por microbolhas proposto mostrou-se eficiente no adensamento do lodo de tanques sépticos, de forma a obter como melhor resultado o teor de sólidos 6,2% para taxa de aplicação superficial de $80 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$.
- A caracterização de lodo de fossas e de tanques sépticos demonstrou a possibilidade de tratamento biológico complementar desse material, tendo em vista o significativo percentual da fração orgânica dos sólidos suspensos (cerca de 50%) e do nitrogênio Kjeldahl total (em torno de 32%), indicando a viabilidade do recebimento desse tipo de despejo em estações de tratamento de esgoto, desde que submetidos a pré-tratamento adequado.
- A degradação do lodo flotado em ambiente anaeróbio não se mostrou eficiente, tendo vista que não foi observada produção expressiva de biogás nos frascos de controle. Infere-se desse modo, que a extensão do período de degradação do lodo proveniente de tanques sépticos (anaeróbio) em ambiente anaeróbio, não conduz a remoções adicionais significativas de matéria orgânica.

-
- A digestão aeróbia do lodo flotado apresentou elevada degradação de óleos e graxas e remoção de DQO, alcançando resultados bastantes promissores, desde que seja aplicado inóculo previamente. Para período de aeração de 19 dias a remoção de DQO e óleos e graxas alcançou índices de 88,3% e 90%, respectivamente. Sem a utilização de inóculo os resultados não foram satisfatórios.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C. V.; HOPPEN, C.; MÄDER NETTO, O. S. (2001). Desidratação do Lodo Aeróbio e Séptico Através do Uso de Centrífuga tipo Decanter, Com e Sem o Uso de Polieletrólitos. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, João Pessoa – PB.

ANDREOLI, C. V. FRANÇA, M.; FERREIRA, A. C.; CHERUBINI, C. (2003). Avaliação da biodegradabilidade e biodisponibilidade do lodo de esgoto anaeróbio termicamente tratado com uso de biogás. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Joinville – SC.

ANDRADE NETO, C. O.; ALÉM SOBRINHO, P.; SOUZA MELO, H. N.; AISSE, M. M. (1999). Decanto-digestores. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de Esgoto Sanitário por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES. Cap. 5, p.117-138.

ANDRADE NETO, C. O.; CAMPOS J. R. (1999). Introdução. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de Esgoto Sanitário por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES. Cap. 1, p.1-28.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992). **NBR 12209**: Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro.

_____. (1993). **NBR 7229**: Projeto, Construção e Operação de Sistemas de Tanques Sépticos. Rio de Janeiro.

_____. (1997). **NBR 13969**: Tanques Sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro.

_____. (1999). **NBR 8160**: Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução. Rio de Janeiro.

AZEVEDO NETTO, J. M., HESS, M. L. (1970). Tratamento de Águas Residuárias. **SEPARATA da Revista DAE**, São Paulo – SP, 218p.

AYRES, R.; MARA, D. (1996). Analysis of Wastewater for use in Agriculture. - A Laboratory Manual of Parasitological and Bacteriological Techniques. Dept of Civil Engineering University of Leeds. England. 31 p. Leeds. U.K.

BATALHA, B. H. L. (1989). **Série Manuais**: Fossa Séptica. 2 ed., São Paulo: CETESB, 20p.

BELLI FILHO, P; K.; SOARES, H.M.; MATIAS, W.G.; PINTO, R.O.; CHAGAS, A.; CASTILHO JR, A.B. (2002). Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e lodo de tanque séptico. In: VII TALLER Y SIMPOSIO LATINO AMAERICANO SOBRE DIGESTION ANAEROBIA, Mexico : IWA/FEMISCA. v. 1. p. 266-269.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário oficial da União**, Brasília, DF, de 18 de mar. 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2006). Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006, define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário oficial da União**, Brasília, DF, de 29 de ago. 2006.

CAMPOS, A. L.O. (2002). **Comportamento de Dois Reatores em Batelada Sequências Aeróbios com Diferentes Idades do Lodo e Retorno Total do Lodo em Excesso Após**

Desintegração com Ultrasom., 201p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

CHERNICHARO, C. A. L. (1997). Reatores Anaeróbios. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, v.5, 246p.

COUTINHO, A. (1973). Estudo sobre o emprego de fossas sépticas. **Revista DAE**, São Paulo, v.33, n.90, p.67-110, jun.

DALTRO FILHO, J., POVINELLI, J. (1989). Desempenho do sistema decanto-digestor e filtro anaeróbio de camada suporte reduzida, para o tratamento de esgotos sanitários. Trabalhos Apresentados Pelo Departamento de Hidráulica e Saneamento São Carlos: EESC/CRHEA. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belém.

DICK, R. I. (1972). Sludge treatment In: WEBER, W. J. **Physicochemical Processes for Water Quality Control**. New York: John Wiley. Cap. 12, p.533-596.

ENVIRONMENTAL AGENCY PROTECTION. (1993). Domestic Septage Regulatory Guidance. United States: Environmental Protection Agency:

_____. (1975). Process Design Manual for Suspended Solids Removal. United States: Environmental Protection Agency:

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; VAN HAANDEL, A.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. V. (1999). Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de Esgoto Sanitário por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES. Cap. 2, p. 29-52.

GOCHIN, R. J., SOLARI, J. (1983). The role of hidrophobicity in dissolved air flotation. **Water Research.**, v.17, n.6, p.651-657.

GONÇALVES, C.P. (2008). **Impacto do Lançamento de Lodo de Tanques/Fossas Sépticas em Estação de Tratamento de Esgoto com Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB)**. 158p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

GUJER, W. e ZEHNDER, A.J.B. (1983). Conversion Processes in anaerobic digestion. **Wat. Sei. Tech.**, vol.15, p.127-167.

HAARHOFF, J.; VAN VUUREN, L. (1993). A South African Design Guide for Dissolved Air Flotation. **Water Research Commission**. Project ,n. 332.

HELLER, L.; CHERNICHARO, C. A. L. (1996). Tratamento e Disposição Final dos Esgotos em Meio Rural. IN: SEMINÁRIO INTERNACIONAL TENDÊNCIAS NO TRATAMENTO SIMPLIFICADO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOMÉSTICAS E INDUSTRIAIS, Belo Horizonte – BH. Anais ... Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental,, p. 168-221.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativa da População. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2006/estimativa.shtm>> Acesso em: 18 de outubro de 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2000. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf>>

Acesso em: 20 de maio de 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio de 2002 – Esgotamento Sanitário 2002. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/documentos/recursosnaturais/ids/sanamento>> Acesso em: 20 de maio de 2007.

GOOGLE MAPS. – São Carlos-SP. Disponível em

<http://maps.google.com.br/maps?utm_campaign=pt_BR&utm_source=pt_BR-ha-latam-br-bk-gm&utm_medium=ha&utm_term=google%20maps> Acesso em: -16 de janeiro de 2009.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A.(2005) **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4 ed.. Rio de Janeiro: SEGRAC, 932p.

KOOTTATEP T, POLPRASERT C., OANH N. T.K, HEINSS U., MONTANGERO A, STRAUSS M. (2001) Septage Dewatering in Vertical-flow Constructed Wetlands located in Tropics. **Water Science and Technology**, n. 44, p.181-188.

KLINGEL, F.; MONTANGERO, A.; KONÉ, D.; STRAUSS, M. (2002). Fecal sludge management in Developing Countries: A planning manual, 1st Edition, April 2002. Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology Department for Water and Sanitation in Developing Countries.

KIURU, H. J. (2001). Development of Dissolved Air Flotation Technology from the First Generation to the Mewest (third) One (DAF in Turbulent Flow Conditions). **Water Science and Technology**, Great Britain, v. 43, n. 8, p. 1-7.

LEE, C. H. et al. (2007). Full Scale Operation of Dissolved Air Flotation Process Using Microbule Generating Pump. In: THE 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLOTATION IN WATER AND WASTEWATER SYSTEMS, Seul, Korea.

LEITE, B. Z.; PEGORINI, E. S.; ANDREOLI, C. V.; ANDRADE, F. L. (2006). Caracterização e alternativas de disposição de resíduos sépticos. In: 8 ° SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Fortaleza – CE.

LEITE, B. Z.; INGUNZA, M. P.; ANDREOLI, C. V. (2006). Lodo de Decanto-Digestores. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Alternativas de usos de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES. Cap. 10, p. 361-398.

MACINTYRE, A. J. (1996). **Instalações hidráulicas prediais e industriais**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC.

MARHOFF, J.; VAN VUUREN, L. R. J. (1995). Design Parameters for Dissolved Air Flotation in South America. **Water Science and Technology**, v.31, n.3-4, p.203-212.

MENESES, C. G. R *et al.* (2001). Caracterização físico-química e biológica dos resíduos de sistemas tipo tanque séptico-sumidouro da cidade do Natal. IN: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, João Pessoa – PB.

MULLER, J. (2000). Disintegration as a Key-step in sewage sludge minimization. **Water Science and Technology**, v. 41, n 8, p. 123-130.

NASCIMENTO FILHO, D.G.; CASTRO D. A. (2005). Influência das fossas sépticas na contaminação do manancial subterrâneo por nitratos e riscos para os que optam pelo auto-abastecimento como alternativa dos sistemas públicos de distribuição de água. IN: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Campo Grande – MS.

NEIS, U. (2000). Ultrasound in Water, Wastewater and Sludge Treatment. *Water* 21, April, p. 36-39.

OLIVEIRA, R. (1983). **Contribuição ao Estudo de Tanques Sépticos**. 237p. Dissertação (Mestrado). – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1983.

OLIVEIRA, S. M. A.; VON SPERLING, M. (2007). Sistemas de Esgotamento Estático e seus Potenciais Impactos na Água Subterrânea, p. 53. Projeto Vida no Vale. Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PAULA JUNIOR, D. R.; MORAES, L. M.; CHERNICHARO, C. A. L.; PONTES, P. P.; CASSINI, S. T.; GONÇALVES, R. F.; BELLI FILHO, P.; SOARES, A. M. (2003). Estabilização Anaeróbia de Lodos. In: CASSINI, S. T. (Coord.). **Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento de Biogás**. Rio de Janeiro: ABES. Cap. 3, p. 64-93.

PRADO, M. (2006). **Concepção e Estudo de uma Unidade Compacta Para Tratamento Preliminar de Esgoto Sanitário Composta por Separador Hidrodinâmico por Vórtice e Grade Fina De Fluxo Tangencial**. 268p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

PENETRA, R. G. (1998). **Pós-Tratamento Físico-Químico por Flotação de Efluentes de Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo (UASB)**. 140p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

PIOLTINE, A. (2009). **Avaliação do Desempenho de Bomba Multifásica na Geração de Microbolhas de ar para o Processo de Flotação por Ar Dissolvido Aplicado ao pré-tratamento de Efluente de Indústria Têxtil**. 96p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

QASIM, S.R. (1999). **Wastewater Treatment Plants, Planning, Design, and Operation**. Technomic Publishing Co., Inc.

REALI, M. A. P. (1991). **Concepção e Avaliação de um Sistema Compacto para Tratamento de Águas de Abastecimento Utilizando o Processo de Flotação por Ar Dissolvido e Filtração com Taxa Declinante**. 373p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

ROSS, C. C.; SMITH, B. M.; VALENTINE, G. E. (2000). Rethinking Dissolved Air Flotation (DAF) Design for Industrial Pretreatment. In: WATER ENVIRONMENT FEDERATION AND PURDUE UNIVERSITY INDUSTRIAL WASTES TECHNICAL CONFERENCE, St. Louis, Missouri.

STANDARD Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005). 21 ed. Washington, DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Paginação irregular.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>> Acesso em 15 de dezembro de 2007.

TACHINI, M. (2002). **Avaliação do Tratamento Integrado de Esgotos Sanitários e de Lodo de Tanque Séptico em um Reator Anaeróbio (RALF)**. 141p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2002.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Onsite Wastewater Treatment Systems Manual. Chapter 4: Treatment processes and systems. 65p.

VIEIRA, S. M. M e ALÉM SOBRINHO, P. (1983). Resultado de Operação e Recomendações para Projeto de Sistema de Decanto-digestor e Filtro Anaeróbio para Tratamento de Esgoto Sanitário. **Revista DAE**, São Paulo: CETESB, v.44 (135), p.51-57, dez.

VON SPERLING, M. (1996). **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. v.2. Princípios básicos do tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION (1998). Design of municipal wastewater treatment plants. Water Environment Federation of practice n.8 4.ed v2.Alexandrina, USA: Water Environment Federation and American Society of Civil Engineers.

WATESWATER engineering: Treatment, Disposal, Reuse. (2003). 4thed. Revisada por G. Tchobanoglous; F. Burton; H. D. Stensel.New York. McGraw-Hill. (McGraw-Hill Series in Civil and Environmental Engineering).

ZABEL, T. (1984). Flotation in water treatment. In: IVES, K.J. ED. THE SCIENTIFIC BASIS OF FLOTATION. Proceedings of the NATO Advanced Science Institute on the Scientific Basis of Flotation, Cambridge, Engladnd, Jul, Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, p.349-77.