

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

THAIS PADILHA DE SOUZA

**ANÁLISE DA APLICABILIDADE DO SOFTWARE WR_c STOAT EM UM
SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2016

THAIS PADILHA DE SOUZA

**ANÁLISE DA APLICABILIDADE DO SOFTWARE WR_c STOAT EM UM
SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares de Oliveira

CAMPO MOURÃO
2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

ANÁLISE DA APLICABILIDADE DO SOFTWARE WRc STOAT EM UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO

por

Thais Padilha de Souza

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 14h00min do dia 30 de novembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profª. Ma. Paula Cristina de Souza
(UTFPR)

Prof. Eudes José Arantes
(UTFPR)

Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares de Oliveira
(UTFPR)
Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Ronaldo Rigobello

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por toda força e misericórdia e à minha família por todo amor e incentivo, em especial aos meus pais e irmã que nunca deixaram de acreditar que todo sonho pode ser real.

Deixo registrada minha profunda gratidão ao meu orientador professor Dr. Rafael Montanhini que sempre esteve pronto a ajudar com muita paciência e dedicação, dispondo muitas horas em trabalho conjunto. Devo também o meu “muito obrigada” à todos os professores do departamento acadêmico de construção civil do campus de Campo Mourão, por todo incentivo, ajuda e ensinamentos. E aos demais funcionários e servidores da UTFPR que sempre trabalham para o melhor de todos os alunos.

Aos amigos que se tornaram irmãos e me abrigaram em uma família de amizades sinceras, estando ao meu lado nos dias mais claros e escuros durante esta jornada, deixo um imenso sentimento de gratidão. Em especial à minha irmã/amiga Amanda Gesser por toda parceria em criar um lar para o qual voltar.

À Pórticos – Empresa Júnior de Engenharia Civil, agradeço todas as horas, toda capacitação, crescimento pessoal e amizades que adquiri. Sem dúvidas, foi uma experiência única e agradável.

E, por fim, muito obrigada à todos aqueles que me ajudaram de alguma forma durante este período, pois valeu a pena cada segundo vivido.

RESUMO

SOUZA, Thais Padilha de. **Análise da Aplicabilidade do Software WRc STOAT em um Sistema de Tratamento de Esgoto**. 2016. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

Este trabalho objetivou analisar o WRc STOAT do ponto de vista de sua aplicabilidade elaborando uma interface para simulação de um sistema de lodo ativado com base em um sistema real. Foi verificada a facilidade de apropriação do *software* por parte de seu usuário e realizadas comparações dos dados obtidos computacionalmente com dados obtidos no trabalho utilizado como base.

Para simulação do sistema e entrada de dados iniciais foram realizados 2 testes principais. No primeiro teste, foi realizado uma calibração mais minuciosa, alterando a quantidade de sólidos (sedimentáveis voláteis, sedimentáveis não voláteis, não sedimentáveis voláteis e não sedimentáveis não voláteis). E a quantidade de DBO, *viable heterotrophs*, *viable autotrophs* e *mixed liquor suspend solids*, foi determinada de acordo com a devida proporcionalidade com base nas quantidades sugeridas no *Tutorial Guide*, adequando-o com o trabalho base apresentado por Fujii (2011). Já no segundo, foi mantido os dados padrões estabelecidos pelo próprio *software* para alguns parâmetros (*viable heterotrophs*, *viable autotrophs* e *mixed liquor suspend solids*), sem a realização de proporcionalidade e sem a alteração das quantidades de sólidos. Dentre as simulações executadas apenas a avaliação do parâmetro DBO obteve valores próximos ao trabalho utilizado como base e em apenas uma simulação. A apropriação do *software* não foi alcançada necessitando de mais testes e aprimoramentos.

Palavras-chave: WRc STOAT. Tratamento de Esgoto. Lodo Ativado. Modelagem.

ABSTRACT

SOUZA, Thais Padilha de. **Applicability Analysis of WRc STOAT software in a Sewage Treatment System**. 2016. 58p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

This work aims to analyze the WRc STOAT from the point of view of its applicability, developing a simulation interface of an activated sludge system based in a real system. It was verified the user facility to appropriate the software and it was performed comparisons between the data obtained computationally with the data obtained in the base work. For the system simulation and input of the initial data, it was performed 2 main tests. In the first test was performed a more detailed calibration, changing the amount of solids (volatile settleable, non-volatile settleable, non-settleable volatile and non-settleable non-volatile). And the BOD amount, *viable heterotrophs*, *viable autotrophs* and *mixed liquor suspended solids*, was determined according to the proper proportionality based on suggested amounts in the *Tutorial Guide*, adapting it to the base work presented by Fujii (2011). While the second test has preserved the standard data established by the own software to some parameters (*viable heterotrophs*, *viable autotrophs* e *mixed liquor suspended solids*), without accomplishing proportionality and without changing the amounts of solids. Between the ran simulations, just the evaluation parameter BOD obtained values close to the work used as a base and in a single simulation. The software appropriation was not achieved, requiring more tests and improvements.

Keywords: WRc STOAT. Sewage treatment. Activated sludge. Modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de distribuição de sólidos em esgotos sanitários	17
Figura 2 - Esquema típico do tratamento preliminar.....	19
Figura 3 - Esquema de uma grade.....	19
Figura 4 - Esquema de um desarenador.....	20
Figura 5 - Esquema de um decantador primário circular.....	22
Figura 6 - Esquema de uma fossa séptica de câmara única.....	22
Figura 7 - Esquema das unidades da etapa biológica do sistema de lodos ativados	29
Figura 8 - Exemplos de aeradores por ar difuso: aeração por meio de difusores porosos e por aspiração	32
Figura 9 - Alteração do padrão numérico	41
Figura 10 - Esquema de tratamento de lodo ativado.....	42
Figura 11 - Desenho esquemático do decantador secundário	43
Figura 12 - Desenho esquemático da câmara anóxica e tanque de aeração	44
Figura 13 - Interface no STOAT do sistema de lodo ativado.....	45
Figura 14 - Dados iniciais decantador primário	45
Figura 15 - Dados iniciais tanque de aeração	46
Figura 16 - Dados iniciais decantador secundário.....	47
Figura 17 - Configuração da corrida.....	47
Figura 18 - Caracterização do esgoto afluente.....	48
Figura 19 - Condições iniciais do decantador primário (1º teste)	50
Figura 20 - Condições iniciais do decantador primário (2º teste)	51
Figura 21 - Resultado insatisfatório para efluente final (2º teste).....	52
Figura 22- Resultado DBO (mg/L) no tanque de aeração em simulação do WRc STOAT (2º teste)	53
Figura 23 - Resultado efluente final em simulação do WRc STOAT (2º teste).....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características dos principais níveis de tratamento dos esgotos	15
Quadro 2 - Principais mecanismos de remoção de poluentes no tratamento de esgoto.....	16
Quadro 3 - Operações, processos e sistemas de tratamento frequentemente utilizados para a remoção de poluentes dos esgotos domésticos.....	18
Quadro 4 - Descrição sucinta dos principais sistemas de tratamento de esgotos a nível secundário	24
Quadro 5 - Comparação entre variantes dos sistemas de lodos ativados	34
Quadro 6 - Símbolos e componentes das equações diferenciais modelo ASAL1	39
Quadro 7 - Equações modelo ASAL1	39

LISTA DE SIGLAS

A/M	Relação Alimento/Microrganismo
AO	<i>Anoxic-Oxic</i>
ASAL1A	<i>Activated Sludge Aeration Tanks Model 1A</i>
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
MLSS	<i>Mixed Liquor Suspend Solids</i>
RALF	Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado
STOAT	<i>Sewage Treatment Optimizaitization over Time</i>
SSED1	<i>Activated Sludge Settling Tanks Model 1</i>
SSV	Sólido em Suspensão Volátil
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1	TRATAMENTOS DE ESGOTO	14
3.2	TRATAMENTO PRELIMINAR	18
3.2.1	Gradeamento	19
3.2.2	Desarenadores	20
3.3	TRATAMENTO PRIMÁRIO	21
3.3.1	Tanques de decantação	21
3.3.2	Fossas sépticas	22
3.4	TRATAMENTO SECUNDÁRIO	23
3.5	SISTEMA DE LODOS ATIVADOS	28
3.5.1	Tempo de Detenção Hidráulica e Idade do Lodo	29
3.5.2	Relação Alimento/Microrganismo (A/M)	30
3.5.3	Sistemas de aeração	31
3.5.4	Câmara anóxica	32
3.5.5	Decantadores Secundários	32
3.5.6	Variantes do Sistema de Lodos Ativados	34
3.6	SOFTWARE WRc STOAT	37
3.6.1	Modelo 1 para Lodo Ativado – ASAL1	38
4	MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1	DOWNLOAD E INSTALAÇÃO DO SOFTWARE WRc STOAT	40
4.2	APROPRIAÇÃO DO SOFTWARE E BUSCA DE DADOS LABORATORIAIS	40
4.3	CRIAÇÃO DE INTERFACE E REALIZAÇÃO DE SIMULAÇÃO	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1	PRIMEIRO E SEGUNDO TESTES	50
5.2	APROPRIAÇÃO E DEMAIS OBSERVAÇÕES SOBRE O WRc STOAT	55
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

O esgoto sanitário desde que não corretamente coletado e tratado antes de sua disposição ao meio ambiente pode acarretar em grades prejuízos ambientais políticos e sociais. Segundo a Fundação Nacional de Saúde, a adequada destinação de esgotos evita, entre outras coisas, a contaminação do solo e de mananciais e a proliferação de vetores, bem como promove a preservação ambiental e reduz custos agregados à tratamentos de doenças e à tratamentos de água de abastecimento populacional (FUNASA, 2004).

Ainda que o volume de esgotos tratados no Brasil tenha saltado de 3,624 bilhões de m³ em 2013 para 3,764 bilhões de m³ em 2014, segundo o publicado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) no Diagnóstico de Serviços de água e esgoto 2014, isso somente corresponde a cerca de 40,8% da estimativa de esgoto gerado no país. O restante, e a maior parte, deste volume é disposto inadequadamente ao meio ambiente (BRASIL, 2016).

Dentre os sistemas de tratamento de esgotos mais utilizados no Brasil pode-se destacar os sistemas de lodos ativados, filtros biológicos, lagoas de estabilização e reatores RALF (Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado) e UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* ou Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente). Durante esses processos de tratamento podem ocorrer vários problemas operacionais, como variações repentinas de vazão, alteração de pH e diluição excessiva da massa de sólidos (RECESA, 2008).

Neste cenário é clara a necessidade de uma ferramenta que possa auxiliar em uma operação mais eficaz de estações de tratamento de esgoto. *Softwares* de modelagem e assistência à estas estações podem agilizar os processos e garantir mais eficiência. Os operadores podem realizar um melhor acompanhamento dos processos envolvidos nos sistemas sem agregar custos, uma vez que alguns destes programas estão disponíveis gratuitamente para *download*. Mas, para tanto, é preciso que o usuário seja capaz de interagir com o programa computacional, tendo uma efetiva apropriação. Além disso, é imprescindível que o programa gere resultados confiáveis, que sejam compatíveis com a realidade.

Segundo seus desenvolvedores, WRc plc *Company* (2012), o WRc STOAT (*Sewage Treatment Optimization over Time*) é uma ferramenta de modelagem capaz de simular dinamicamente o desempenho de sistemas de tratamento de esgoto. O *software* dispõe de modelos prontos dos sistemas mais comuns, como lodo ativado e filtros biológicos, além de permitir que o usuário modele seu próprio sistema, incluindo lagoas, reatores, filtros, tanques, dentre outros.

Das vantagens de uso deste *software* apresentadas pela WRc plc *Company* (2012), pode-se ressaltar a redução de custos e solução de problemas operacionais, otimização das operações de tratamento e realização de simulações em diferentes modos de operação. Por abranger os principais tratamentos e estar disponível gratuitamente para *download*, o WRc STOAT pode se tornar uma opção válida no auxílio ao tratamento de esgoto.

Posto isso, este trabalho objetivou analisar o WRc STOAT do ponto de vista de sua aplicabilidade elaborando uma interface para simulação de um sistema de lodo ativado com base em um sistema real. Foi verificada a facilidade de apropriação do *software* por parte de seu usuário e realizadas comparações dos dados obtidos computacionalmente com dados obtidos no trabalho utilizado como base.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve por objetivo geral a análise da aplicabilidade do *software* WRc STOAT em um sistema de tratamento de esgoto, levando em consideração a apropriação do *software* e possíveis comparações de dados laboratoriais com dados gerados computacionalmente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a apropriação do *software*;
- Buscar um sistema de tratamento de esgoto e obter os dados das análises laboratoriais;
- Criar a interface do sistema de tratamento de esgoto no *software*;
- Realizar simulação do sistema no *software* e comparar resultados.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 TRATAMENTOS DE ESGOTO

Com o objetivo de proteger o meio ambiente e os seres humanos que dele usufruem, a ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) é o local onde ocorre o tratamento dos esgotos sanitários (DEBIASE, 2012).

Segundo Jordão e Pessôa (2005), qualquer sistema de tratamento de esgoto encaminha os efluentes para corpos d'água receptores, os quais não devem sofrer alterações nos parâmetros de qualidade fixados para aquela região de lançamento.

Esse tratamento é realizado através de sistemas diferenciados, que podem ser classificados, nos seguintes níveis (SPERLING, 1996):

- **Tratamento preliminar:** remoção de sólidos grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia);
- **Tratamento primário:** remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e matéria orgânica componente destes sólidos (sedimentação, flotação, sistemas anaeróbios, digestão e secagem de lodo);
- **Tratamento secundário:** remoção de matéria orgânica e, eventualmente, nutrientes (DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio - em suspensão e DBO solúvel), como filtração biológica, processo de lodos ativados e lagoas de estabilização aeróbias (facultativa e aerada);
- **Tratamento terciário:** remoção de poluentes específicos, muitas vezes tóxicos ou não biodegradáveis, sendo este tratamento raramente utilizado no Brasil.

Os principais níveis de tratamento de esgoto são o preliminar, primário e secundário. O Quadro 1 apresenta as características desses principais níveis.

ÍTEM	Níveis de tratamento		
	PRELIMINAR	PRIMÁRIO	SECUNDÁRIO
Poluentes removidos	Sólidos grosseiros	Sólidos sedimentáveis DBO em suspensão	Sólidos não sedimentáveis DBO em suspensão fina DBO solúvel Nutrientes (parcialmente) Patogênicos (parcialmente)
Eficiência de remoção	-	SS: 60-70%* DBO: 30-40% Coliformes: 30-40%	DBO: 60-99% Coliformes: 60-99% Nutrientes: 10-50%
Mecanismos de tratamento predominante	Físico	Físico	Biológico
Cumpre o padrão de lançamento	Não	Não	Usualmente sim
Aplicação	Montante elevatória Etapa inicial de tratamento	Tratamento parcial Etapa intermediária de tratamento mais completo	Tratamento mais completo para matéria orgânica e sólidos em suspensão (para nutrientes e coliformes, com adaptações ou inclusão de etapas específicas)

Quadro 1 - Características dos principais níveis de tratamento dos esgotos

*SS – Sólidos Solúveis

Fonte: Adaptado de Sperling (1996).

Nos tratamentos preliminar e primário, há um predomínio de mecanismos físicos de remoção de poluentes e no secundário um predomínio de mecanismos biológicos.

Os processos em que há predominância de fenômenos físicos se caracterizam na remoção de elementos fisicamente separáveis do meio líquido em que estão dissolvidos, tendo por finalidade básica a remoção de substâncias em suspensão e incluem remoção de sólidos grosseiros, de sólidos sedimentáveis (incluindo areia) e de sólidos flutuantes (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Já os processos biológicos são aqueles que dependem da ação de microrganismos presentes nos esgotos. Segundo Jordão e Pessôa (2005) “os fenômenos inerentes à alimentação (desses microrganismos) são predominantes na transformação dos componentes complexos em compostos simples, tais como: sais minerais, gás carbônico e outros”. Dentre os processos biológicos pode-se citar oxidação biológica (aeróbios: lodos ativados, lagoas de estabilização e filtros

biológicos; anaeróbios: reatores de fluxo ascendente ou de manta de lodo, lagoas e tanques sépticos) e digestão de lodo (aeróbia e anaeróbia, fossas sépticas).

Ainda vale lembrar que há os processos químicos, que são raramente utilizados isoladamente e em que a remoção dos contaminantes ocorre pela adição de produtos químicos ou através de reações químicas, incluindo precipitação, adsorção e desinfecção (SPERLING, 1996 apud METCALF & EDDY, 1991)¹.

Dependendo do processo (químico, físico ou biológico) que será utilizado na remoção de poluentes, vários mecanismos podem ser aplicados em conjunto ou separadamente. O Quadro 2 apresenta os principais desses mecanismos.

POLUENTE	DIMENSÕES	PRINCIPAIS MECANISMOS DE REMOÇÃO	
Sólidos	Sólidos grosseiros (>1cm)	Gradeamento	Retenção de sólidos com dimensões superiores ao espaçamento entre barras
	Sólidos em suspensão (>1µm)	Sedimentação	Separação de partículas com densidade superior à do esgoto
	Sólidos dissolvidos (<1µm)	Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa
Matéria orgânica	DBO em suspensão (>1µm)	Sedimentação	Separação de partículas com densidade superior à do esgoto
		Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa
		Hidrólise	Conversão da DBO suspensão em DBO solúvel, por meio de enzimas, possibilitando a sua estabilização
		Estabilização	Utilização pelas bactérias como alimento, com conversão de gases, água e outros compostos inertes
	DBO solúvel (<1µm)	Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa
		Estabilização	Utilização pelas bactérias como alimento, com conversão de gases, água e outros compostos inertes

Quadro 2 - Principais mecanismos de remoção de poluentes no tratamento de esgoto (continua)

Fonte: Adaptado de Sperling (1996).

¹METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. Metcalf & Eddy, Inc. 3 ed., 1991, 1334p.

POLUENTE	DIMENSÕES	PRINCIPAIS MECANISMOS DE REMOÇÃO	
Patogênicos	-	Radiação ultra-violeta	Radiação do sol ou artificial
		Condições ambientais adversas	Temperatura, pH, falta de alimento, competição com outras espécies
		Desinfecção	Adição de algum agente desinfetante, como cloro

Quadro 2 – Principais mecanismos de remoção de poluentes no tratamento de esgoto (conclusão)

Fonte: Adaptado de Sperling (1996).

De acordo com Piveli (2007), em esgotos sanitários, dos sólidos totais, cerca 70% são dissolvidos e 30% em suspensão. Dos sólidos dissolvidos, 70% são fixos e 30% voláteis. Os sólidos em suspensão são divididos igualmente em sedimentáveis e não sedimentáveis, sendo ambos divididos em 75% voláteis e 25% fixos. Esta relação pode ser observada na figura que se segue.

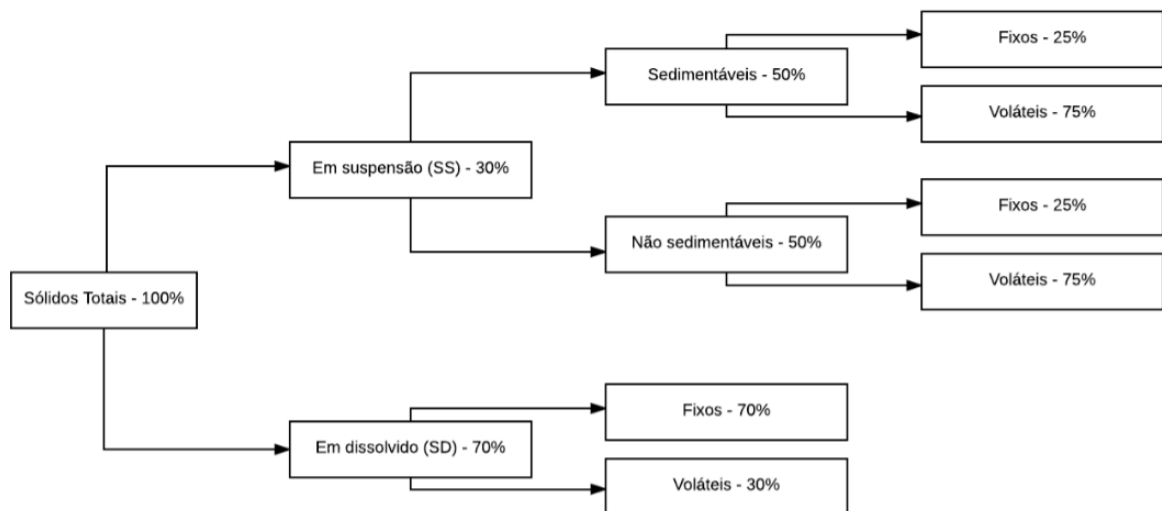


Figura 1 - Esquema de distribuição de sólidos em esgotos sanitários

Tratando-se de esgotos domésticos, o Quadro 3 traz as principais operações, processos ou sistemas para remoção dos poluentes mais comuns.

POLUENTE	OPERAÇÃO, PROCESSO OU SISTEMA DE TRATAMENTO
Sólidos em suspensão	Gradeamento Remoção de areia Sedimentação Disposição no solo
Matéria orgânica biodegradável	Lagoas de estabilização e variações Lodos ativados e variações Filtro biológico e variações Tratamento anaeróbio Disposição no solo
Patogênicos	Lagoas de maturação Disposição no solo Desinfecção com produtos químicos Desinfecção com radiação ultra-violeta
Nitrogênio	Nitrificação e desnitrificação biológica Disposição no solo Processos físico-químicos
Fósforo	Remoção biológica Processos físico-químicos

Quadro 3 - Operações, processos e sistemas de tratamento frequentemente utilizados para a remoção de poluentes dos esgotos domésticos

Fonte: Adaptado de Sperling (1996).

Para o desenvolvimento dos itens 3.2, 3.3 e 3.4 deste capítulo, o referencial teórico baseou-se segundo Sperling (1996).

3.2 TRATAMENTO PRELIMINAR

Destinado principalmente à remoção de sólidos grosseiros e areia, o tratamento preliminar utiliza de métodos físicos, como peneiramento e sedimentação. Além dessas unidades de remoção, inclui-se nesse tipo de tratamento unidades de medição de vazão, usualmente constituídas por calha de dimensões padronizadas onde o valor medido do nível de líquido está correlacionado com a vazão, como a calha Parshall. Ainda neste tipo de tratamento, embora infrequente, pode-se adotar vertedores e mecanismos para medição em tubulações fechadas. Na figura que se segue é possível observar o esquema típico

para o tratamento preliminar, contendo gradeamento, caixa de areia e medidor de vazão.

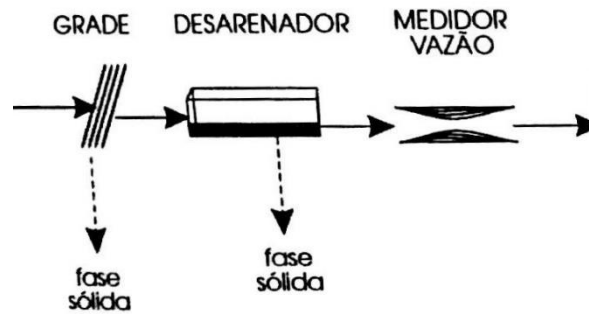


Figura 2 - Esquema típico do tratamento preliminar
 Fonte: Sperling (1996).

3.2.1 Gradeamento

Para a remoção de sólidos grosseiros, é comum o uso de grades, onde os materiais de maiores dimensões que o espaçamento entre as barras fica retido, embora também seja possível o uso de peneiras rotativas ou trituradores para esse mesmo fim. A figura a seguir exemplifica um esquema de gradeamento com espaçamento entre barras e o sentido do fluxo do efluente.

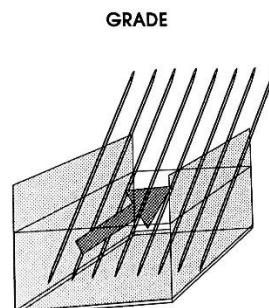


Figura 3 - Esquema de uma grade
 Fonte: Sperling (1996).

A remoção de sólidos grosseiros tem por finalidade:

- Proteção dos dispositivos de transporte de esgoto, como bombas e tubulações;
- Proteção das unidades de tratamento subsequentes;
- Proteção dos corpos receptores.

3.2.2 Desarenadores

A remoção de areia contida nos esgotos é feita através de unidades denominadas desarenadores ou caixas de areia, tendo seu mecanismo baseado em sedimentação. Os grãos de areia contidos no esgoto por possuírem maiores dimensões e densidade quando comparados com a matéria orgânica ali presente, sedimentam mais rapidamente, indo para o fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica continua em suspensão, seguindo para unidades de tratamento a jusante.

A remoção dessa areia já sedimentada pode ser feita de forma manual ou mecanizada. A Figura 4 representa o esquema de um desarenador.

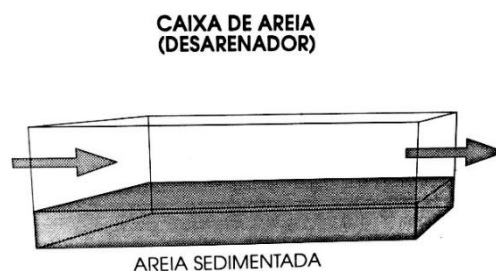


Figura 4 - Esquema de um desarenador
Fonte: Sperling (1996).

A remoção de areia tem por finalidade:

- Evitar abrasão nos equipamentos e tubulações;

- Eliminar ou reduzir a possibilidade de obstrução de tubulações, tanques, orifícios, sifões;
- Facilitar o transporte líquido, principalmente a transferência de lodo em suas fases.

3.3 TRATAMENTO PRIMÁRIO

Após o tratamento preliminar, o esgoto ainda contém sólidos em suspensão não grosseiros, compostos principalmente de matéria orgânica, as quais podem ser parcialmente removidas em unidades de sedimentação, que reduzem a carga de DBO que será dirigida ao tratamento secundário.

Sendo os sólidos sedimentáveis e a DBO em suspensão os principais poluentes removidos, esse nível de tratamento tem sua eficiência em remoção de 60 a 70% dos sólidos em suspensão, 30 a 40% de DBO e 30 a 40% de coliformes. Podendo ser aumentada essa eficiência com a adição de agentes coagulantes, caracterizando um tratamento primário avançado.

O tratamento primário é composto geralmente por tanques de decantação (decantadores primários) ou por fossas sépticas.

3.3.1 Tanques de decantação

Podendo ser circulares ou retangulares, os tanques de decantação permitem que o esgoto flua vagorosamente, o que leva aos sólidos em suspensão neles presentes, que possuem maior densidade que o meio líquido, sedimentarem no fundo. Essa massa de sólidos depositada ao fundo denomina-se lodo primário bruto, que será removida por meio de tubulação única em tanques de pequenas dimensões ou a partir de raspadores mecânicos e bombas de sucção em tanques maiores.

Já os materiais que apresentam menor densidade que o líquido circulante, sobem para a superfície dos decantadores, onde são coletados e destinados a posterior tratamento.

A Figura 5 esquematiza um tanque de decantação (decantador primário).

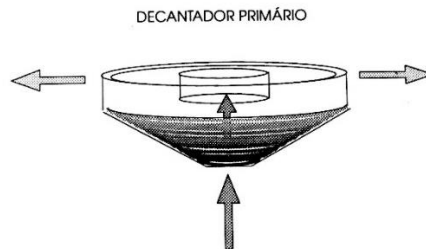


Figura 5 - Esquema de um decantador primário circular
Fonte: Sperling (1996).

3.3.2 Fossas sépticas

Funcionando basicamente como decantadores na remoção de sólidos suspensos, as fossas sépticas são geralmente empregadas no tratamento primário de esgotos em pequenas comunidades. Nelas, os sólidos sedimentáveis são removidos para o fundo, permanecendo ali por um maior período de tempo (cerca de alguns meses) para garantir a sua estabilização em condições anaeróbias.

A figura que se segue apresenta um esquema de uma fossa séptica de câmara única.

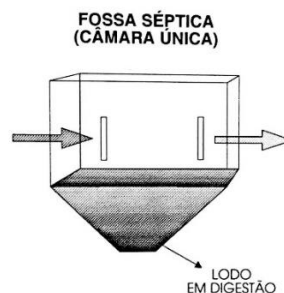


Figura 6 - Esquema de uma fossa séptica de câmara única
Fonte: Sperling (1996).

3.4 TRATAMENTO SECUNDÁRIO

O tratamento secundário tem por principal função a remoção de matéria orgânica, sendo essa dissolvida (DBO solúvel), que não é removida por processos físicos, e em suspensão (DBO suspensa ou particulada), que é em sua maior parte removida no tratamento primário, mas que ainda contém na massa líquida sólidos de decantabilidade mais lenta.

Esse nível de tratamento aceleram os mecanismos de degradação que ocorrem naturalmente nos corpos receptores, incluindo uma etapa biológica ao sistema, caracterizada por reações bioquímicas realizadas por microrganismos (bactérias, protozoários, fungos etc.).

A base da etapa biológica é o contato efetivo dos microrganismos com o material orgânico dos esgotos, o qual é utilizado como alimento na decomposição biológica desse material (transformação da matéria orgânica em gás carbônico, água e material celular). Essa decomposição necessita de oxigênio como componente principal, além da manutenção de condições ambientais favoráveis (temperatura, pH).


Os mais comuns métodos de tratamento para o nível secundário são:

- Lagoas de estabilização e variantes;
- Lodos ativados e variante;
- Filtros biológicos e variantes;
- Tratamentos anaeróbios

De forma simplificada, o quadro a seguir apresenta um resumo desses principais métodos incluindo imagens ilustrativas.

LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	
Lagoa Facultativa	<p>A DBO solúvel e finamente particulada é estabilizada aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido, ao passo que a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo estabilizada anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa. O oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, através da fotossíntese.</p> <p style="text-align: center;">LAGOA FACULTATIVA</p>
Lagoa anaeróbia - Lagoa Facultativa	<p>A DBO é em torno de 50% estabilizada na lagoa anaeróbia (mais profunda e com menor volume), enquanto a DBO remanescente é removida na lagoa facultativa. O sistema ocupa uma área inferior ao de uma lagoa facultativa única.</p> <p style="text-align: center;">SISTEMA: LAGOA ANAERÓBIA - LAGOA FACULTATIVA</p>
Lagoa aerada facultativa	<p>Os mecanismos de remoção da DBO são similares aos de uma lagoa facultativa. No entanto, o oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos, ao invés de através da fotossíntese. Como a lagoa é também facultativa, uma grande parte dos sólidos do esgoto e da biomassa sedimenta, sendo decomposta anaerobiamente no fundo.</p> <p style="text-align: center;">LAGOA AERADA FACULTATIVA</p>
Lagoa Facultativa	<p>A DBO solúvel e finamente particulada é estabilizada aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido, ao passo que a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo estabilizada anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa. O oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, através da fotossíntese.</p> <p style="text-align: center;">LAGOA FACULTATIVA</p>

Quadro 4 - Descrição sucinta dos principais sistemas de tratamento de esgotos a nível secundário (continua)
Fonte: Adaptado Sperling (1996).

LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	
Lagoa aerada de mistura completa – Lagoa de decantação	<p>A energia introduzida por unidade de volume da lagoa é elevada, o que faz com que os sólidos (principalmente biomassa) permaneçam dispersos no meio líquido, ou em mistura completa. A decorrente maior concentração de bactérias no meio líquido aumenta a eficiência do sistema de remoção da DBO, o que permite que a lagoa tenha um volume inferior ao de uma lagoa aerada facultativa. No entanto, o efluente contém elevados teores sólidos (bactérias), que necessitam ser removidos antes do lançamento no corpo receptor. A lagoa de decantação a jusante proporciona condições para esta remoção. O lodo da lagoa de decantação deve ser removido em períodos de poucos anos.</p> <p style="text-align: center;">SISTEMA: LAGOA AERADA DE MISTURA COMPLETA - LAGOA DE DECANTAÇÃO</p> 
LODOS ATIVADOS	
Lodos ativados convencional	<p>A concentração de biomassa no reator é bastante elevada, devido à recirculação dos sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário. A biomassa permanece mais tempo no sistema do que o líquido, o que garante a elevada eficiência na remoção de DBO. Há a necessidade da remoção de uma quantidade de lodo (bactérias) equivalente à que é produzida. Esse lodo removido necessita uma estabilização na etapa de tratamento do lodo. O fornecimento de oxigênio é feito por aeradores mecânicos ou por ar difuso. A montante do reator há uma unidade de decantação primária, de forma a remover os sólidos sedimentáveis do esgoto bruto.</p> <p style="text-align: center;">LODOS ATIVADOS CONVENCIONAL (FLUXO CONTÍNUO)</p> 
Lodos ativados por aeração prolongada	<p>Similar ao sistema anterior, com a diferença de que a biomassa permanece mais tempo no sistema (os tanques de aeração são maiores). Com isso, há menos DBO disponível para as bactérias, o que faz com que elas se utilizem da matéria orgânica do próprio material celular para a sua manutenção. Em decorrência, o lodo excedente retirado já sai estabilizado. Não se incluem usualmente unidades de decantação primária.</p>

Quadro 4 - Descrição sucinta dos principais sistemas de tratamento de esgotos a nível secundário (continuação)

Fonte: Adaptado Sperling (1996).

LODOS ATIVADOS	
Lodos ativados de fluxo intermitente	<p>A operação do sistema é intermitente. Assim, no mesmo tanque ocorrem, em fases diferentes, as etapas de reação e sedimentação. Quando os aeradores estão desligados, os sólidos sedimentam, ocasião em que se retira o efluente. Ao se religar os aeradores, os sólidos sedimentados retornam à massa líquida, o que dispensa as elevatórias de recirculação. Não há decantadores secundários. Pode ser modalidade convencional ou aeração prolongada.</p> <p style="text-align: center;">LODOS ATIVADOS - FLUXO INTERMITENTE</p>
SISTEMAS AERÓBIOS COM BIOFILMES	
Biodisco	<p>Os biodiscos são filtros biológicos, mas apresentam a similaridade de que a biomassa cresce aderida a um meio suporte. Esse meio é provido por discos que giram, ora expondo a superfície ao líquido, ora ao ar.</p> <p style="text-align: center;">BIODISCO</p>
Filtro de baixa carga	<p>A DBO é estabilizada aerobiamente por bactérias que crescem aderidas a um meio suporte (comumente pedras). O esgoto é aplicado na superfície do tanque através de distribuidores rotativos. O líquido percola pelo tanque, saindo pelo fundo, ao passo que a matéria orgânica fica retida pelas bactérias. Os espaços livres são vazios, o que permite a circulação de ar. No sistema de baixa carga, há pouca disponibilidade de DBO para as bactérias, o que faz com que as mesmas sofram uma autodigestão, saindo estabilizadas do sistema. As placas de bactérias que se despregam das pedras são removidas no decantador secundário. O sistema necessita de decantação primária.</p>
Filtro de alta carga	<p>Similar ao sistema anterior, com a diferença de que a carga de DBO aplicada é maior. As bactérias (lodo excedente) necessitam de estabilização no tratamento do lodo. O efluente do decantador secundário é recirculado para o filtro, de forma a diluir o afluente a garantir uma carga hidráulica homogênea.</p> <p style="text-align: center;">FILTRO BIOLÓGICO DE ALTA CARGA</p>

Quadro 4 - Descrição sucinta dos principais sistemas de tratamento de esgotos a nível secundário (continuação)
Fonte: Adaptado Sperling (1996).

SISTEMAS ANAERÓBIOS	
Reator anaeróbio de manta de lodo	<p>A DBO é estabilizada anaerobiamente por bactérias dispersas no reator. O fluxo do líquido é ascendente. A parte superior do reator é dividida nas zonas de sedimentação e de coleta de gás. A zona de sedimentação permite a saída do efluente clarificado e o retorno dos sólidos (biomassa) ao sistema, aumentando a sua concentração no reator. Entre os gases formados inclui-se o metano. O sistema dispensa decantação primária. A produção de lodo é baixa, e o mesmo já sai estabilizado.</p> <p style="text-align: center;">REATOR ANAERÓBIO DE MANTA DE LODO</p>
Filtro anaeróbio	<p>A DBO é estabilizada anaerobiamente por bactérias aderidas a um meio suporte (usualmente pedras) no reator. O tanque trabalha submerso, e o fluxo é ascendente. O sistema requer decantação primária (frequentemente fossas sépticas). A produção de lodo é baixa, e o mesmo já sai estabilizado.</p> <p style="text-align: center;">SISTEMA FOSSA SÉPTICA - FILTRO ANAERÓBIO</p>

Quadro 4 - Descrição sucinta dos principais sistemas de tratamento de esgotos a nível secundário (conclusão)

Fonte: Adaptado Sperling (1996).

3.5 SISTEMA DE LODOS ATIVADOS

Utilizado mundialmente em tratamento de esgotos domésticos e industriais, o sistema de lodos ativados trabalha com uma elevada quantidade de efluente e reduzidas áreas, incluindo um maior índice de mecanização no tratamento, quando comparado com os demais sistemas (SPERLING, 1997).

De acordo com Piveli (2007) o processo de lodo ativado é um tratamento aeróbio, com retenção de biomassa através da recirculação do lodo e com crescimento em suspensão da massa líquida. Os sólidos presentes no tratamento são mantidos em suspensão por meio da aeração do sistema, onde a formação de flocos nos tanques de aeração é o resultado da interação entre microrganismos e matéria orgânica.

A introdução de oxigênio no sistema, pode ser realizada de formas diferenciadas, como por difusores, aeradores superficiais ou oxigênio puro introduzido diretamente nos tanques (PIVELI, 2007).

Ainda segundo Piveli (2007), uma condição desejável para este tipo de tratamento é que o meio seja neutro, o qual é característico de esgotos domésticos, pois fora dessa faixa neutra, a probabilidade da presença de microrganismos mal formadores de flocos é maior. Sendo que uma boa floculação é necessária para que se atinja um efluente final com baixa concentração de sólidos em suspensão e obtenha-se uma maior eficiência na remoção de matéria orgânica biodegradável.

Segundo Sperling (1997), o tempo de detenção do líquido em sistemas de lodos ativados é baixo, sendo questão de horas. Assim, o volume dos tanques de aeração é reduzido. Contudo, devido à recirculação, os sólidos permanecem no sistema por um tempo superior ao líquido. Este tempo de retenção dos sólidos é denominado idade do lodo.

A etapa biológica do sistema é composta por tanque de aeração, decantador secundário e recirculação do lodo. No tanque de aeração ocorrem as reações bioquímicas de remoção de matéria orgânica, enquanto no decantador secundário ocorre a sedimentação dos sólidos (biomassa). Os sólidos no fundo deste decantador são recirculados para o tanque de aeração, aumentando a concentração de biomassa, o que eleva a eficiência do sistema (SPERLING, 1997).

A Figura 7 esquematiza a etapa biológica do sistema de lodos ativados.

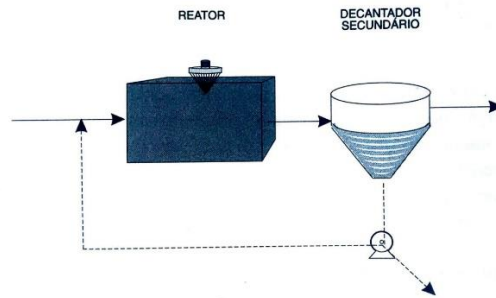


Figura 7 - Esquema das unidades da etapa biológica do sistema de lodos ativados
 Fonte: Sperling (1997).

3.5.1 Tempo de Detenção Hidráulica e Idade do Lodo

Em um sistema de lodos ativados, caracterizado pela recirculação dos sólidos, o líquido não sofre variação quantitativa, com exceção da retirada da vazão do lodo excedente, a qual pode ser considerada desprezível quando comparada com a vazão total (SPERLING, 1997).

Ainda segundo Sperling (1997), o tempo de detenção hidráulica é dado por:

$$\text{tempo de detenção hidráulica (t)} = \frac{\text{volume de líquido no sistema (V)}}{\text{volume de líquido retirado do sistema por unidade de tempo (Q)}} \quad (1)$$

O tempo de detenção hidráulica fica em torno de 6 a 8 horas em tratamento de lodos ativados convencional e de 16 a 24h em aeração prolongada (SPERLING, 1997).

Também conhecido como tempo médio de residência celular, a idade do lodo, segundo Piveli (2007) é a relação entre a massa de células no reator e a massa de células descarregadas por dia, ou seja:

$$\theta_c = \frac{\text{massa de células (KgSSV) no tanque de aeração}}{\text{massa de células (KgSSV) descarregadas por dia}}$$

(2)

Os valores típicos para a idade do lodo são de 4 a 10 dias em um sistema de lodo ativado convencional e de 18 a 30 dias em aeração prolongada (SPERLING, 1997).

3.5.2 Relação Alimento/Microrganismo (A/M)

A relação Alimento/Microrganismo (A/M) é baseada no conceito que a quantidade de alimento ou substrato disponível por unidade de massa de microrganismos, influencia a eficiência do sistema. Quanto maior a relação A/M (maior carga de DBO fornecida a um valor unitário de biomassa), menor é eficiência de assimilação deste substrato, valendo a retórica de que quanto menos DBO fornecida, maior será a avidéz das bactérias por alimento, aumentando a eficiência do sistema na remoção desta mesma DBO (SPERLING, 1997).

Ainda segundo Sperling (1997), a carga de alimentos (A) é dada pela relação entre a vazão efluente (Q) em m³/d e a concentração de DBO₅ afluente (S₀) em g/m³ e a massa de microrganismo (M) é calculada pela relação entre o volume do reator (V) em m³ e a concentração de sólidos em suspensão voláteis (X_v) em g/m³. Assim, a relação A/M é expressa como:

$$\frac{A}{M} = \frac{Q \cdot S_0}{V \cdot X_v}$$

(3)

Onde, A/M = carga de lodo (gDBO₅ fornecidos por dia/gSSV).

A relação A/M não está relacionada com a remoção da matéria orgânica que efetivamente ocorre no reator (tanque de aeração), já que expressa apenas a carga aplicada (ou disponível). Essa relação entre substrato disponível e o removido é dada pela taxa de utilização do substrato (U) (SPERLING, 1997).

$$U = \frac{Q \cdot (S_0 - S)}{V \cdot X_v}$$

(4)

Onde S é a concentração de DBO_5 efluente (g/m^3).

Fazendo a relação entre A/M e a taxa de utilização do substrato, incluindo a eficiência E do sistema, representada por $(S_0-S)/S_0$, tem-se que:

$$U = E \cdot (A/M)$$

(5)

De acordo com Sperling (1997), as eficiências do sistema de lodos ativados são geralmente elevadas, podendo-se dizer que $U \approx A/M$.

Ainda segundo o autor, os valores convencionais de A/M são:

- Lodos ativados convencional: $A/M = 0,3$ a $0,8 \text{ KgDBO}_5/\text{KgSSV.d}$;
- Aeração prolongada: $A/M = 0,08$ a $0,15 \text{ KgDBO}_5/\text{KgSSV.d}$.

3.5.3 Sistemas de aeração

Os sistemas de aeração comumente empregados em lodos ativados são o por ar difuso e os aeradores superficiais. Para ambos os sistemas, os sólidos presentes no esgoto e a salinidade dificultam a transferência de oxigênio, além de que em condições críticas (temperaturas superiores a 20°C e altitudes superior ao nível médio do mar) há uma redução dessa transferência de oxigênio (PIVELI, 2007).

A aeração superficial ou mecânica causa um grande turbilhonamento, o que expõe o líquido, na forma de gotículas, ao ar e, eventualmente, a entrada de ar atmosférico no meio líquido (SPERLING, 1997).

Segundo Sperling (1997), o sistema de aeração por ar difuso é constituído, principalmente, por difusores submersos no líquido, tubulações distribuidoras e tubulações de transporte de ar e sopradores. Nesse tipo de sistema, o ar é inserido nas proximidades do fundo do tanque, sendo o oxigênio transferido ao meio à medida que a bolha de ar se eleva à superfície.

Ainda segundo o autor, os sistemas de ar difuso podem ser classificados da seguinte forma:

- **Difusor poroso** (bolhas finas e médias): prato, disco, domo e tubo;
- **Difusor não poroso** (bolhas grossas): tubos perfurados ou com ranhuras;
- **Outros sistemas**: aeração por jatos, aeração por aspiração, tubo em U.

A figura a seguir exemplifica aeradores por ar difuso.

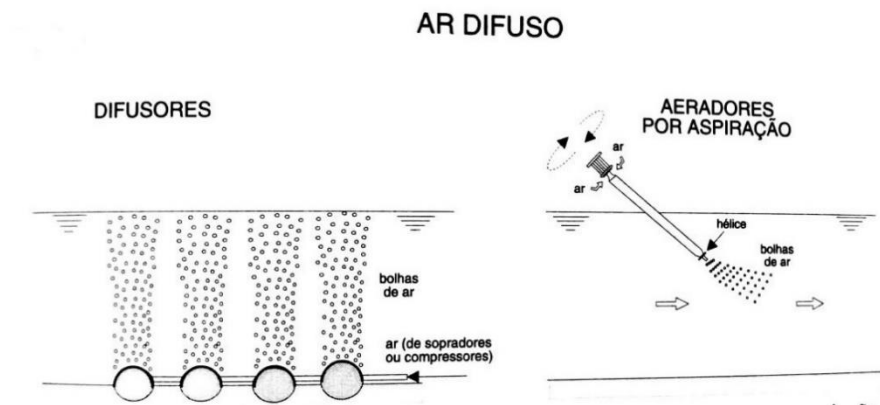


Figura 8 - Exemplos de aeradores por ar difuso: aeração por meio de difusores porosos e por aspiração
 Fonte: Sperling (1997).

3.5.4 Câmara anóxica

As câmaras anóxicas, geralmente incorporadas a montante dos sistemas de aeração, são um compartimento misturado, porém não aerado, onde introduz-se o esgoto e o lodo de retorno. São aplicadas com o objetivo de desnitrificação do efluente final, mas também combatem o crescimento excessivo de organismos filamentosos e compõe cerca de 30% do volume do tanque de aeração (PIVELI, 2007).

3.5.5 Decantadores Secundários

Os decantadores secundários são, geralmente, a última etapa dos sistemas de lodos ativados e têm fundamental importância, pois ditam a qualidade do efluente

final, levando-se em consideração quantidade de sólidos em suspensão, DBO e até mesmo nutrientes. Segundo Sperling (1997), são responsáveis por:

- Separar os sólidos em suspensão presentes no meio líquido, colaborando para a saída de um efluente mais clarificado;
- Adensar os sólidos em suspensão ao fundo do tanque, o que permite o retorno de lodos com concentrações mais elevadas;
- Armazenar os sólidos em suspensão no decantador, o que completa o armazenamento já realizados nos tanques de aeração.

Tendo a função de separar de forma mais adensada possível, o lodo do efluente final, os decantadores secundários devem obedecer a limites impostos para a taxa de escoamento superficial e para a taxa de aplicação de sólidos. Segundo Piveli (2007), a taxa de escoamento (q_A) superficial é dada em função da concentração de sólidos em suspensão total (X_T), sendo:

- $q_A < 36 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ se $X_T < 3,0 \text{ KgSST}/\text{m}^3$;
- $q_A < 24 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ se $3,0 \text{ KgSST}/\text{m}^3 < X_T < 4,5 \text{ KgSST}/\text{m}^3$;
- $q_A < 16 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, se $X_T > 4,5 \text{ KgSST}/\text{m}^3$.

Onde, $q_A = Q/A_s$. Sendo Q a vazão média de esgoto, sem incluir a vazão de retorno e A_s a área superficial do decantador secundário.

Ainda segundo Piveli (2007), a taxa de aplicação dos sólidos (G_A) e dada por:

$$G_A = \frac{(Q + Q_r).X}{A_s}$$

(6)

Onde, Q é a vazão média de esgoto, Q_r é a vazão de retorno do lodo, A_s é a área superficial do decantador secundário e X é a concentração de sólidos em suspensão.

A taxa de aplicação de sólidos no decantador secundário em sistemas de lodos ativados não deve ultrapassar o valor de 144 KgSST/m².dia (6,0 kgSST/m².h), sendo comum o uso de valores na faixa de 4,0 a 5,0 KgSST/m².hora (PIVELI, 2007).

3.5.6 Variantes do Sistema de Lodos Ativados

Para Sperling (1997), são três as principais variantes do sistema de lodos ativados, o convencional de fluxo contínuo, o de aeração prolongada de fluxo contínuo e a combinação UASB – lodos ativados.

As principais comparações entre essas variantes podem ser observadas no quadro a seguir.

ITEM	LODOS ATIVADOS CONVENCIONAL	AREAÇÃO PROLONGADA	UASB - LODOS ATIVADOS
Idade do Lodo	↓ 4 a 10 dias	↑ 18 a 30 dias	↓ 6 a 10 dias
Relação A/M	↑ • 0,25 a 0,50 KgDBO/dia.KgSSVTA	↓ • 0,07 a 0,15 KgDBO/dia.KgSSVTA	↑ • 0,25 a 0,40 KgDBO/dia.KgSSVTA
Decantação primária	• Presente	• Ausente	• Ausente
Reator UASB	• Ausente	• Ausente	• Presente
DBO solúvel efluente	↓ • Baixa • Praticamente desprezível	↓ • Bastante baixa • Praticamente desprezível	↓ • Baixa • Praticamente desprezível
DBO em suspensão efluente	↕ • Depende da sedimentabilidade do lodo e do desempenho do decantador secundário	↕ • Depende da sedimentabilidade do lodo e do desempenho do decantador secundário	↕ • Depende da sedimentabilidade do lodo e do desempenho do decantador secundário

Quadro 5 - Comparação entre variantes dos sistemas de lodos ativados (continua)

Nota: ↑ = alta ou elevada ↓ = baixa ou reduzida ↕ = variável ou intermediária

Fonte: Adaptado de Sperling (1997).

ITEM	LODOS ATIVADOS CONVENCIONAL	AREAÇÃO PROLONGADA	UASB - LODOS ATIVADOS
DBO em suspensão efluente	<ul style="list-style-type: none"> • Como a nitrificação deverá ocorrer, caso não haja desnitrificação no reator, a mesma pode ocorrer no decantador secundário, causando ascensão e perda de lodo 	<ul style="list-style-type: none"> • A maior carga de sólidos afluente ao decantador secundário exige dimensionamentos mais conservadores destas unidades 	<ul style="list-style-type: none"> • Como a nitrificação deverá ocorrer, caso não haja desnitrificação no reator, a mesma pode ocorrer no decantador secundário, causando ascensão e perda de lodo
	<ul style="list-style-type: none"> • Decantador secundário sujeito a problemas com bactérias filamentosas e outras deterioradoras da sedimentabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Caso não haja desnitrificação no reator, a mesma pode ocorrer no decantador secundário, causando ascensão e perda do lodo • Decantador secundário sujeito a problemas com bactérias filamentosas e outras deterioradoras da sedimentabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Decantador secundário sujeito a problemas com bactérias filamentosas e outras deterioradoras da sedimentabilidade
Nitrificação	<ul style="list-style-type: none"> • Bastante provável, mas sujeita a instabilidade na faixa inferior da idade do lodo, especialmente em temperaturas mais baixas 	<ul style="list-style-type: none"> • Totalmente consistente na faixa superior, a menos que haja problemas ambientais específicos (ex: tóxicos, falta de OD) 	<ul style="list-style-type: none"> • Consistente na faixa superior, a menos que haja problemas ambientais específicos (ex: tóxicos, falta de OD)
	<ul style="list-style-type: none"> • Totalmente consistente na faixa superior, a menos que haja problemas ambientais específicos (ex: tóxicos, falta de OD) 		<ul style="list-style-type: none"> • A toxidade às bactérias nitrificantes pelo sulfeto efluente do reator UASB é um tópico que merece investigação
Volume do reator aeróbio (tanque de aeração)	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzido (tempos de detenção da ordem de 6 a 8 horas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado (tempos de detenção hidráulica da ordem de 16 a 24 horas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bastante reduzido, em virtude da prévia remoção de grande parte da matéria orgânica (tempos de detenção hidráulica da ordem de 3 a 5 horas)
Área dos decantadores secundários	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzida 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada devido a maior carga de sólidos e às características de sedimentabilidade do lodo 	<ul style="list-style-type: none"> • Mais reduzida, em função da menor carga de sólidos afluente
Requisitos de oxigênio	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzido, devido à menor respiração pela biomassa e a remoção de DBO na decantação primária 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado, por incluir o consumo de oxigênio pela respiração da grande quantidade de biomassa presente e pela existência de decantação primária 	<ul style="list-style-type: none"> • Mais reduzido, devido a menor respiração pela biomassa e à grande remoção de DBO no reator UASB

Quadro 5 - Comparação entre variantes dos sistemas de lodos ativados (continuação)

Nota: ↑ = alta ou elevada ↓ = baixa ou reduzida ⇕ = variável ou intermediária

Fonte: Adaptado de Sperling (1997).

ITEM	LODOS ATIVADOS CONVENCIONAL	AREAÇÃO PROLONGADA	UASB - LODOS ATIVADOS
Requisitos energéticos	↓ • Reduzido, devido ao baixo consumo de oxigênio	↑ • Elevado, devido ao alto consumo de oxigênio	↓ • Mais reduzido, devido ao menor consumo de oxigênio
Produção de lodo	↑ • Elevada, porém diminui com o uso da digestão anaeróbia, tornando-se razoável	↓ • Razoável	↓ • Baixa, devido ao reator anaeróbio produzir um lodo denso e em baixa quantidade, e ao lodo aeróbio sofrer digestão e adensamento no reator anaeróbio
Estabilização do lodo no reator	↓ • Baixa e insuficiente para encaminhamento à secagem natural (geração de maus odores)	↑ • Suficiente e comparável a processos de digestão separada, como a digestão anaeróbia de lodos	↑ • Suficiente e comparável a processos de digestão separada, como a digestão anaeróbia de lodo
Adensamento do lodo	• Necessário (principalmente para lodo secundário)	• Pode ser utilizado, mas o adensamento por gravidade não é efetivo. Recomendável adensamento mecanizado.	• Normalmente desnecessário
Digestão separada do lodo primário	• Necessária	• Inexiste lodo primário	• Inexiste lodo primário
Digestão separada do lodo aeróbio	• Necessária	• Desnecessária	• O lodo aeróbio é retornado ao reator UASB, onde sofre digestão
Desidratabilidade do lodo	↑ • Boa desidratabilidade	↓ • Desidratabilidade inferior	↑ • Ótima desidratabilidade
Estabilidade do processo	↓ • Maior susceptibilidade a descargas tóxicas que aeração prolongada	↑ • Elevada	↑ • Satisfatória, por se compor de duas etapas em série, uma anaeróbia e outra aeróbia
Simplicidade operacional	↓ • Reduzida	↑ • Maior, por não incluir as unidades de decantação primária e digestão, e por ser um sistema mais robusto e estável	↕ • Intermediária (maior complexidade no tratamento da fase líquida, mas maior simplicidade no tratamento da fase sólida)

Quadro 5 - Comparação entre variantes dos sistemas de lodos ativados (conclusão)

Nota: ↑ = alta ou elevada ↓ = baixa ou reduzida ↕ = variável ou intermediária

Fonte: Adaptado de Sperling (1997).

3.6 SOFTWARE WRc STOAT

Projetado como parte do “*UK Water Industry's Urban Pollution Management programme*”, em tradução livre, Programa de Gestão da Poluição Urbana por Águas Industriais do Reino Unido, pela companhia WRc plc Company, certificada em 2012 pela ISO 14001 (Sistema de Gestão Ambiental) e pela ISO 9001 (Sistema de Gestão da Qualidade), o WRc STOAT é um *software* de distribuição gratuita concebido para simular dinamicamente o desempenho de um sistema de tratamento de águas residuais. Contudo, somente o instalador é disponibilizado gratuitamente, não se tratando de um software de código de livre.

O *software* foi programado para funcionar somente sob o sistema operacional *Windows* e necessita de um espaço mínimo de 32 MB de memória para processamento e 100 MB de espaço no disco rígido.

Segundo seus desenvolvedores, o WRc STOAT pode ser utilizado tanto na simulação de processos individuais quanto de sistemas de tratamento completos. Seu pacote de modelagem inclui vários processos, dentre esses pode-se citar:

- Tanques primários;
- Tanques de sedimentação de lodo ativado;
- Filtros biológicos;
- Leitos de lodos biológicos fluidizados;
- Desinfecção;
- Sedimentação quimicamente assistida;
- Flotação por ar dissolvido;
- Remoção química do fósforo;
- Incineração de lodo;
- Secagem direta e indireta de lodo;
- Desidratação de lodo;
- Instrumentação;
- Tanques de detenção;
- Análises sensitivas;
- Rotinas de calibração;

- Rotinas de otimização;
- Suporte para modelos escritos por usuários.

Com uma interface simples, o usuário é capaz de construir um sistema de tratamento, definindo seus processos, a maneira como estão interligados e quais são suas características, podendo então prever o seu funcionamento em um período de tempo pré-determinado. Assim, segundo a empresa que o desenvolveu, o WRc STOAT pode ser usado em diversas aplicações, como projeto de novas obras de tratamento de esgoto, expansão de obras já existentes, planejamento e criação de novas operações e testes em diferentes condições de funcionamento.

Através de sua modelagem dinâmica, o *software* é capaz de realizar medições horárias do desempenho do tratamento de esgoto, incluindo às variações de fluxo que podem ocorrer em uma situação real de trabalho, podendo, portanto, ser utilizado na avaliação do dia-a-dia. O *software* ainda pode trabalhar na modelagem de semanas, meses e até mesmo anos (WRc plc COMPANY, 2012).

Segundo a WRc plc Company (2012) o uso do *software* WRc STOAT pode apresentar as seguintes vantagens:

- Redução de custos operacionais;
- Projetos de estações de tratamento de esgoto mais eficientes;
- Otimização das operações de tratamento de esgoto;
- Solução de problemas operacionais;
- Simulação de operação em diferentes modos de funcionamento.

3.6.1 Modelo 1 para Lodo Ativado – ASAL1

Este modelo básico, apresentado pela WRc plc Company (2012) e incorporado ao sistema do *software* WRc STOAT, é destinado à modelagem do tanque de aeração de um tratamento de Lodo Ativado levando-se em consideração a BDO e concentração de bactérias (autótrofos e heterótrofos) como principais parâmetros.

O ASAL1 compreende equações diferenciais escritas como balanços de massas em torno de um tanque de mistura. Os componentes destas equações podem ser observados no quadro que se segue, sendo os autótrofos relacionados à amônia e os heterótrofos relacionados à BDO (WRc plc COMPANY, 2012).

COMPONENTE (mg/L)	SÍMBOLO
Amônia	S_{NH3}
Nitrato	S_{NO3}
Oxigênio Dissolvido	S_O
Fosfato solúvel	S_P
DBO solúvel	S_S
Autótrofos viáveis	$X_{A,V}$
Autótrofos não viáveis	$X_{A,NV}$
Heterótrofos viáveis	$X_{H,V}$
Heterótrofos não viáveis	$X_{H,NV}$
Sólidos Suspensos	X_T

Quadro 6 - Símbolos e componentes das equações diferenciais modelo ASAL1

Segundo seus desenvolvedores, esse modelo compreende as equações apresentadas no quadro a seguir.

NOME	EQUAÇÃO
Remoção de BDO	$\frac{dS_S}{dt} = Q \cdot (S_{S,inf} - S) - \frac{\mu_H}{Y_H} \cdot X_{H,V} \cdot V - \psi \cdot X_{H,NV} \cdot V$
Heterótrofos viáveis	$\frac{dX_{H,V}}{dt} = Q \cdot (X_{H,V,in} - X_{H,V}) + \mu_H \cdot X_{H,V} \cdot V$
Heterótrofos não viáveis	$\frac{dX_{H,NV}}{dt} = Q \cdot (X_{H,NV,in} - X_{H,NV}) - K_D \cdot X_{H,NV} \cdot V$
Absorção de Oxigênio	$\frac{dS_O}{dt} = \frac{Q}{V} \cdot (S_{O,in} - S_O) + K_L a \cdot (S_O^* - S_O) - \frac{\mu_H}{Y_H} \cdot X_{H,V} - \psi_H \cdot X_{H,NV} - Y_{O,NH3} \cdot \left(\frac{\mu_A}{Y_A} \cdot X_{A,V} - \psi_A \cdot X_{A,NV} \right) - M_{O2} \cdot \frac{S_O}{K_O + S_O} \cdot X_T$
Monod – cinética de crescimento	$\mu = \frac{\mu_{m\acute{a}x} \cdot S}{K_S + S} \cdot \frac{S_O}{K_O + S_O}$
Michaelis-Menten – enzima cinética	$\psi = \frac{\psi_{m\acute{a}x} \cdot S}{K_S + S} \cdot \frac{S_O}{K_O + S_O}$

Quadro 7 - Equações modelo ASAL1

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo destina-se à apresentação da metodologia que foi utilizada no desenvolvimento deste trabalho afim de alcançar os objetivos já delimitados.

4.1 DOWNLOAD E INSTALAÇÃO DO SOFTWARE WRc STOAT

Inicialmente, foi realizado o *download* gratuito do *software* WRc STOAT no *site* do desenvolvedor, disponível em <<http://www.wrcplc.co.uk/ps-stoat>>.

Para que seja liberado este *download* é necessário que o usuário realize um simples cadastro no *site*, informando entre outros dados, o endereço eletrônico. Após ser realizado o cadastro, o requisitante receberá no endereço eletrônico informado um *link* para *download* e uma senha de acesso. Feito o *download*, o usuário, portando de sua senha, é capaz de realizar a instalação do *software* a partir do arquivo denominado “*Setup*” na pasta “*STOAT install*”. Ainda neste *download*, o usuário terá acesso ao Manual de Instalação e Guia do Usuário, Guia de Tutorial, Descrição de Modelos de Processos, entre outros documentos.

É importante lembrar que todos estes documentos se encontram apenas disponíveis em inglês e, para a interface do *software*, durante a instalação é possível escolher entre as seguintes línguas: inglês, chinês e sueco.

A versão do *software* que foi utilizada neste trabalho é a WRc STOAT 5.0 com sua interface em inglês.

4.2 APROPRIAÇÃO DO SOFTWARE E BUSCA DE DADOS LABORATORIAIS

Posteriormente feita a instalação do *software*, para início de sua apropriação, foram desenvolvidos os exemplos “*Simple Works*” e “*Nutrient Removal*”, disponíveis no documento intitulado “*Tutorials Guide*” e realizada a leitura dos demais documentos disponíveis no *download*.

O WRc STOAT necessita do ajuste preliminar do próprio sistema do computador utilizado, com a troca dos padrões numéricos. Sem isto, o *software* não é capaz de operar corretamente. Esse ajuste é apresentado na Figura 9.

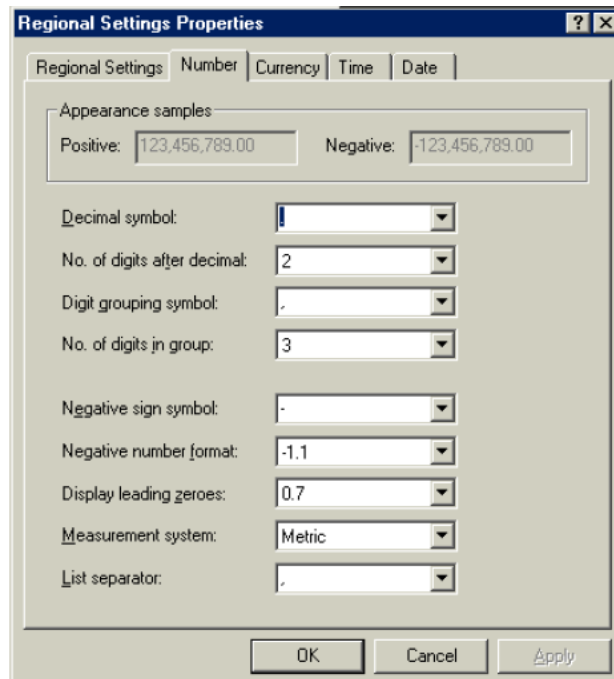


Figura 9 - Alteração do padrão numérico
Fonte: WRc STOAT (2012).

Após se familiarizar com o *software* a partir da realização de alguns tutoriais proposto pelo *Tutorial Guide*, foi buscado em bancos de dados trabalhos de pesquisas sobre sistemas de tratamento de esgotos que fornecessem os parâmetros necessários para a simulação no *software*, como vazão, temperatura, dimensões dos tanques (volume útil e área superficial), amônia, oxigênio dissolvido, DBO e volume de recirculação de lodo.

Dentre vários trabalhos analisados, a dissertação de mestrado intitulada “Análise Comparativa entre o Processo de Lodo Ativado e o Reator de Biofilme de Leito Móvel na Remoção de Nitrogênio de Esgoto Sanitário”, com autoria de Fábio Yugo Fujii, publicada em 2011 pela Universidade de São Paulo, se mostrou a mais adequada, por disponibilizar os dados necessários para entrada no programa, além de apresentar resultados gráficos do tratamento. Portanto, essa dissertação foi tomada como base para simulação neste trabalho.

O presente trabalho detém-se em simular o sistema de lodo ativado, pois a dissertação base escolhida apresenta resultados separados do sistema de lodo ativado e o sistema de reator de biofilme de leito móvel, sendo tratamentos independentes entre si. A figura a seguir esquematiza o sistema analisado.

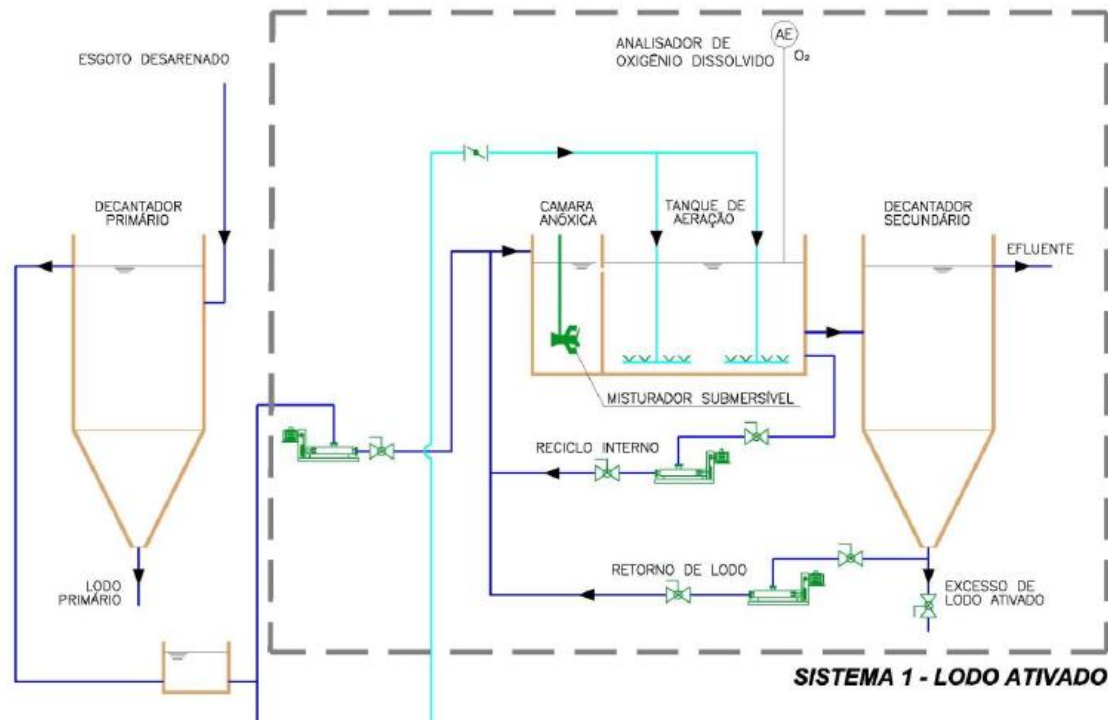


Figura 10 - Esquema de tratamento de lodo ativado
Fonte: Fujii (2011).

O sistema operou à uma temperatura média de 18°C, com DBO solúvel total inicial de 474,5 mg/L, amônia igual a 61,3 mg/L e oxigênio dissolvido de 2,0 mg/L.

As simulações realizadas neste trabalho basearam-se nas condições da Fase 1, segundo o desenvolvido por Fujii (2011), com vazão de 1,63m³/dia (0,068m³/h), tempo de detenção hidráulica de 24h, idade do lodo igual a 9,3 dias (9 dias, 7 horas e 12 minutos), relação A/M de 0,4 KgDBO/KgSSV.d, média de SST de 118,2mg/L e vazão de recirculação do lodo na ordem de 0,5 (0,034m³/h).

Seguindo a proporcionalidade de sólidos em esgotos sanitários apresentada por Piveli (2007), as quantidades de sólidos foram estimadas a partir do dado de sólidos em suspensão total igual a 118,2mg/L, como o apresentado na tabela que se segue.

Tabela 1- Concentração de sólidos no esgoto afluente

Característica	Concentração (mg/L)
Sólidos em suspensão totais	118.2
Sólidos em suspensão sedimentáveis	59.1
Sólidos em suspensão sedimentáveis voláteis	44.32
Sólidos em suspensão sedimentáveis fixos	14.78
Sólidos em suspensão não sedimentáveis	59.1
Sólidos em suspensão não sedimentáveis voláteis	44.32
Sólidos em suspensão não sedimentáveis fixos	14.78
Sólidos dissolvidos totais	275.8
Sólidos dissolvidos voláteis	82.74
Sólidos dissolvidos fixos	193.06

O decantador primário possui volume útil de $0,8\text{m}^3$ e área superficial de $0,427\text{m}^2$. O decantador secundário apresenta uma área superficial de $0,785\text{m}^2$, altura do líquido de $2,2\text{m}$ e altura de alimentação de $1,5\text{m}$, como pode ser observado na figura que se segue.

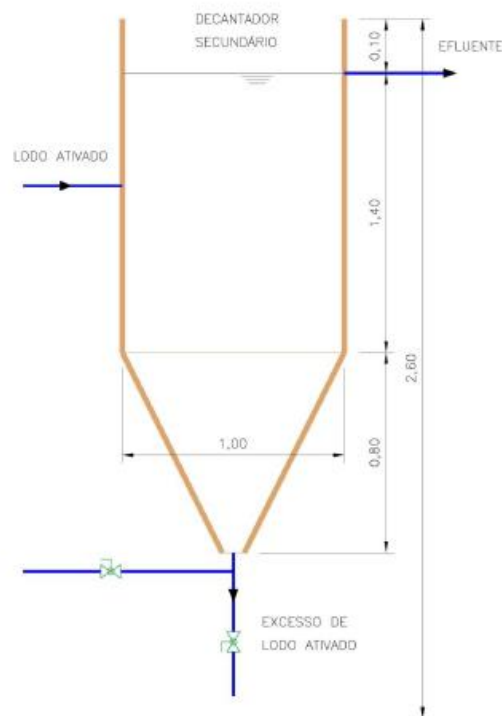


Figura 11 - Desenho esquemático do decantador secundário
Fonte: Fujii (2011).

A aeração do sistema é composta por câmara anóxica e tanque de aeração, como pode ser observado na Figura 12.

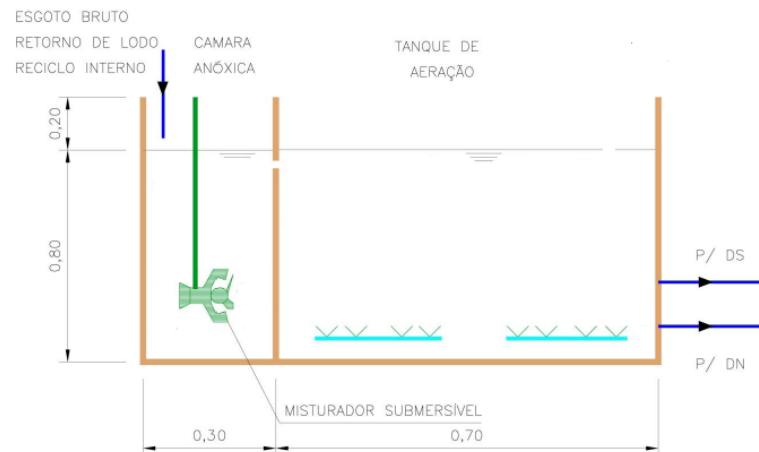


Figura 12 - Desenho esquemático da câmara anóxica e tanque de aeração
Fonte: Fujii (2011).

A câmara anóxica possui um volume útil de $0,22\text{m}^3$, correspondendo a 30% do volume total, e o tanque de aeração possui um volume útil de $0,52\text{m}^3$, equivalente aos 70% restantes do volume total.

4.3 CRIAÇÃO DE INTERFACE E REALIZAÇÃO DE SIMULAÇÃO

Escolhido o sistema de tratamento para simulação e portando dos dados laboratoriais e parâmetros de entrada, foi criada a interface do sistema no *software*.

Inicialmente, foi criado um novo arquivo, selecionando o menu “*File*” na página inicial do programa e em seguida “*New Works*”, nomeando-o adequadamente. Então forão selecionados os processos presentes no sistema escolhido, disponíveis na caixa de processos “*Processes toolbox*”, interligando-os de maneira adequada através de “*streams*”.

A interface do sistema de lodo ativado foi criada seguindo o modelo real utilizado por Fujii (2011), composta por um decantador primário, um tanque de

aeração e um decantador secundário, com recirculação de lodo. A interface do sistema pode ser observada na Figura 13.

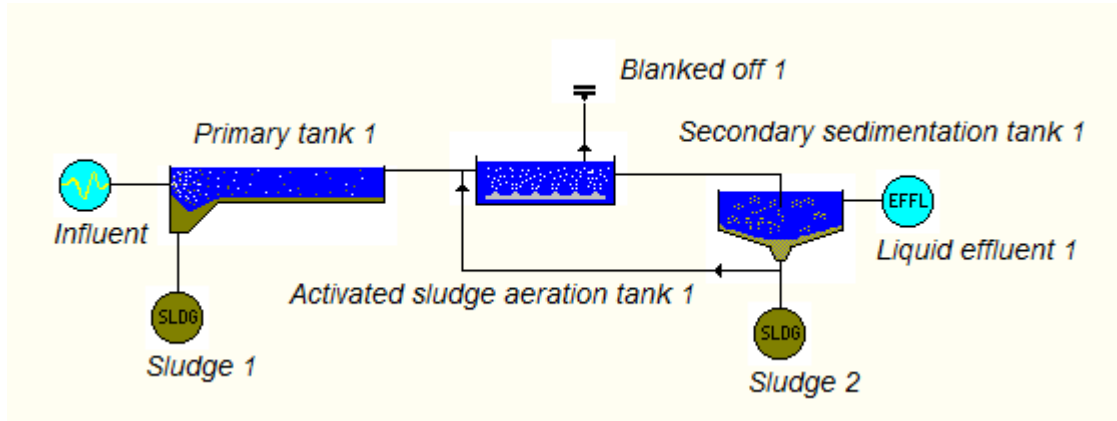


Figura 13 - Interface no STOAT do sistema de lodo ativado

O modelo escolhido para o decantador primário é o baseado em DBO, por ser a principal característica a ser analisada. Os demais dados iniciais para o decantador primário foram alterados como o apresentado na Figura 14.

Edit primary tank : Page 1 of 1

Name:	Primary tank 1
Model:	BOD
Number of stages:	3
Volume (m ³):	0.8
Surface area (m ²):	0.43

Figura 14 - Dados iniciais decantador primário

O sistema de aeração é composto por câmara anóxica e tanque de aeração, portanto, apresenta 2 estágios, com recirculação do tanque de aeração para a câmara anóxica, caracterizando 1 reciclo de MLSS (*Mixed liquor suspend solids*) e seguiu a configuração indicada pelo *Tutorial Guide*, o modelo ASAL1A, com AO (*Anoxic-Oxic – nitrogen removal*). Os dados iniciais para o tanque de aeração são apresentados na Figura 15.

Edit activated sludge aeration tank : Page 1 of 1

Name: Activated sludge aeration tank 1

Process model: ASAL1A

Volume (m³): 0.52

Number of stages: 2

Number of MLSS recycles: 1

Wastage method

- None
- Continuous rate
- Variable rate
- Variable time

Stage from which MLSS is wasted: 1

Stage in which MLSS is measured: 1

OK Cancel Reset More Help

Figura 15 - Dados iniciais tanque de aeração

Como o modelo utilizado no tanque de aeração é o ASAL1A, como o indicado no tutorial do *software*, o modelo equivalente a ser utilizado no decantador secundário deve ser SSED1, como apresentado no arquivo *Process Model Descriptions*. Os dados iniciais para o decantador secundário podem ser verificados na figura que se segue.

Edit secondary sedimentation tank : Page 1 of 2

Name:	Secondary sedimentation tank 1
Model:	SSED1
Number of vertical layers:	8
Surface area (m ²):	0.78
Depth of tank (m):	2.2
Depth of feed (m):	1.5
RAS flow	
<input checked="" type="radio"/> Rate <input type="radio"/> Ratio	
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="More"/> <input type="button" value="Help"/>	

Figura 16 - Dados iniciais decantador secundário

A corrida foi configurada entrando no menu “*File*” e em seguida, “*New Run*”, nomeando-a adequadamente e entrando com os devidos dados segundo o apresentado por Fujii (2011), como pode ser observado na figura a seguir.

New run (cold start) : Page 1 of 1

Name of run:	Run 1
Start date and time (dd/mm/yy hh:mm):	16/09/2016 00:00
End date and time (dd/mm/yy hh:mm):	25/09/2016 07:12
Input timestep (h):	1
Output timestep (h):	24
Average sewage temperature (°C):	18
BOD removed per unit non-biomass VS removed:	0.4
BOD removed per unit biomass removed:	0.4
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="More"/> <input type="button" value="Help"/>	

Figura 17 - Configuração da corrida

O esgoto afluente foi caracterizado de acordo com os dados fornecidos na dissertação base, como a Figura 18 demonstra.

Influent pattern (influent pattern 6)

	Flow (m3/s)	Temperature (deg. C)	pH	Volatile fatty acids (mg COD/l)	Soluble BOD (mg/l)	Soluble inert COD (mg/l)	Particulate BOD (mg/l)	Particulate inert COD (mg/l)	Viable solids (mg/l)	Non-viable solids (mg/l)	Ammonia (mg/l)
Mean:	0.3680000	18.0000000	7.0000000	5.0000000	474.5000000	0.0000000	254.7000000	0.0000000	171.4000000	222.6000000	81.3000000
Phase (h):	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Amplitude (%):	50.0000000	0.0000000	0.0000000	50.0000000	50.0000000	50.0000000	50.0000000	50.0000000	50.0000000	50.0000000	50.0000000
Frequency:	0.2621611	0.0007161	0.2621611	0.2621611	0.2621611	0.2621611	0.2621611	0.2621611	0.2621611	0.2621611	0.2621611

Close Save Save As Reset Help

Figura 18 - Caracterização do esgoto afluente

Para simulação do sistema e entrada de dados iniciais foram realizados 2 testes principais. No primeiro teste, foi realizado uma calibração mais minuciosa, alterando a quantidade de sólidos (sedimentáveis voláteis, sedimentáveis não voláteis, não sedimentáveis voláteis e não sedimentáveis não voláteis). E a quantidade de DBO, *viable heterotrophs*, *viable autotrophs* e *mixed liquor suspend solids*, foram determinadas de acordo com a devida proporcionalidade com base nas quantidades sugeridas no *Tutorial Guide*, adequando-as com o apresentado por Fujii (2011).

Já no segundo teste, foi mantido os dados padrões estabelecidos pelo próprio *software* para alguns parâmetros (*viable heterotrophs*, *viable autotrophs* e *mixed liquor suspend solids*), sem a realização de proporcionalidade e sem a alteração das quantidades de sólidos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PRIMEIRO E SEGUNDO TESTES

Para o primeiro teste, ao entrar com os dados proporcionais de DBO, *viable heterotrophs*, *viable autotrophs* e *mixed liquor suspend solids* e alterar as quantidades de sólidos, o que caracteriza uma calibração mais minuciosa, aproximando-se ao máximo o sistema simulado do modelo real realizado por Fujii (2011), o *software* apresentou uma mensagem de erro, não realizando a simulação.

A Figura 19 exemplifica a entrada de dados, principalmente quanto a quantidade de sólidos, referindo-se as condições iniciais para o decantador primário neste primeiro teste.

Edit primary tank initial data

		Stage1	Stage2	Stage3
1	Soluble BOD (mg/l):	474.50	474.50	474.50
2	Soluble inert COD (mg/l):	0.00	0.00	0.00
3	Ammonia (mg/l):	61.30	61.30	61.30
4	Nitrate (mg/l):	0.00	0.00	0.00
5	Soluble organic nitrogen (mg/l):	0.00	0.00	0.00
6	Soluble phosphate (mg/l):	0.00	0.00	0.00
7	Dissolved oxygen (mg/l):	2.00	2.00	2.00
8	BOD of volatile fatty acids (mg/l):	0.00	0.00	0.00
9	Settl. particulate BOD (mg/l):	0.00	0.00	0.00
10	Non-settl. partic. BOD (mg/l):	0.00	0.00	0.00
11	Settleable particulate inert COD (mg/l):	0.00	0.00	0.00
12	Nonsettleable particulate inert COD (mg/l):	0.00	0.00	0.00
13	Settl. volatile solids (mg/l):	44.33	44.33	44.33
14	Non-settl. volatile solids (mg/l):	44.33	44.33	44.33
15	Settl. non-volatile solids (mg/l):	14.77	14.77	14.77
16	Non-settl. non-volatile solids (mg/l):	14.77	14.77	14.77
17	Settl. partic. organic N (mg/l):	0.00	0.00	0.00
18	Non-settl. partic. organic N (mg/l):	0.00	0.00	0.00
19	Temperature (°C):	18.00	18.00	18.00

OK Cancel Reset Help

Figura 19 - Condições iniciais do decantador primário (1º teste)

A mensagem de erro não especifica em qual parte da simulação os dados são considerados errôneos e nem direciona o usuário à possíveis correções. O comando de ajuda do próprio *software* (não ativo para o sistema operacional *Windows 10*), não traz maiores informações.

Foram realizadas várias simulações para este primeiro teste, alterando-se a quantidade de dados de entrada, mas sempre mantendo a temperatura de 18°C e a proporcionalidade de sólidos e DBO. Todas as tentativas geraram erro.

A autora da tese de Mestrado “Simulação de um Sistema de Tratamento de Águas Residuais de Lamas Ativadas”, Laís Daleffe Leite, publicada em 2016 pelo Instituto Politécnico de Bragança em Portugal, a qual trabalhou com o WRc STOAT, sugeriu manter os valores padrões propostos no *Tutorial Guide* não realizando proporcionalidade, nem mesmo para a DBO e para os sólidos.

Segundo a autora, o WRc STOAT trabalha melhor apenas com pequenas modificações, tratando-se de uma calibração mais empírica, mantendo-se a maior parte dos valores padrões. A mesma manteve esses valores fornecidos no *Tutorial Guide* realizando pequenos ajustes até o sistema funcionar como o esperado.

Assim, no segundo teste, foram mantidos os valores propostos no *Tutorial Guide*, alterando apenas alguns dados como a quantidade de amônia, oxigênio dissolvido, DBO e temperatura.

A figura a seguir exemplifica a entrada dos dados iniciais no decantador primário para o 2º teste.

Edit primary tank initial data

		Stage1	Stage2	Stage3
1	Soluble BOD (mg/l):	474.50	474.50	474.50
2	Soluble inert COD (mg/l):	0.00	0.00	0.00
3	Ammonia (mg/l):	61.30	61.30	61.30
4	Nitrate (mg/l):	0.00	0.00	0.00
5	Soluble organic nitrogen (mg/l):	0.00	0.00	0.00
6	Soluble phosphate (mg/l):	0.00	0.00	0.00
7	Dissolved oxygen (mg/l):	0.00	0.00	0.00
8	BOD of volatile fatty acids (mg/l):	0.00	0.00	0.00
9	Settl. particulate BOD (mg/l):	70.00	70.00	70.00
10	Non-settl. partic. BOD (mg/l):	30.00	30.00	30.00
11	Settleable particulate inert COD (mg/l):	0.00	0.00	0.00
12	Nonsettleable particulate inert COD (mg/l):	0.00	0.00	0.00
13	Settl. volatile solids (mg/l):	140.00	140.00	140.00
14	Non-settl. volatile solids (mg/l):	40.00	40.00	40.00
15	Settl. non-volatile solids (mg/l):	40.00	40.00	40.00
16	Non-settl. non-volatile solids (mg/l):	20.00	20.00	20.00
17	Settl. partic. organic N (mg/l):	0.00	0.00	0.00
18	Non-settl. partic. organic N (mg/l):	0.00	0.00	0.00
19	Temperature (°C):	18.00	18.00	18.00

OK Cancel Reset Help

Figura 20 - Condições iniciais do decantador primário (2º teste)

Da mesma forma, para o segundo teste foram realizadas diversas simulações, realizando a calibração do sistema para que se aproximasse ao máximo da situação real apresentada por Fujii (2011). Contudo, a maioria das simulações não apresentaram resultados satisfatórios, apesar de agora, mantendo a maior parte dos valores padrões, o *software* realizar a corrida, o que não aconteceu no 1º teste.

A figura a seguir exemplifica um resultado não satisfatório apresentado para o efluente final.

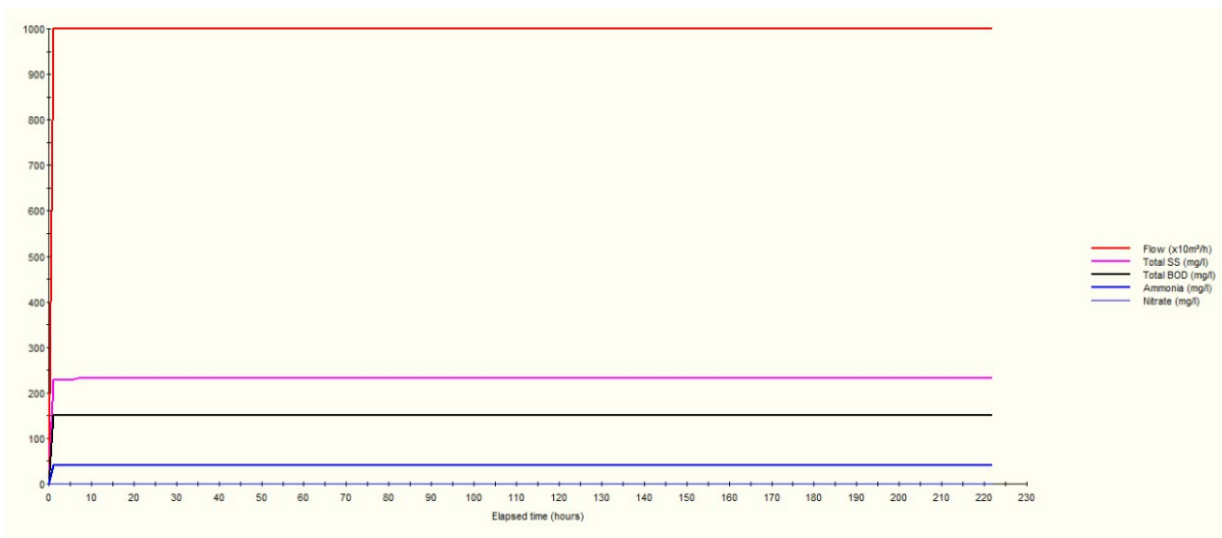


Figura 21 - Resultado insatisfatório para efluente final (2º teste)

Pode-se perceber facilmente a partir da Figura 21, que a simulação realizada pelo *software* não gera resultados satisfatórios, uma vez que o tratamento de lodo ativado visa, entre outras coisas, diminuir a quantidade de DBO presente no esgoto, o que não acontece nesta simulação, onde a DBO mantém-se constante em todo o decorrer do tratamento.

Dentre todas as simulações realizadas para o 2º teste, apenas uma resultou em dados comparáveis e ainda somente em relação a DBO, comparando-se o efluente no tanque de aeração em simulação no WRc STOAT e o efluente final apresentado por Fujii (2011).

A Figura 22 apresenta o resultado obtido para a DBO no tanque de aeração nesta simulação no WRc STOAT.

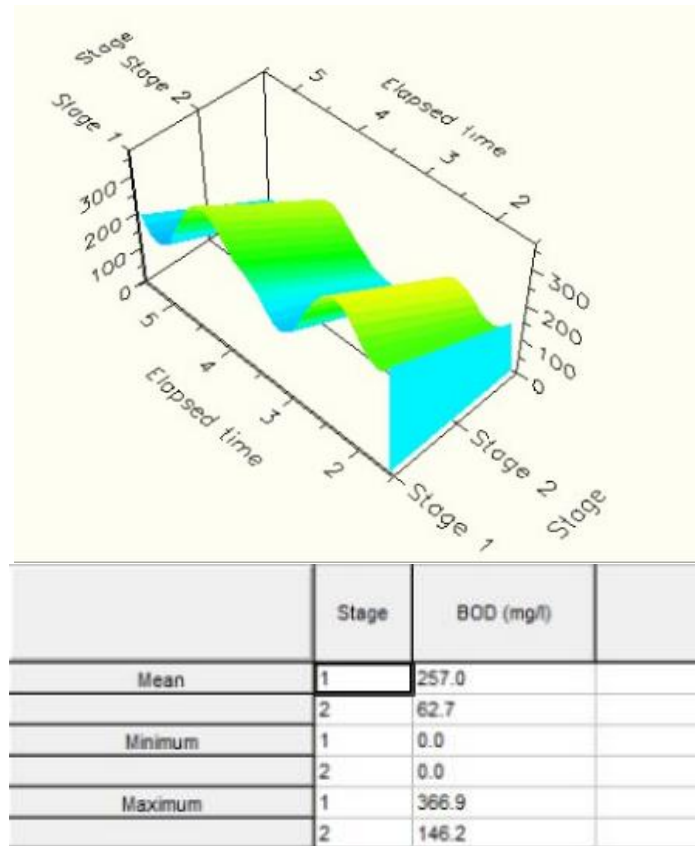


Figura 22- Resultado DBO (mg/L) no tanque de aeração em simulação do WRc STOAT (2º teste)

Estes resultados obtidos para o tanque de aeração foram comparados com o efluente final obtido por Fujii (2011), levando-se em consideração que após esta fase do tratamento, a maior parte de DBO já foi removida, sendo apenas uma pequena parcela posteriormente removida pelo decantador secundário.

A comparação entre os valores de DBO apresentadas nessa simulação pelo WRc STOAT e por Fujii (2011) podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 - DBO total FUJII e WRc STOAT

	DBO total (mg/L)		
	FUJII	STOAT	DIFERENÇA
Mínimo	71	0	71
Média	214	62.7	151,3
Máximo	352	146.2	205,8

Analisando os resultados explicitados na Tabela 2, percebe-se que, em relação à média de DBO, o WRc STOAT difere em 151,3 mg/L de Fujii (2011), apresentando um desvio médio de 75,65, o que caracteriza uma grande diferença. Enquanto essa diferença é ainda maior para os valores máximos, 205,8 mg/L, e um pouco mais satisfatória para os valores mínimos, 71 mg/L.

Sendo o desvio médio (DM) calculado por:

$$DM = \sum_{i=1}^N \frac{(C_m^i - C_0^i)}{N}$$

(7)

Onde C_m e C_0 representam o valor médio da variável observada por Fujii (2011) e a simulada no WRc STOAT.

E, ainda para esta simulação, o resultado apresentado para o efluente final não pode ser considerado, uma vez que apresenta uma variação irreal dos parâmetros observados, como a BDO que chega a ficar nula por um período de tempo durante o tratamento e volta a elevar-se, tornando-se até mesmo superior do que a observada no afluente.

A variação da DBO no efluente final obtida desta simulação no *software* pode ser observada na figura que se segue.

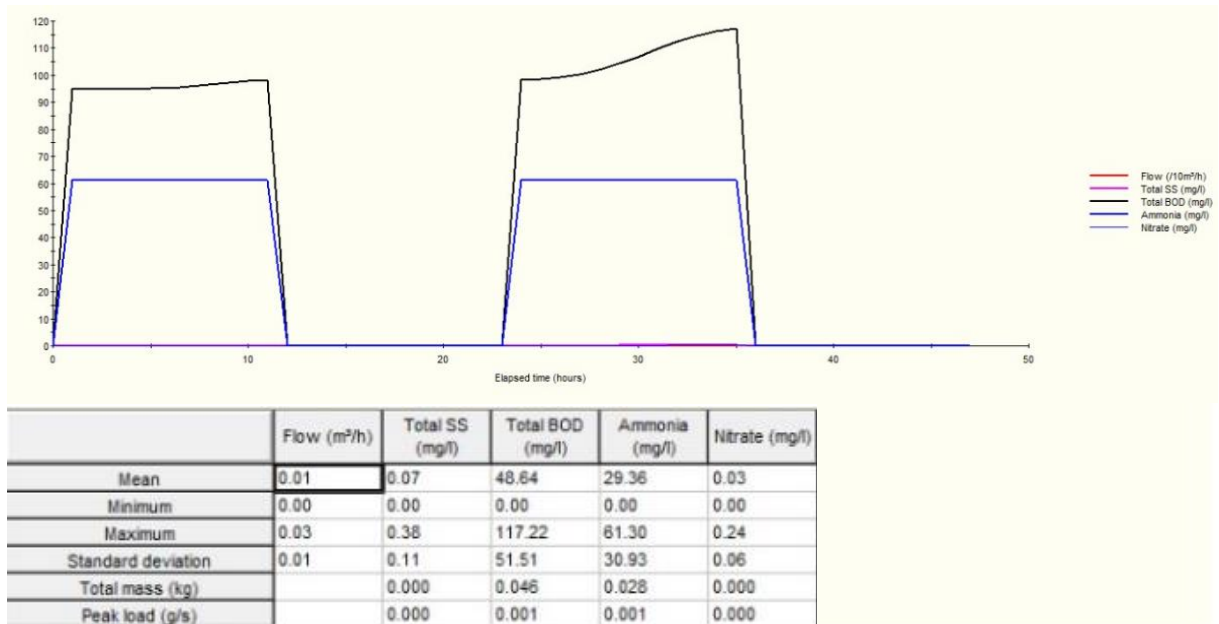


Figura 23 - Resultado efluente final em simulação do WRc STOAT (2º teste)

Ainda foram realizadas outras simulações para o 2º teste, mas nenhuma obteve resultado satisfatório ou que se aproximasse dos dados apresentados no trabalho base.

5.2 APROPRIAÇÃO E DEMAIS OBSERVAÇÕES SOBRE O WRc STOAT

Como observado no desenvolver dos dois testes anteriormente explicitados e em contato pessoal com a autora Laís Daleffe Leite, o *software* somente aceita pequenos ajustes nos valores padrões previamente estabelecidos por seus desenvolvedores e, assim, distancia-se da realidade do sistema. Ainda que se tenha realizado diversas simulações para ambos os testes e dispendido vários meses em estudos (de março a outubro de 2016), os resultados positivos obtidos do *software* que se aproximaram dos resultados do trabalho base, são praticamente nulos.

A calibração do sistema é realizada baseada nessas pequenas modificações dos valores padrões até que se chegue em um desempenho equivalente aos dados obtidos de um tratamento real. Dessa forma, o *software* não se torna viável em casos que se necessite simular e verificar o comportamento e o desempenho de um sistema de tratamento inexistente ou em projeto.

Ao tentar se aproximar ao máximo do sistema real com uma calibração mais minuciosa, como o descrito durante o teste 1, o WRc STOAT retorna uma mensagem de erro. Contudo, ele não apresenta maiores informações sobre o erro ocorrido, ou quais seriam as possíveis soluções. As informações fornecidas pelo guia de ajuda do *software* são tão pouco suficientes para a compreensão do erro, além do fato de esta guia não estar disponível para o sistema operacional *Windows 10*, sendo necessário o acesso a partir de versões anteriores.

Durante o processo de conhecimento e apropriação do *software* foram lidos diversos documentos fornecidos no pacote de *download*, contudo, esses se mostraram insuficientes para compreensão do sistema, contendo informações muito básicas. Foi necessário, portanto, a busca em outras literaturas sobre alguns parâmetros considerados no tratamento, sem os quais o WRc STOAT não é capaz de simular a corrida, mas que não são comumente analisados em lodos ativados, como *viable heterotrophs* e *viable autotrophs*, que devem ser mantidos os valores pré-estabelecidos.

Os documentos fornecidos pelos desenvolvedores no pacote de *download* além de se mostrarem insuficientes à apropriação ainda continham dados desatualizados sobre a versão do *software*. No caso, foi necessário a busca posterior do *Tutorial Guide, Installation and User Guide e Unit Process Descriptions* na versão 5.0, utilizada neste trabalho.

Durante a utilização do WRc STOAT percebeu-se a constante necessidade de reinstalação do *software* após cada reinicialização do sistema operacional do computador. Isso somado com o fato de que não foi verificada a possibilidade de exportação de dados ou o compartilhamento de trabalhos desenvolvidos, só contribui para uma inviabilidade de uma aplicação real.

Ainda sobre o sistema operacional, há pequenas modificações que devem ser realizadas que podem passar despercebidas, mas que alteram drasticamente os resultados simulados. O padrão numérico deve ser alterado, mudando o símbolo de agrupamento de dígitos e o de separação decimal. Sem essas alterações o sistema não é capaz de operar corretamente lendo, por exemplo, um número que deveria ser 30,05 como 3005,00.

Neste trabalho, de forma geral, a apropriação do WRc STOAT por parte do usuário pode ser considerada como não efetiva, por envolver demasiadas informações que devem ser buscadas em literaturas externas e em documentos que

não acompanham o *download* ou ainda compreensões que só são possíveis através da explicação por parte de outros usuários já familiarizados com o *software*. Para que a apropriação fosse efetiva, seria necessário, por exemplo, uma capacitação do usuário para utilização.

E, assim, por não apresentarem resultados positivos tanto para apropriação quanto para a geração de resultados confiáveis, que se aproximam de um sistema real, as vantagens de utilização do software apresentadas pelos próprios desenvolvedores, como redução de custos, solução de problemas operacionais e otimização das operações de tratamento ficaram comprometidas neste estudo.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir da análise realizada neste trabalho, o WRc STOAT pode ser considerado como inapropriado na utilização de modelagem de sistemas de tratamento de esgotos reais, além de não apresentar uma efetiva apropriação por parte do usuário.

Dos dois testes realizados neste estudo e das diversas simulações efetuadas, nenhuma resultou em dados que se aproximassem satisfatoriamente dos obtidos por Fujii (2011). Apenas uma simulação resultou em dados comparáveis quanto a DBO, apresentando, contudo, um desvio médio de 75,65 entre os valores médios em comparação.

Os documentos presentes no pacote de *download* são insuficientes para total compreensão do funcionamento do *software*, necessitando da busca externa de dados e referências. Além de que alguns dos documentos não estão atualizados com a versão presente para instalação, a 5.0.

O *Tutorial Guide* não abrange todos os possíveis cenários de tratamento, contemplando apenas os mais básicos sistemas, sendo insuficiente para total compreensão do usuário. O *software ainda* aceita apenas pequenas modificações, sendo necessário a conservação da maior parte dos valores padrões para os parâmetros apresentados no *Tutorial*.

O WRc STOAT não apresenta um suporte eficiente para a compressão de erros ocorridos na modelagem, limitando até mesmo o sistema operacional do computador ao qual o *software* é utilizado. A guia de ajuda, a qual não possui informações suficientes para compreensão do erro, não é operável no sistema *Windows 10*.

Houve a necessidade de constante reinstalação do *software* a cada reinicialização do sistema computacional e não foi verificada a possibilidade de exportação de dados e compartilhamento de trabalhos desenvolvidos.

Todos esses fatos conjuntos contribuem para o não cumprimento da finalidade do *software* neste estudo, não sendo eficaz na previsão do funcionamento de um sistema de tratamento de esgoto. E não sendo também, aplicável em sistemas inexistentes ou em projeto, uma vez que são necessários dados provenientes de um sistema real para realizar a calibração.

Os estudos de aplicabilidade de *softwares* na modelagem de sistemas de tratamento de esgoto ainda é um assunto relativamente novo no país. Em pesquisa, foi encontrado apenas um trabalho envolvendo o assunto desenvolvido no Brasil, o de título “Aplicação do Modelo ASM1 em uma ETE de Lodos Ativados” e autoria de Ronaldo Debiasi, desenvolvida em Florianópolis (SC) pela Universidade Federal de Santa Catarina.

O presente trabalho caracteriza, portanto, uma análise inicial que pode dar base ao desenvolvimento de trabalhos futuros.

A título de sugestão fica a análise da modelagem matemática aplicada pelo *software*, a qual o presente estudo não entrou em mérito. Dessa análise poderia ser compreendido melhor quais parâmetros devem manter-se fixos na modelagem e qual a finalidade dessa fixação.

Seria interessante, também, contatar a empresa desenvolvedora e verificar a possibilidade de envio de mais documentos referentes ao funcionamento e modelagem do WRc STOAT, e um *Tutorial Guide* que abrangesse uma maior quantidade de sistemas de tratamento.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014**. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Brasília, DF, 2016. 212 p.

DEBIASI, Ronaldo. **Aplicação do Modelo ASM1 em uma ETE de Lodos Ativados**. 2012. 113 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/124863/TCCII%20-%20Ronaldo%20Debiasi.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 19 mar. 2016.

FUJII, Fábio Yugo. **Análise Comparativa entre o Processo de Lodo Ativado e o Reator de Biofilme de Leito Móvel na Remoção de Nitrogênio de Esgoto Sanitário**. 2011. 109 f. Dissertação de Mestrado – Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-12122011-134438/pt-br.php>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento**. Ministério da Saúde. Brasília, 2004.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4ª edição. Rio de Janeiro: Editora SEGRAC, 2005.

LEITE, Laís Daleffe. **Simulação de um Sistema de Tratamento de Águas Residuais de Lamas Ativadas**. 2016. Dissertação de Mestrado – Tecnologia Ambiental. Escola Superior Agrária – Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2016.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. Metcalf & Eddy, Inc. 3 ed., 1991, 1334p.

PIVELI, Roque Passos. **Tratamento de Esgoto Sanitário**. 2007. 131 f. Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – PHA. São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.phd.poli.usp.br/default.aspx?id=27&link_uc=disciplina>. Acesso em: 11 maio 2016.

RECESA – REDE DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO. **Esgotamento Sanitário: Operação e manutenção de sistemas simplificados de tratamento de esgoto: Guia do profissional em treinamento: nível 1.** Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://nucase.desa.ufmg.br/wp-content/uploads/2013/07/ES-OMSS.2.pdf>>. Acesso em 16 maio 2016.

SPERLING, Marcos von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996.

SPERLING, Marcos von. **Lodos Ativados.** 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1997.

WRc STOAT: Wastewater process design and dynamic modeling. WRc plc Company. Inglaterra, 2012. Disponível em: <<http://www.wrcplc.co.uk/>>. Acesso em 07 mar. 2016.

WRc plc COMPANY. **STOAT Download Request.** Inglaterra, 2016. Disponível em: <<http://sites.wrcplc.co.uk/freeware/STOAT/downloadform.aspx>>. Acesso em 07 mar. 2016.

WRc plc COMPANY. **WRc STOAT: Dynamic Modelling of Wastewater Treatment Plants.** Inglaterra, 2012. Disponível em: <<http://www.wrcplc.co.uk/Data/Sites/1/media/pdfs/general/STOAT.pdf>>. Acesso em 07 mar. 2016.