



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
M O N D L A N E

ESCOLA SUPERIOR DE DESENVOLVIMENTO RURAL

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

**Avaliação da Eficiência na Remoção de Matéria Orgânica e Sólidos
Suspensos Totais na Estação de Tratamento de Águas Residuais da Cidade
da Beira**

Licenciatura em Engenharia Rural com Especialização em Água e Saneamento

Autor:

José Mingos Malunga

Vilankulo, Maio 2015

José Mingos Malunga

**Avaliação da Eficiência na Remoção de Matéria Orgânica e Sólidos
Suspensos Totais na Estação de Tratamento de Águas Residuais da Cidade
da Beira**

Relatório apresentado ao Departamento de Engenharia Rural, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Rural com Especialização em Água e Saneamento.

Supervisor:

drº. Lário Herculano, MSc

UEM-ESUDER

Vilankulo

2015

DEDICATÓRIA

Dedico esta obra a toda minha família, em especial ao meu ente-querido pai David José Malunga Minha mãe inocência Cândido Naife, a todos os meus irmãos em particular a Gildo David Malunga, Yolanda Malunga e Edite Baltazar Bila, Orlando Majaia, Inocência Majaia.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradecer a Deus pela vida e por me torna mais que vencedor, por ter dado saúde, muita força em todos dias que estive estudando, e por permitir todas realizações na minha vida.

Agradecer a toda minha família, ao meu ente-querido pai David José Malunga, a minha mãe Inocência Cândido Naífe, meu padrasto Orlando Madjaia, meus irmãos, Gildo Malunga, Edite Baltazar e Yolanda Malunga que nunca deixaram faltar amor, carinho, atenção, incentivo e apoio durante todo o tempo.

Agradeço ao meu supervisor dr.Lário Herculano pela orientação e ajuda com o trabalho, a Escola Superior de Desenvolvimento Rural pela formação, em especial a todos docentes que contribuíram para que isso fosse possível.

A todos colegas da turma de Engenharia rural e Água e saneamento que durante todo esses anos apoiávamos-nos uns aos outros sem deixar um para trás, em especial aos meus colegas: Olaia Júnior, Jerónimo Mata, Edgar Chinhama, Jonas Mavie, Joel Paporo, Constâncio Nhamosse, Leonardo Niquisse, Paulo Mavaieie, Osvaldo Benzane, que me ajudaram muito e apoiaram na elaboração do trabalho.

A todos funcionários da ETAR da Cidade da Beira, em especial ao Doutor Carlos Morais técnico laboratorial, ao Senhor Maquina operador principal, e o chefe da ETAR Doutor Cláudio por terem permitido o meu estágio, pelo carinho, amizade e ajuda durante o trabalho, pois sem eles este trabalho não seria possível.

A todos que aqui não foram mencionados, que directa ou indirecta contribuíram para que a realização deste trabalho fosse possível.

*A todos vocês o meu **MUITÍSSIMO OBRIGADO!***

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

BRM	Boletim da República de Moçambique
CBO ₅	Carência Bioquímica de Oxigénio após 5 dias de incubação
CQO	Carência Química de Oxigénio
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
DBO ₅	Demanda bioquímica de Oxigénio após 5 dias de incubação
DQO	Demanda Química de Oxigénio
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuárias
ETARB	Estação de Tratamento de Águas Residuárias da Beira
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FB	Filtro Biológico
OD	Oxigénio Dissolvido
PGPS	Portal do Governo da Província de Sofala
pH	Potencial Hidrogénio
RAFA	Reactor Anaeróbico Fluxo Ascendente
RESTR	Restrição
SABS	Serviço Autónomo de Saneamento da Cidade da Beira
SAAE	Sistema de Abastecimento de Água e Esgoto
SS	Sólidos Suspensos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SD	Sólidos Dissolvidos
SV	Sólidos Voláteis
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
ST	Sólidos Totais
UASB	<i>Up Flow Anaerobic Sludge Blanket</i>
UV	Ultra Violeta

m	Metro
m ²	Metro Quadrado
mg/l	Miligrama por Litro
mg/l O ₂	Miligrama por Litro de Oxigénio
ml	Mililitros
T°C	Temperatura em Graus Celcius
E	Eficiência de Remoção
C _o	Concentração do Afluente Poluente
C _e	Concentração do Efluente Poluente
K ₂ Cr ₂ O ₂	Dicromato de Potássio
Km ²	Quilómetro Quadrado
Km	Quilómetro
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
CH ₄	Metano
H ₂ S	Ácido Sulfídrico
g	Gramma

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Lista de Figuras

Figura n° 1: Sistema Convencional de Colecta e Tratamento de Esgoto	9
Figura n° 2: Fases de um Sistema de Tratamento Combinado de Reactor Anaeróbio (UASB) e Filtro Biológico (FB)	10
Figura n° 3: Reactor Anaeróbio Fluxo Ascendente	15
Figura n° 4: Esquema de um Filtro Biológico	16
Figura n° 5: Localização Geográfica da Cidade da Beira	23
Figura n° 6: Vista Satélite da ETAR da Beira	25
Figura n° 7: Configuração da linhagem de tratamento da ETARB	26
Figura n° 8: Esquematização da Metodologia	27
Figura n° 9: Colecta de Amostras do Afluente Bruto	29
Figura n° 10: Amostras de Esgoto Bruto e Tratado	30
Figura n° 11: p ^H metro	30
Figura n° 12: Dessecador de Amostras	31
Figura n° 13: Balança Usada para Pesagem das Amostras de Sólidos Suspensos	32
Figura n° 14: Fase de Mistura das Amostras com os Reagentes para a Determinação de DQO ..	33
Figura n° 15: Entrada do Esgoto Bruto, Composta por Grades Estáticas	37
Figura n° 16: Grelhas Mecânicas, (pré-tratamento complementar)	38
Figura n° 17: Pontes Raspadoras de Óleos e Graxas	38
Figura n° 18: Reactor Anaeróbio de Fluxo Ascendente	39
Figura n° 19: Armazém do Lodo em Processo de Secagem	40
Figura n° 20: Filtro Biológico	40
Figura n° 21: Decantador Secundário	41
Figura n° 22: Filtro de Areia e Sistema Ultra Violeta	41

Lista de Gráficos

Gráfico n° 1: Variação Média Anual do pH e Temperatura	43
Gráfico n° 2: Variação Anual da Concentração da Demanda Química de Oxigénio	44
Gráfico n° 3: Concentração Anual dos Sólidos Suspensos (mg/l)	45
Gráfico n° 4: Concentração Anual da Demanda Bioquímica de Oxigénio	46
Gráfico n° 5: Relação DQO/DBO ₅ do Afluente Bruto	48
Gráfico n° 6: Relação DQO/DBO ₅ do Efluente Tratado	48

Lista de Tabelas

Tabela n° 1: Matéria Orgânica na Água Residual	17
Tabela n° 2: Eficiência de Remoção da DBO em Sistemas Anaeróbicos	17
Tabela n° 3: Classificação dos Sólidos no Esgoto.....	20
Tabela n° 4: Eficiência de Remoção para Diversos Tipos de Tratamento	21
Tabela n° 5: Classificação da Relação DQO/DBO ₅ em Baixa e Alta	22
Tabela n° 6: Parâmetros Químicos Analisados e a Programação de Monitoramento	28
Tabela n° 7: Parâmetro de Lançamento de Águas Residuárias	35
Tabela n° 8: Legislação Europeia n° 91/271/EEC Usada para Controlo Analítico na ETARB	36
Tabela n° 9: Eficiência na Remoção de Matéria Orgânica e Sólidos Suspensos em Porcentagem em (%).....	46

LISTA DE APÊNDICES E ANEXOS

Lista de Apêndices

Apêndice n° 1: Resultados das Concentrações da Temperatura, OD, pH do Afluente, e Efluente no ano 2014.....	I
Apêndice n° 2: Resultados das Eficiências na Remoção de DQO e DBO ₅ no ano 2014.....	I
Apêndice n° 3: Resultados da Eficiência na Remoção da Matéria Orgânica Partindo da Relação DQO/DBO ₅ , na Variação Anual da Concentração em 2014	II
Apêndice n° 4: Resultados da Eficiência na Remoção de SST em 2014	II
Apêndice n° 5: Incubadora e Filtrador a Vacuo	III
Apêndice n° 6: Reagentes Usados no Laboratorio e Capsulas de Porcelana Usadas para como Auxilio na Determinacao De SST	III
Apêndice n° 7: Oxímetro (medidor de nível de oxigénio dissolvido) e Instrumentos de Auxílio para Análises Laboratoriais	IV
Apêndice n° 8: Caixa de Distribuição do Efluente nos Reactores UASB/Rafa e Frascos da DBO ₅	IV
Apêndice n° 9: Sistema Ultra Violeta e Desarenado.....	V
Apêndice n° 10: Caixa de Saida dos Decantadores Secundarios.	V
Apêndice n° 11: Leitos de Secagem e Torneira de Efluente Tratado.....	VI
Apêndice n° 12: Junção da Conduta Elevatória/Bypass , e Bombas em Paralelo de Elevação do Afluente Bruto	VI
Apêndice n° 13: tabela comparativa da relacao DQO/DBO ₅ dos aflentes da ETARB com os parametros previstos por SPERLING, 2014	VII
Apêndice n° 14: demonstração do cálculo de sólidos suspensos realizados no dia 17/09/2014 e 18/09/2014.....	VII
Apêndice n° 15: Leitura do pH e do Oxigénio Dissolvido a Temperatura nos 6 Reactores Anaeróbicos	VIII

Lista de Anexos

Anexo nº 1: Padrões Gerais de Descarga de Águas Residuais Domésticas e Industriais no Meio Receptor Decretam nº 30/2003 de 1 de Julho	IX
Anexo nº 2: Carta Geológica da Beira, com Implantação das Áreas de Trabalho e Pontos Amostrados.....	X
Anexo nº 3: Laboratório da ETAR 2014 - Quadro de Análises de Rotina e de Eficácia.....	XI

RESUMO

A presente pesquisa foi realizada na Estação de Tratamento de afluentes da Beira (ETARB), que está situada na província de Sofala, Cidade da Beira localidade da Munhava-Matope, com objectivo principal de avaliar a eficiência de tratamento de remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos totais. Para alcançar os objectivos recorreu-se a um estágio na ETAR, de modo a conhecer o funcionamento do sistema. Foram determinados os parâmetros (temperatura, pH, DQO, DBO₅, e SST). Foram feitas colectas de amostras do afluente bruto (nas pontes raspadoras de óleos e graxas), e do efluente tratado (na caixa de saída dos decantadores secundários) de acordo com a metodologia proposta no “*Standard Methods for examination of water and waste water*”, para a submissão das amostras no laboratório de modo a obter as concentrações de cada parâmetro analisado. Para a avaliação da eficiência do sistema na remoção da matéria orgânica e sólidos suspensos recorreu-se ao uso do método comparativo dos parâmetros estudados por alguns autores usados como referência, e em comparação com a legislação Europeia nº 91/271/EEC usada para o controlo analítico na ETARB. A legislação Moçambicana não faz menção dos parâmetros DQO, DBO₅ e SST para avaliar a eficiência do sistema. A eficiência máxima na remoção de sólidos suspensos foi de 96% e mínima de 42%. Na remoção da DQO a eficiência máxima foi de 92,83%, e mínima de 48,22%. Na remoção da DBO₅ obteve-se uma eficiência máxima de 84,97% e mínima de 57,10%. Verificou-se que 70% das amostras dos sólidos suspensos não estiveram dentro dos parâmetros, na remoção da DQO 73% das amostras também não estiveram dentro do parâmetro estabelecido, e 20% das amostras da DBO₅ estiveram de acordo com os parâmetros estabelecidos na legislação Europeia.

Palavra-chave: *Tratamento anaeróbio, eficiência, matéria orgânica e sólidos suspensos*

ÍNDICE

I.INTRODUÇÃO	1
1.1. Problema de Estudo	3
1.2. Justificativa	4
1.3. Objectivos	5
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Água residual.....	6
2.1.1. Composição das águas residuárias	6
2.1.2. Impurezas nas águas residuárias (físicas – químicas).....	7
2.1.2.1. Impurezas de natureza física.....	7
2.1.2.2. Impurezas químicas	8
2.2. Tratamento de águas residuárias	8
2.3. Processos de tratamento de águas residuais.....	9
2.3.1. Tratamento Preliminar.....	10
2.3.1.1. Gradagem	10
2.3.2. Tratamento Primário	11
2.3.3. Tratamento Secundário	11
2.3.4. Tratamento Terciário.....	11
2.3.4.1. Desinfecção final	12
2.4. Tecnologias de tratamento	12
2.5. Tratamento de águas residuárias por vias (aeróbico e anaeróbico)	13
2.5.1. Tratamento por vias anaeróbica	13
2.5.2. Processo de tratamento aeróbico	13
2.6. Reactores anaeróbicos fluxo ascendente (RAFA/UASB)	14
2.7. Filtro biológico aeróbico.....	15
2.8. Parâmetros químicos (DBO ₅ , DQO, pH) de águas residuais e físicos, (SST, T°C)	16
2.8.1. Matéria orgânica na água residual.....	16

2.8.2. Demanda bioquímica de oxigénio (DBO ₅)	17
2.8.3. Demanda Química de Oxigénio (DQO).....	18
2.8.4. Potencial hidrogeniónico (pH)	19
2.8.5. Sólidos nas águas residuais	19
2.8.6. Temperatura.....	20
2.9. Eficiência de remoção da matéria orgânica (DQO, DBO ₅) e sólidos suspensos totais .	20
2.9.1. Relação entre a DQO e a DBO ₅	21
III. METODOLOGIA.....	23
3.1. Descrição da área de estudo.....	23
3.1.2. Caracterização da cidade da beira	23
3.1.3. Estação de tratamento de águas residuais da Cidade da Beira.....	24
3.1.4. Composição estrutural do sistema.....	25
3.1.5. Saneamento na Cidade da Beira.....	26
3.2. Materiais e métodos	26
3.2.1. Levantamento bibliográfico	27
3.2.2. Colecta de amostras.....	27
3.2.3. Forma de colecta e armazenamento de dados	29
3.2.4. Procedimentos Realizados no Laboratório.....	30
3.2.5. Determinação da Quantidade de Sólidos Suspensos (SST)	31
3.2.6. Determinação da Demanda Química do Oxigénio (DQO)	32
3.2.7. Determinação da Demanda Bioquímica de Oxigénio (DBO ₅).....	33
3.3. Determinação da Eficiência do Sistema	34
3.4. Processamento e Análises dos Dados Colectados	35
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1. Descrição dos processos de tratamento da ETAR	37
4.1.1. Pré-Tratamento.....	37
4.1.3. Leitões de Secagem.....	39

4.1.4. Tratamento Secundário	40
4.1.5. Tratamento terciário.....	41
4.2. Determinação dos parâmetros físicos e químicos (temperatura, pH, DQO, SST, DBO ₅)	42
4.2.1. Temperatura	42
4.2.2. Demanda química de oxigênio (DQO).....	43
4.2.2.1. Afluente bruto.....	43
4.2.2.2. Efluente tratado.....	43
4.2.3. Sólidos suspensos totais (SST).....	44
4.2.3.1. Afluente bruto.....	44
4.2.3.2. Afluente tratado	44
4.3. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO ₅).....	45
4.3.1. Afluente bruto	45
4.3.2. Afluente Tratado	45
4.4.1. Análise da Eficiência Remoção do Sistema.....	46
4.4.2. Relação DQO/DBO ₅ do Efluente Bruto.....	47
V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	50
5.1. Conclusões	50
5.2. Recomendações	51
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

I. INTRODUÇÃO

Segundo SPERLING (2014), a água residual doméstica é considerada como um despejo em forma líquida resultante dos usos para a higiene pessoal e necessidades fisiológicas, e tem uma taxa de retorno de 80% da vazão da água distribuída para o abastecimento, devendo-se tomar em consideração os padrões de lançamento estabelecidos nas legislações para o descarte nos corpos receptores, deste modo contribuindo para a minimização dos níveis de contaminação das águas subterrâneas e das superficiais.

A quantidade de matéria orgânica no esgoto, constituída por nutrientes tais como, o (fósforo e o nitrogénio), sólidos dissolvidos e em suspensão, material inerte, presente nos afluentes domésticos é importante, pois estes parâmetros contribuem para-se conhecer o grau de poluição da água residuária, e também para-se dimensionar e medir a eficiência das estações de tratamento de esgotos (ETEs). Pois quanto maior for o grau de poluição orgânica, maior será DBO_5 e a DQO do corpo de água, porém à medida que ocorre a estabilização da matéria orgânica, decresce também a DBO_5 e a DQO (JORDÃO& PESSÔA, 2005).

O tratamento das águas residuárias, por meios biológicos, são de grande importância devido a sua vasta aplicabilidade e eficiência na remoção de poluentes, todavia os mecanismos de tratamento biológico procuram reproduzir os processos naturais de autodepuração dos corpos de água de forma mais acelerada nas unidades de tratamento, agindo com o objectivo de coagular e remover o material coloidal não sedimentável para a estabilização da matéria orgânica, tornando-as em condições adequadas para serem rejeitadas nos corpos receptores de acordo com a legislação vigente (METCALF & EDDY, 2003).

Com o desenvolvimento de diversas pesquisas mundialmente, com a implantação de sistemas de tratamento de águas residuárias, tem-se desenvolvido alternativa de tratamento de esgotos empregando reactores anaeróbios (UASB) de fluxo ascendente e manta de lodo em combinação com filtros biológicos (FB), esta tecnologia foi desenvolvida inicialmente na Holanda nos anos 1970, pois observa-se uma grande expansão destes sistemas na aplicação de tratamento de esgotos domésticos, pode-se afirmar que, o emprego dos reactores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo é bastante difundido entre as diversas companhias de saneamento do mundo, constituindo uma alternativa para a melhoria dos índices de tratamento de esgotos (CHERNICHARRO, 2007).

Os reactores UASB- FB, além de ser um tipo de tecnologia muito viável pelos custos de implantação e gasto de energia, é caracterizado também por ser um tipo de sistema que

pode tratar esgotos domésticos que apresentam altos valores de carga orgânica (alta fracção biodegradável), chegando até 95% de remoção (FONSECA, 2005).

Actualmente a colecta, tratamento, e disposição final de águas residuais em Moçambique, esta sendo um desafio de extrema importância, pois a nível nacional existe ainda um défice na disposição de sistemas adequados para tratamento de águas residuárias, pois na legislação Moçambicana não estão estabelecidos todos os parâmetros para avaliar a eficiência de tratamento de uma ETAR, e como consequência, tem-se registado várias doenças de contaminação hídrica, criando a necessidade do país investir em projectos de expansão de sistemas melhorados de saneamento, pois os meios receptores estão cada vez mais poluídos (FERNANDES *et al.*, 2010).

A cidade da Beira esta localizada no centro do país, é a única que conta com um sistema de tratamento UASB-FB de águas residuárias. Antes da implantação da estação de tratamento de águas residuais, os afluentes líquidos gerados eram descartados directamente nos corpos receptores. O sistema implantado na ETARB permite depurar os afluentes líquidos gerados, que posteriormente são descarregados no estuário do rio Pungoé, contudo devido as deficiências funcionais na rede, é comum descarregar a água não tratada em vários pontos ao longo dos rios ou da costa.

A presente pesquisa focar-se-á na avaliação da eficiência de remoção da matéria em forma de DBO₅, e DQO, e sólidos suspensos totais na estação de tratamento de águas residuais da Cidade da Beira localidade da Munhava Matope.

1.1. Problema de Estudo

Segundo a Organização das Nações Unidas-ONU (2008), a população mundial ultrapassava 7 bilhões de habitantes, e que 40% dessa população não tinha acesso a redes colectoras de esgoto, tendo causado a morte de mais de 1.5 bilhões de crianças até o ano de 2007, por consequência de doenças de veiculação hídrica.

A intrusão de substâncias orgânicas nos corpos de água tem causado aumentos significativos nos níveis de poluição, pois a matéria orgânica presente nos afluentes lançados consomem grande parte do oxigénio dissolvido (METCALF & EDDY, 2003).

Um dos problemas que atinge várias cidades de Moçambique é a falta de colecta, transporte e tratamento adequado dos afluentes líquidos gerados, os quais ficam expostos a céu aberto e lançados directamente nos cursos de água sem o seu devido tratamento, interferindo negativamente na saúde pública e na qualidade da água dos corpos receptores.

O tratamento de efluentes domésticos em Moçambique particularmente na província de Sofala é feito na Estação de Tratamento de Efluentes da Beira-ETARB, onde trata os esgotos por intermédio de reactores anaeróbios de fluxo ascendente - RAFA/UASB seguidos por filtro biológico percolador, possibilitando a remoção de poluentes.

O desconhecimento da eficiência de remoção da matéria orgânica e sólidos suspensos no sistema de tratamento de águas residuais da Beira pode contribuir para a poluição dos corpos receptores, pois a remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos pode não cumprir com a legislação vigente, desse modo surge a seguinte questão de pesquisa: *Os processos de tratamento de esgoto usados na ETARB são eficientes na remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão?*

1.2. Justificativa

A implantação de uma estação de tratamento de esgotos tem por objectivo a remoção dos principais poluentes presentes nas águas residuárias, retornando-as ao corpo receptor em condições estabelecidas pela legislação vigente.

Os sistemas UASB Combinado de filtros biológicos (FB), tem como vantagem principal tratar os afluentes por via anaeróbica e aeróbica, boas eficiências de remoção da matéria orgânica, capacidade de produzir um efluente com condições adequadas para ser lançado ao corpo receptor de acordo com os parâmetros vigentes na legislação, contribuindo assim para a melhoria dos aspectos sanitários dos corpos receptores, melhorando também a qualidade da água para abastecimento.

A escolha da cidade da Beira para o presente estudo deve-se ao facto desta estar a enfrentar problemas de saneamento que podem contribuir para o aumento dos índices de poluição nos corpos receptores, e contribuir para o aumento da taxa de mortalidade devido ao surgimento de doenças de vinculação hídrica tais como cólera, hepatite, infecciosa, disenteria, diarreias. A avaliação da eficiência de remoção da matéria orgânica e de sólidos suspensos, permite estimar a sua eficiência e comparar os valores encontrados recomendados para o lançamento pela legislação Moçambicana, e pela norma usada para controlo analítico na ETARB.

1.3. Objectivos

Geral

- ✓ Avaliar a eficiência na remoção da matéria orgânica e sólidos suspensos totais na estação de tratamento de águas residuais da Cidade da Beira.

Específicos

- ✓ Descrever os processos de tratamento da ETAR da Cidade da Beira;
- ✓ Determinar os parâmetros físicos e químicos (Temperatura, pH, DQO, SST, DBO5) do afluente e efluente;
- ✓ Determinar a eficiência de remoção da matéria orgânica e SST do sistema.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Água residual

Segundo BRAGA (2005), a água residual é um termo usado para caracterizar os despejos provenientes dos diversos usos da água, tais como: doméstico, comercial, industrial, agrícola, em estabelecimentos públicos e outros. É importante salientar que a quantidade de água residual produzida diariamente em uma cidade pode variar bastante, depende de factores como: hábitos, condições sócio económicas da população, o clima, o custo de medição da água, a qualidade das instalações hidráulicas, a conservação de aparelhos sanitários.

A combinação dos resíduos líquidos de habitações, estabelecimentos comerciais e industriais podendo estar associados com água subterrânea, superficial ou pluvial designam-se por esgoto ou águas residuais, e que 50 a 80% das águas residuais provem de usos domésticos. O esgoto doméstico inclui os resíduos líquidos gerados nas residências, escolas e comércio em geral, e provenientes das latrinas, pias de cozinha, máquinas ou tanques de lavar roupa/louça e demais águas servidas das edificações, que se destinam à rede pública de colecta (METCALF & EDDY, 2003).

Os efluentes líquidos industriais são despejos líquidos provenientes de estabelecimentos industriais, restos de processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico (CAVALCANTI, 2009).

2.1.1. Composição das águas residuárias

Segundo SPERLING (1996), a composição dos esgotos domésticos é de aproximadamente 99,9% de água e 0,1% de matéria orgânicas e inorgânica (biodegradável e não biodegradável suspensos e dissolvidos, e microorganismos, pois é devido está pequena fracção de 0.1%, que leva o esgoto a ter a necessidade ser submetido a um tratamento.

As águas residuais domésticas compõem-se essencialmente da água do banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem, provenientes principalmente de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavadeiras, cozinhas ou qualquer dispositivo de utilização da água para fins domésticos (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

Segundo BENETTI & BIDONE (1997), a água residual doméstica é caracterizada por apresentar uma composição praticamente uniforme, constituída principalmente por matéria

orgânica biodegradável, microrganismos tais como, os vírus, bactérias, fungos, protozoários, e por ser composto também por compostos por nutrientes como (nitrogénio e fósforo), óleos, graxas, e detergentes.

2.1.2. Impurezas nas águas residuárias (físicas – químicas)

De acordo com SPERLING (1996), no projecto de uma estação de tratamento de esgotos (ETE), normalmente não há o interesse em se determinar todos compostos dos quais a água residuária é constituída, tendo em vista a complexidade das análises de laboratório que seriam necessárias, e a pequena utilidade prática desses resultados como elementos para subsidiar o projecto e operação da mesma. Desta forma, é preferível a utilização de parâmetros indirectos que traduzam o carácter ou potencial poluidor do efluente em questão. Esses parâmetros são divididos em três categorias: físicos, químicos e biológicos.

2.1.2.1. Impurezas de natureza física

As impurezas de natureza física são causadas por substâncias cuja presença afecta as características da água, independentemente de sua natureza química ou biológica, as Partículas sólidas suspensas ou em estado coloidal (orgânicas ou inorgânicas) alteram a transparência (turbidez) e cor da água, podendo precipitar-se na forma de lodo. Além disso, outras substâncias dissolvidas também poderão conferir alterações de cor, manifestação de odor e também variações de temperatura CETESB (2006).

De acordo com ERIKSSON (2002) a coloração, turbidez, o odor, a variação de vazão, a matéria sólida são os principais indicadores que representam o estado da água residuária, porém a coloração indica o estado de decomposição do esgoto, pois este parâmetro é um indicador que fornece dados que podem caracterizar o estado do despejo. Como exemplo, a cor preta é típica do esgoto velho e de uma decomposição parcial, enquanto a tonalidade acinzentada já indica um esgoto fresco.

Segundo SILVA (2004), o odor surge durante o processo de decomposição da matéria orgânica, que por sua vez nesta fase de decomposição geram-se 3 tipo de odores característicos dentre os quais são:

- ✓ O odor razoavelmente suportável, típico do esgoto fresco;
- ✓ O odor insuportável, típico do esgoto velho ou séptico, que provém da formação de Gás sulfídrico oriundo da decomposição do lodo contido nos despejos;

- ✓ E os odores variados, de produtos podres como de repolho, peixe, legumes; de fezes de produtos rançosos; de acordo com a predominância de produtos sulfurosos, nitrogenados e ácidos orgânicos.

2.1.2.2. Impurezas químicas

As substâncias orgânicas e inorgânicas solúveis constituem impurezas de natureza química, a fracção orgânica é representada por proteínas, gorduras, hidratos de carbono, fenóis e por uma série de substâncias artificiais, fabricadas pelo homem, como detergentes e defensivos agrícolas. As substâncias minerais mais importantes são nutrientes (nitrogénio e fósforo), enxofre, metais pesados e compostos tóxicos, (FOSTER *et al.*, 2003).

Segundo JORDÃO & PESSÔA, (2009), a matéria orgânica é um dos principais constituintes das impurezas de natureza química tendo Cerca de 70% dos sólidos no esgoto médio, porém estes compostos são constituídos principalmente por proteínas, carboidratos, gordura e óleos, e em menor parte, por ureia, fenóis, pesticidas, contudo ainda divide-se esta fracção de Material orgânico seguindo o critério de biodegradabilidade, classificando-os em inerte ou biodegradável

2.2. Tratamento de águas residuárias

Segundo METCALF & EDDY (2003), objectivo principal do tratamento de águas residuárias são de forma simplificada, a separação, tratamento e eliminação dos poluentes provenientes de origem orgânicas e inorgânicas da água, de modo a restituir para os meios hídricos sem comprometer negativamente o ecossistema.

De acordo com LEMOS (2011), os afluentes gerados, podem-se apresentar poluídas com diversas substâncias, pois a importância de um sistema de tratamento é a remoção dos poluentes das águas residuais, de modo que as mesmas sejam descarregadas no meio ambiente em condições que não provoquem desequilíbrios ecológicos e que, como objectivo último, possam ser reutilizadas, e sistema adequado de tratamento de águas residuais deve:

- ✓ Garantir que as condições ecológicas dos meios receptores não são afectadas;
- ✓ Garantir a utilização recreativa das águas nos meios receptores;
- ✓ Proteger as reservas de água potável;
- ✓ Evitar riscos para a saúde pública.

O sistema convencional urbano de tratamento de esgoto é constituído por colectores residenciais de esgoto, que encaminham o esgoto através das condutas principais para uma estação de tratamento, que reaproveita o lodo produzido para a agricultura, após a sua estabilização, o esgoto é posteriormente descartado para o corpo receptor. A figura nº 1 ilustra um sistema convencional urbano de tratamento de esgoto.



Figura nº 1: Sistema Convencional de Colecta e Tratamento de Esgoto

Fonte: COPASA, 2007

2.3. Processos de tratamento de águas residuais

Segundo CAVALCANTI (2009), o processo tratamento de águas residuais por meios biológicos consiste na degradação biológica de águas residuárias predominante de origem orgânica e biodegradável pela acção de microrganismos que metabolizam a matéria orgânica e orgânica biodegradável das águas residuárias predominante, sendo a biodegradação o mecanismo mais importante de remoção da matéria orgânica responsável pela remoção da DBO solúvel que é directamente proporcional a concentração e as características biomassa presente.

O princípio geral dos processos de tratamento águas residuais envolve várias etapas, iniciando com os processos de separação de material grosseiro, seguido do tratamento primário (UASB), tratamento secundário (FB), e por fim a decantação secundária, para o posterior lançamento nos corpos de água, como ilustra a figura nº 2.

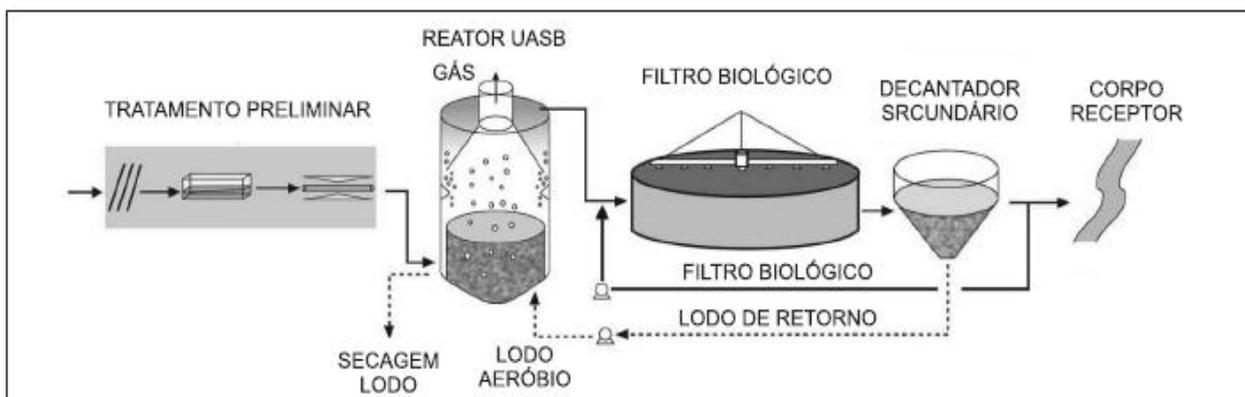


Figura nº 2: Fases de um Sistema de Tratamento Combinado de Reactor Anaeróbio (UASB) e Filtro Biológico (FB)

Fonte: SPERLING, 2005

2.3.1. Tratamento Preliminar

De acordo com JUNIOR (2001), o tratamento preliminar consiste na remoção de grandes sólidos e areia para proteger as demais unidades de tratamento, os dispositivos de transporte (bombas e tubulações) e os corpos receptores. A remoção da areia previne, ainda, a ocorrência de abrasão nos equipamentos e tubulações e facilita o transporte dos líquidos. É feita com o uso de grades que impedem a passagem de trapos, papéis, pedaços de madeira, etc; caixas de areia, para retenção deste material; e tanque de flutuação para retirada de óleos e graxas em casos de esgoto industrial com alto teor destas substâncias.

Segundo LEMOS (2011), o tratamento preliminar das águas residuárias é normalmente a primeira fase de purificação. O seu objectivo é a remoção de materiais de grande dimensão presentes no efluente. Esta acção é fundamental para evitar riscos de colmatação de tubagens, bombas e outros equipamentos, bem como para minimizar interferências em etapas posteriores de tratamento do efluente. No processo de fabrico e na fábrica em geral são gerados 3 tipos de efluentes, separados na origem, sendo cada um enviado para a estação de tratamento de efluentes (ETAR) através de condutas individualizadas.

2.3.1.1. Gradagem

A gradagem consiste na passagem do afluente num canal onde estão colocadas uma ou mais grades de diferentes tamanhos, que retém os resíduos grosseiros, nesta operação a limpeza regular das grades é um aspecto muito importante, sendo esta operação efectuada manualmente ou mecanicamente, os sólidos recolhidos pelas grades são os primeiros subprodutos gerados pelo tratamento de águas residuárias (JORDÃO & PESSÔA, 2009).

2.3.2. Tratamento Primário

Os esgotos, ainda contêm sólidos em suspensão não grosseiros cuja remoção pode ser feita em unidades de sedimentação, reduzindo a matéria orgânica contida no efluente. Os sólidos sedimentáveis e flutuantes são retirados através de mecanismos físicos, via decantadores. Os esgotos fluem vagarosamente pelos decantadores, permitindo que os sólidos em suspensão de maior densidade sedimentem gradualmente no fundo, formando o lodo primário bruto. Os materiais flutuantes como graxas e óleos, de menor densidade, são removidos na superfície. A eliminação média do DBO é de 30% (SILVA, 2004).

O efluente contém uma grande variedade de partículas pequenas (areias, microrganismos, fibras e outros). O objectivo da etapa de tratamento primário é remover a maior parte dos sólidos suspensos na água residual. Este processo físico é executado em bacias designadas de clarificadores primários (CHERNICHARO, 2007).

2.3.3. Tratamento Secundário

O tratamento secundário consiste principalmente na remoção de sólidos e de matéria orgânica não sedimentável e eventualmente nutrientes como nitrogénio e fósforo, nesta fase a eliminação de DBO deve alcançar 90%. Esta etapa de remoção biológica dos poluentes a sua eficiência permite produzir um efluente em conformidade com o padrão de lançamento previsto na legislação ambiental. Basicamente, são reproduzidos os fenómenos naturais de estabilização da matéria orgânica que ocorrem no corpo receptor, sendo que a diferença está na maior velocidade do processo, na necessidade de utilização de uma área menor e na evolução do tratamento em condições controladas (VON SPERLING, 2005).

De acordo com METCALF & EDDY (2003), o desenvolvimento tecnológico no tratamento de esgotos está concentrado nas etapas secundárias e posteriores. Uma das tendências verificada é o aumento na dependência de equipamentos em detrimento do uso de produtos químicos para o tratamento.

2.3.4. Tratamento Terciário

De acordo com NUVOLARI (2003), o tratamento terciário é uma etapa adicional do processo de tratamento sendo executado como medida de protecção adicional do ambiente, antes da descarga das águas residuais tratadas no meio receptor natural. É também, habitualmente utilizado quando o aproveitamento da água residual tratada tiver por objectivo

a sua reutilização, nomeadamente para rega (culturas agrícolas, jardins e campos de golfe), para fins recreativos e para consumo humano.

O processo de tratamento secundário, geralmente consiste num processo biológico, onde a matéria orgânica (poluente) é consumida por microorganismos aeróbicos nos chamados filtros biológicos e reactores biológicos. Estes reactores são normalmente constituídos por tanques com grande quantidade de microorganismos aeróbios, havendo por isso a necessidade de promover o seu arejamento. A eficiência de um tratamento secundário pode chegar a 95% ou mais dependendo da operação da ETE. Os microorganismos sofrem posteriormente um processo de sedimentação nos designados decantadores secundários (SPERLING, 2014).

2.3.4.1. Desinfecção final

Grande parte dos microorganismos patogénicos foi eliminada nas etapas anteriores, mas não a sua totalidade. A desinfecção total pode ser feita pelo processo natural - lagoa de maturação, por exemplo - ou artificial - via cloração, ozonização ou radiação ultravioleta. A lagoa de maturação demanda grandes áreas pois necessita pouca profundidade para permitir a penetração da radiação solar ultravioleta. Entre os processos artificiais, a cloração é o de menor custo mas pode gerar subprodutos tóxicos, como os organoclorados. A ozonização é muito dispendiosa e a radiação ultravioleta não se aplica a qualquer situação (PESTANA & GANGHIS, 2010).

2.4. Tecnologias de tratamento

O tratamento biológico é a forma mais eficiente de remoção da matéria orgânica dos esgotos porém, a matéria orgânica do esgoto é decomposta pela acção das bactérias presentes no próprio efluente, transformando-se em substâncias estáveis, ou seja as substâncias orgânicas insolúveis que dão origem a substâncias inorgânicas solúveis. Havendo oxigénio livre (dissolvido), são as bactérias aeróbias que promovem a decomposição (SAAE, 2006).

O tratamento biológico possui a capacidade de promover a remoção das substâncias orgânicas biodegradáveis (coloidais ou dissolvidas) e também de nutrientes (nitrogénio e fósforo) com mais eficiência, agindo com o objectivo de coagular e remover material coloidal não sedimentável para a estabilização da matéria orgânica. Diversos organismos actuam nos processos de tratamento biológicos, sendo os principais as bactérias. Protozoários, fungos, algas e vermes também desenvolvem papel importante no tratamento biológico, (METCALF & EDDY, 2003).

As tecnologias de tratamento de efluentes, nada mais são que o aperfeiçoamento do processo de depuração da natureza, buscando reduzir seu tempo de duração e aumentar sua capacidade de absorção, com consumo mínimo de recursos em instalações e operação e o melhor resultado em termos de qualidade do efluente lançado, sem deixar de considerar a dimensão da população a ser atendida (SAAE, 2006).

2.5. Tratamento de águas residuárias por vias (aeróbico e anaeróbico)

Nos afluentes domésticos brutos, existem vários tipos de microrganismos adaptados às condições do meio sendo eles designados por: aeróbicos, que utilizam oxigênio presente no meio para a sua respiração e para facilitar a decomposição da matéria orgânica utilizando, e os microrganismos anaeróbicos, não obtêm energia por meio da respiração aeróbica (SPERLING, 2014).

2.5.1. Tratamento por vias anaeróbica

O processo do tratamento anaeróbico, visa converter a matéria orgânica por meio de condições com ausência de oxigênio molecular livre, pois este processo de tratamento pode ser considerado um processo onde diversos grupos de microrganismos trabalham interactivamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano (CH_4), água (H_2O), gás sulfídrico (H_2S), e além de produzir novas células bacterianas, porém os sistemas de tratamento anaeróbico tendem a desenvolver uma população bacteriana compatível com a natureza do material orgânico, das cargas orgânicas e hidráulicas (NASCIMENTO, 2011).

Segundo CHERNICHARO (1997), a existência de condições ambientais adequados para a digestão anaeróbia; o tamanho da população bacteriana (que contribuem para a eficiência de retenção do lodo no sistema), a natureza do material orgânico a ser digerido, a intensidade de contacto entre o material orgânico do efluente e as populações bacterianas, o tempo de permanência do efluente a ser tratado no sistema, são considerados como factores preponderantes para o sucesso do tratamento anaeróbico.

2.5.2. Processo de tratamento aeróbico

No processo de tratamento aeróbicos de águas residuárias são empregados microorganismos que tem a função de biooxidar a matéria orgânica presente utilizando o oxigênio, normalmente neste processo existem vários tipos de microrganismos aeróbicos que actuam conjuntamente nos processos de estabilização da matéria orgânica, dentre eles, a

microfauna que é composta por protozoários, fungos, leveduras, mas porém a maioria desses microrganismos estabilizadores da matéria orgânica é composta por bactérias. Existem vários sistemas aeróbicos de tratamento de águas residuárias, todavia as mais empregadas são as lagoas facultativas, lagoas aeradas, filtros biológicos aeróbios, valas de oxidação, disposição controlada no solo e sem dúvida uma das opções mais utilizadas é o lodo activado (SOUZA, 2008).

2.6. Reactores anaeróbicos fluxo ascendente (RAFA/UASB)

De acordo com SPERLING (2014), os reactores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (RAFA) ou ainda reactores UASB (*up flow Anaerobic Sludge blanket*) é um sistema de tratamento de esgotos em que a biomassa cresce dispersa, e não aderida a um tipo de meio suporte no interior do reactor, devido a elevada concentração da biomassa o volume dos reactores é reduzido em comparação com os demais sistemas de tratamento.

O processo consiste basicamente no fluxo ascendente do esgoto por meio de um leito de lodo denso e de elevada actividade, com colecta do efluente na parte superior do reactor. A estabilização da matéria orgânica ocorre pela passagem e mistura do esgoto no leito de lodo provida pelo fluxo ascensional e pelas bolhas de gás (LEITÃO *et al.*, 2005).

Segundo NASCIMENTO (2001), o reactor UASB é considerado ao mesmo tempo como um decantador primário, os reactores UASB apresenta ainda algumas dificuldades inerentes ao próprio processo de tratamento de esgotos sanitários com os riscos de grandes variações da carga hidráulica (vazão), porém são caracterizados por serem sistemas compactos, de baixo custo de implantação e operação; baixa produção de lodo e consumo de energia, a eficiência na remoção de DBO e DQO ronda em torno de 65% a 75%.

2.6.1. Vantagem e Desvantagens dos reactores UASB/RAFA

De acordo com SPERLING (1996), com a implantação de reactores anaeróbicos em unidade de tratamento de águas residuárias são vantajosas: Por apresentar eficiências satisfatórias na remoção da DBO₅, baixos custos de implantação e operação e reduzido consumo de energia, construção operação e manutenção simples com baixas produção de lodo e estabilização do lodo no próprio reactor apresentando-se com uma boa eficiência na desidratabilidade do lodo, e tem como desvantagem por apresentar dificuldade em satisfazer padrões de lançamento bem restritivos, pois nesta fase o efluente apresenta-se com aspecto desagradáveis, a remoção de nitrogénio e fósforo é insatisfatória, a partida do processo de

decomposição anaeróbica é geralmente lenta relativamente sensível a variações de carga, pois usualmente necessita de um pós-tratamento.

O reactor anaeróbico de fluxo ascendente, possui uma composição interna constituída por um separador trifásico, que por sua vez faz a divisão do lodo efluente e o gás metano (CH_4), conforme observa-se na figura nº 3.

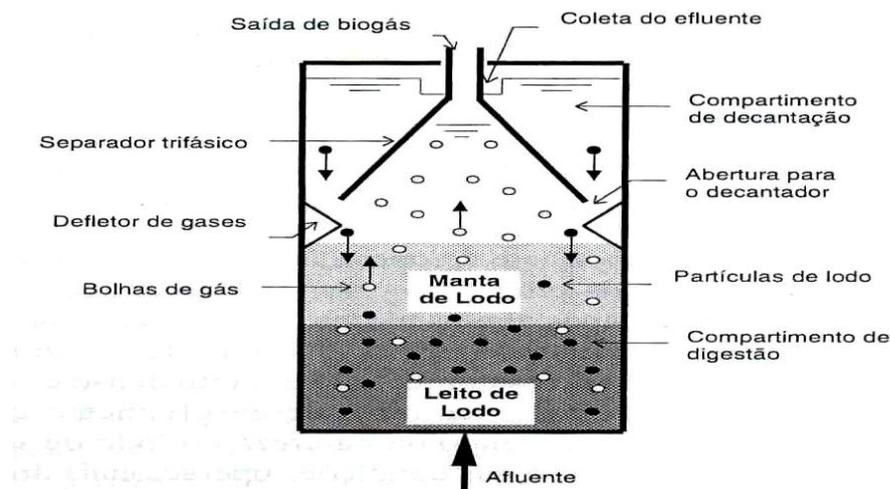


Figura nº3: Reactor Anaeróbico Fluxo Ascendente

Fonte: *CHERNICHARO, 2007*

2.7. Filtro biológico aeróbico

Segundo SPERLING (2014), um filtro biológico compreende basicamente num leito de material grosseiro, tal como pedras britas, escória de alto-forno, ripas ou material plástico, sobre o qual os esgotos são aplicados de forma de gotas ou jactos. Após a aplicação os esgotos percolam em direcção aos drenos de fundo. Esta percolação permite o crescimento bacteriano na superfície da pedra ou do material de enchimento, na forma de uma película fixa, esta fase permite com que 95% a 97% da matéria orgânica seja removida, permitindo com que o efluente fique mais clarificado e sem o cheiro característico, pois os responsáveis pelo cheiro característico do efluente nomeadamente o ácido sulfúrico (H_2S) e metano CH_4 , são removidos quase na totalidade nesta fase.

Filtros biológicos são sistemas aeróbicos, pois o ar circula nos espaços vazios entre as pedras, fornecendo o oxigénio para a respiração dos microrganismos aeróbicos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, a ventilação é usualmente natural, a aplicação dos esgotos sobre o meio e frequentemente feita através de distribuidores rotativos movidos pela carga hidráulica do esgoto (CHERNICHARO, 2001).

O esquema de filtros biológicos percoladores de baixa carga, é constituído por um meio suporte para a aderência dos microorganismos aeróbicos responsáveis, conforme a ilustra a figura nº4.

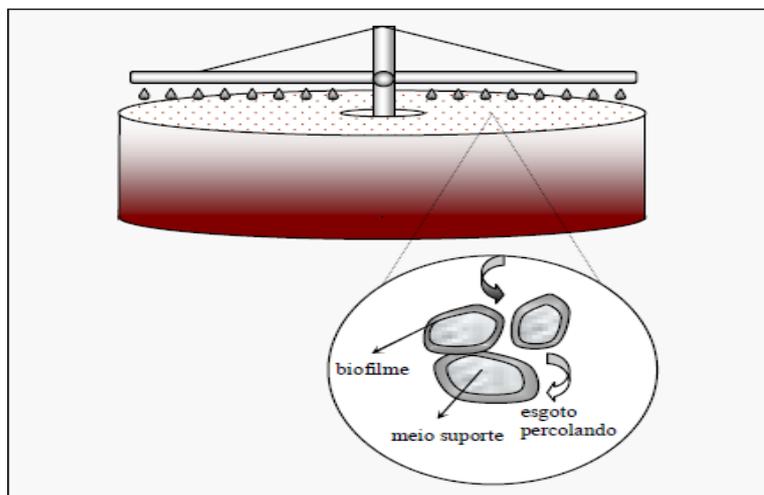


Figura nº 4: Esquema de um Filtro Biológico

Fonte: PONTES, 2003

2.8. Parâmetros químicos (DBO₅, DQO, pH) de águas residuais e físicos, (SST, T°C)

2.8.1. Matéria orgânica na água residual

A matéria orgânica presente na água residuária é uma mistura de diversos componentes orgânicos, sendo como principais componentes, designados por proteínas, carboidratos, e lípidos, áreas, substâncias minerais dissolvidas que se infiltram através das juntas das canalizações domésticas, e a DBO₅, DQO são considerado como principais indicadores da presença da matéria orgânica no esgoto, isto nota-se através da quantidade de oxigénio ser consumido no efluente e pela indicação do maior índice de biodegradabilidade (SPERLING, 1996).

Segundo METCALF & EDDY (2003), os níveis elevados de matéria orgânica no esgoto traduzem-se numa fonte de alimentação para bactérias, protozoários, fungos, que por sua vez entram em competição no consumo do oxigénio dissolvido, nestas condições, a comunidade fica reduzida a um menor número de espécies, com grandes quantidades de organismos, e devido à multiplicidade de formas e compostos que a matéria orgânica pode apresentar-se nas águas residuais domésticas, são adoptados métodos directos (medição do carbono orgânico) ou indirectos (medição do consumo de oxigénio) para determinação da matéria orgânica.

Segundo SPERLING (2014), a matéria orgânica inerte ou por outra, (não biodegradável) é composta por material não oxidável (areia, restos de cabelos, trapos, óleos,

borrachas), e os materiais biodegradáveis são (fezes, restos de comida, e outros), segundo a sua classificação, pode-se encontrar: a forma e tamanho, e segundo a sua biodegradabilidade, tal como pode-se observar na tabela n^o1.

Tabela n^o1: Matéria Orgânica na Água Residual

Quanto a forma e tamanho	Quanto a sua biodegradabilidade
Matéria orgânica em suspensão, e matéria orgânica dissolvida	Matéria orgânica inerte (não biodegradável, e matéria orgânica biodegradável

Fonte: SPERLLING, 2014

2.8.2. Demanda bioquímica de oxigénio (DBO₅)

De acordo com NUVOLARI (2003), a DBO₅ é a quantidade de oxigénio dissolvido necessária para os microorganismos estabilizarem a matéria orgânica em decomposição, sob condições aeróbias, porém num efluente, quanto maior a quantidade de matéria orgânica biodegradável maior é o índice da DBO, no teste de medição a amostra deve ficar incubada a 20°C, durante cinco dias, na Inglaterra metodologia aplicada de 20°C seria a temperatura média dos rios ingleses, e os 5 dias seria o tempo médio que a maioria dos rios ingleses levaria para ir desde a nascente até o mar.

Na prática, a DBO é medida em um período de 5 dias, que corresponde a um consumo de 60 a 70% do total de oxigénio utilizado na biodegradação da matéria orgânica, em águas naturais não poluídas a concentração de DBO é baixa, em torno de 1 a 10 mg/L, enquanto nos esgotos domésticos é da ordem de 200 a 300 mg/L, podendo chegar a valores muito altos em efluentes industriais como os de laticínios, cervejarias ou frigoríficos (CHERNICHARO, 2007).

Os níveis de concentrações da DBO₅, varia de acordo com os tipos de sistemas de tratamento anaeróbicos de afluentes domésticos, e as suas respectivas eficiências de remoção, conforme observa-se na tabela n^o2.

Tabela n^o2: Eficiência de Remoção da DBO em Sistemas Anaeróbicos

Sistema anaeróbio	DBO do efluente mg/L	Eficiência de remoção de DBO %
Lagoa anaeróbia	70 a 160	40 a 70
Reactor UASB	60 a 120	55 a 75
Fossa séptica	80 a 150	35 a 60
Tanque de Imhoff	80 a 150	35 a 60
Fossa séptica seguida de filtro anaeróbio	40 a 60	75 a 85

Fonte: CHERNICHARO, 2001

Segundo SPERLING (2014), uma característica do processo anaeróbio e a limitação na eficiência de remoção da DBO, que se situa em média em 70%, havendo uma necessidade de um pós tratamento para poder adequar o efluente a legislação vigente.

2.8.3. Demanda Química de Oxigénio (DQO)

De acordo com DUARTE (2005), a Demanda Química necessária para estabilizar a matéria orgânica (DQO) é um parâmetro indispensável nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais. A DQO é muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO, para observar o nível e a maior facilidade ou dificuldade de biodegradabilidade dos despejos.

A DQO tem-se demonstrado um parâmetro bastante eficiente no controle de sistemas de tratamento anaeróbio de esgotos sanitários e de efluentes industriais. Após o impulso que estes sistemas tiveram em seus desenvolvimentos a partir da década de 70 quando novos modelos de reactores foram criados e muitos estudos foram conduzidos, observa-se o uso prioritário da DQO para o controle das cargas aplicadas e das eficiências obtidas (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

Segundo CHERNICHARO (1997), os sólidos carregados dos reactores anaeróbios devido à ascensão das bolhas de gás produzidas ou devido ao escoamento, trazem maiores desvios nos resultados de DBO_5 do que nos de DQO. Pode-se extrapolar esta ideia e considerar também o uso actualmente bastante difundido da DQO no controle de processos aeróbios, tanto pela praticidade, e pela confiabilidade dos resultados.

Outro uso importante que se faz da DQO é para a previsão das diluições das amostras na análise de DBO_5 , como o valor da DQO é superior, e pode ser obtido no mesmo dia da colecta, poderá ser utilizado para balizar as diluições. No entanto, deve-se observar que as relações DQO/ DBO_5 são diferentes para os diversos efluentes e que, para um mesmo efluente, a relação se altera mediante tratamento, especialmente o biológico. Desta forma, um efluente bruto que apresente relação DQO/ DBO_5 igual a 3/1, poderá, por exemplo, apresentar relação da ordem de 10/1 após tratamento biológico, que provoca maior redução na DBO (SPERLING, 1996).

2.8.4. Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico na água residual torna-se um parâmetro de extrema importância na caracterização do tipo de afluente bruto encaminhado para uma ETE, e é um determinante de sucesso de alguns sistemas de tratamento de águas residuárias, porém influencia no aumento e redução da eficiência de alguns órgãos de tratamento numa ETE (SILVA, 2004).

Segundo CHERNICHARO (2007), o valor do pH da água residual em processo de tratamento, deverá estar entre 6,0 a 8,0, e para valores entre 3,0 a 5,0, conseqüentemente haverá formação de fungos que pode influenciar negativamente na sedimentação de lodo, e para valores entre 8,0 a 10,0, a transparência da água será comprometida, com lodo de aparência amarelo-marrom.

2.8.5. Sólidos nas águas residuais

Os sólidos são todos contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, os sólidos podem ser classificados de acordo com o seu tamanho e estado, suas características químicas e sua decantabilidade (METCALF & EDDY, 2003).

De acordo com CASSINI (2008), os sólidos totais (ST) são constituídos pela fração de sólidos dissolvidos totais (SDT) e dos sólidos suspensos totais (SST). Os SDT são compostos por uma ínfima quantidade de matéria orgânica e sais inorgânicos, já os SST envolvem partículas com diâmetro maior a 1,0 µm. Sua determinação é importante, pois auxilia na previsão de lodo produzido nos sistemas de tratamento, seguindo a seguinte nomenclatura:

- ✓ Em função de dimensão de partículas temos sólidos suspensos totais, sólidos coloidais ou dissolvidos;
- ✓ Em função da sedimentabilidade temos sólidos flutuantes ou floráveis ou sólidos não sedimentáveis
- ✓ Em função da secagem, a alta temperatura (550 a 600°C): sólidos fixos ou sólidos voláteis

De acordo com SPERLING (1996), parâmetros de grande utilização em sistemas de esgotos é a quantidade total de sólidos, é o somatório de todos os sólidos dissolvidos e dos não dissolvidos em um líquido, a sua determinação consiste na determinação da matéria que permanece como resíduo após sofrer uma evaporação.

A indicação da presença de sólidos na água residuária, é visto como sendo o método mais simples de medição da carga poluente de uma água residual, porém a quantidade de matéria sólida (sólidos totais), é constituída pelo resíduo obtido após evaporação da água residual, expresso em mg/l, este conteúdo sólido inclui os sólidos dissolvidos e os sólidos não dissolvidos na água residual, sendo designados por sólidos em suspensão ou sólidos suspensos (peso em mg/l de matéria sólida retida quando a água residual é filtrada). Este valor varia de água residual para água residual, podendo considerar-se fraca uma água residual com 300 mg/l de sólidos suspensos, enquanto uma concentração de 700 mg/l já corresponde a uma carga poluente bastante elevada (CNERNICHARO, 2007).

Os sólidos no esgoto são classificados segundo o tamanho, característica química, e segundo a sedimentabilidade, conforme ilustra a tabela nº3.

Tabela nº3: Classificação dos Sólidos no Esgoto

Classificação quanto ao tamanho	Classificação pela característica química	Classificação pela sedimentabilidade
Sólidos em suspensão e, sólidos dissolvidos.	Sólidos voláteis e sólidos fixos	Sólidos em suspensão, (sedimentáveis),

Fonte: SPERLING, 2014

2.8.6. Temperatura

A temperatura da água residuária em geral, é um pouco superior à das águas de abastecimento, interferindo directamente na velocidade de decomposição da matéria orgânica, porém influi directamente na taxa de qualquer reacção química que aumenta com sua elevação, pois tratando-se de reacções de natureza biológica, a velocidade de decomposição da matéria orgânica na água residuária, aumenta de acordo com a temperatura, sendo a faixa ideal para actividade microbiana contida entre 25 e 35°C, sendo ainda abaixo de 15°C a temperatura em que as bactérias formadoras do metano se tornam inactivas na digestão anaeróbica (ERIKSSON, 2002).

2.9. Eficiência de remoção da matéria orgânica (DQO, DBO₅) e sólidos suspensos totais

Segundo SILVA (2004), a avaliação de qualquer processo de tratamento e baseada na análise dos parâmetros físicos-químicos e microbiológicos do início até o final de tratamento, calculando o percentual de redução dos parâmetros pré-estabelecidos, os parâmetros utilizados para a utilização dos processos de tratamento são a DBO₅, que caracteriza a carga

orgânica e o número de coliformes termotolerantes, os sólidos suspensos, e os nutrientes nitrogénio e fósforo.

Para determinar-se a eficiência ou a percentagem de remoção de qualquer poluente, subtrai-se o parâmetro de entrada com o parâmetro de saída, pelo quociente do parâmetro de entrada, como observa-se na equação nº1.

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \quad \text{Eq. 1}$$

Fonte: *CHERNICHARO, 2007*

Onde: E – Eficiência de remoção em %

C_o – Concentração afluyente do poluente (mg/l)

C_e – Concentração efluente do poluente (mg/l)

As eficiências de Remoção para Diversos tipos de Tratamento, compreende-se partindo da remoção de sólidos grosseiros até a desinfecção final, nota-se que partindo do tratamento secundário na remoção de cada parâmetro, DBO₅, DQO, SS, apresentam eficiências mais elevadas, conforme pode-se observar na figura nº 4.

Tabela nº4: Eficiência de Remoção para Diversos Tipos de Tratamento

Tipos de tratamento	Remoção da DBO em%	Remoção dos SS %	Remoção dos nutrientes %	Remoção de bactérias %
Preliminar	5-10	5-20	Não remove	10-20
Primário	25-30	40-50	Não remove	25-75
Secundário	80-95	80-95	Não remove	70-90
Terciário	95-99	95-99	Até 99	Até 99,999

Fonte: *FONSECA, 2005*

2.9.1. Relação entre a DQO e a DBO₅

Segundo SPERLING (1996), a partir de estudos efectuados em 163 ETES, na avaliação da qualidade e características do esgoto de afluentes gerados, nos estados de São Paulo e de Minas Gerais, obteve valores da relação DQO/DBO₅ de 2,1 na faixa central, com 50% dos valores: 1,9 a 2,3, tendo constatado, que todas as ETES colectavam esgotos típicos domésticos, apresentando-se com fracções elevadas de biodegradabilidade da matéria orgânica, que com a obtenção destes valores concluiu que em nenhuma das estações o esgoto apresentava misturas de esgotos de outras origens tal como: industriais, esgotos pluviais, que podiam contribuir para a obtenção de relações fora do intervalo de 1,7 até 2,4, podendo assim ser tratado biologicamente.

Segundo SPERLING (2014), a relação DQO/DBO₅ determina o nível da eficiência de tratamento de esgoto numa estação de tratamento de águas residuais, o esgoto bruto típico doméstico chega com uma relação baixa que varia entre 1,7 a 2,4, que tem a indicação de que o esgoto apresenta uma alta biodegradabilidade, ao passo que a fracção inerte (não biodegradável é baixa), podendo ser tratado biologicamente, De acordo com o mesmo autor, considera-se uma estação eficiente na remoção de matéria orgânica, quando a relação DQO/DBO₅ do efluente tratado é superior que 2,5 até atingir 4,0 a 5,0 de relação ao passo que valores abaixo de 2,5 não são considerados eficientes. Quando a relação DQO/DBO₅ do efluente em processo de tratamento for inferior a 2,5 pode-se ter as conclusões de que o sistema não esta a funcionar correctamente ou por outra, pode-se prever a presença em maiores quantidade da fracção inerte no esgoto em processo de tratamento.

A relação DQO/DBO₅, classifica-se em baixa e em alta, devido a sua fracção biodegradavel, e inerte (não biodegradavel, conforme pode-se observar na tabela nº5).

Tabela nº5: Classificação da Relação DQO/DBO₅ em Baixa e Alta

Relação DQO/DBO ₅ (baixa)	Relação DQO/DBO ₅ (alta)
A fracção biodegradavel é elevada, porém através destas características, o afluente tem uma indicação de ser tratado biologicamente.	A fracção inerte (não biodegradavel), é elevada, Se a fracção inerte não for importante em termos de poluição no corpo receptor, haverá a necessidade de uma possível indicação para tratamento biológico. Se a fracção inerte for importante em termos de poluição no corpo receptor, haverá uma necessidade de uma possível indicação para tratamento físico-químico

Fonte: *CHERNICHARO, 2000*

III. METODOLOGIA

3.1. Descrição da área de estudo

A Cidade da Beira é a capital da província de Sofala, a localidade tem estatuto de cidade desde 20 de Agosto de 1907, e do ponto de vista administrativo, é um Município com um Governo local eleito. A Cidade da Beira é a segunda maior Cidade País, contando com uma população de 431.583 habitantes de acordo com o censo 2007 entre os quais 219.624 são homens e 211.959 são mulheres. Originalmente desenvolvida pela companhia de Moçambique no século XIX, tem uma área total de 633 Km², com uma altitude média de 14m (46 pés) acima do nível do mar, e esta situada nas coordenadas 19° 50' sul e 34° 51' a leste e com seguintes limites: a Norte o Distrito de Dondo, a Leste Oceano Indico e a Sul o Distrito de Buzi (PORTAL DO GOVERNO DA PROVINCIA DE SOFALA PGPS, 2015).

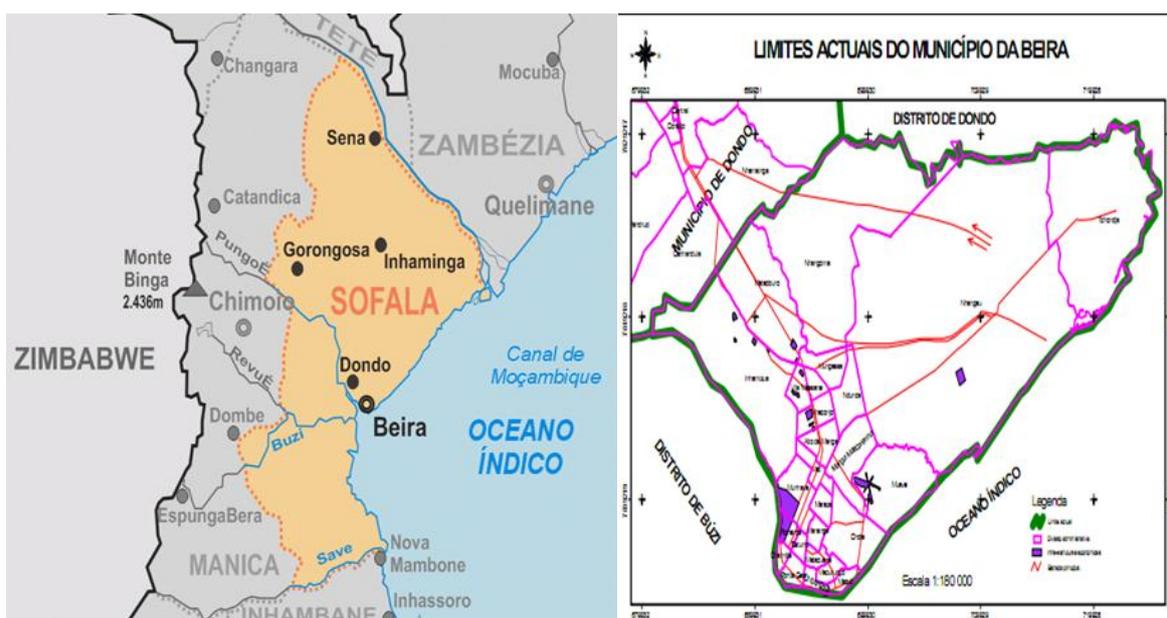


Figura nº5: Localização Geográfica da Cidade da Beira

Fonte: Google Maps (2015)

3.1.2. Caracterização da cidade da beira

A cidade da Beira, era originalmente um pântano, para a sua edificação foi necessária a drenagem dos terrenos e posterior aterro. A precipitação anual para as estações meteorológicas da Beira é de 1645,5 mm, 90% da precipitação ocorre no período de Novembro até ao final de Maio. A precipitação média varia de menos de 50 mm entre Junho e Outubro a cerca de 250 mm entre Dezembro e Março. A temperatura média anual é de 24,5

°C, sendo o mínimo de 20 °C em Julho e o máximo de 38 °C em Janeiro (FERNANDES *et al.*, 2010).

O centro da Beira possui edifícios de cimento, infra-estruturas eléctricas, sanitárias e abastecimento de água potável. Nos subúrbios da cidade e nas zonas rurais é substancialmente diferente, com casas de adobe e ausência de distribuição de água potável, de infra-estruturas sanitárias, de electricidade e de recolha de lixo. Nos subúrbios, com visíveis problemas ambientais, a ocupação é desordenada e o cultivo de hortas urbanas denominadas “Machambas” assume uma grande importância na economia local (PORTAL DO GOVERNO DA PROVINCIA DE SOFALA, 2015).

3.1.3. Estação de tratamento de águas residuais da Cidade da Beira

A estação de tratamento de águas residuais da Cidade da Beira localiza se Munhava Matope, foi implantada numa área com cerca de 24000m², os solos superficiais são constituídos por areias finas e médias, e argilas com elevado teor de humidade. A estação de tratamento de águas residuais da Cidade da Beira é uma componente do sistema de saneamento que depura e drena parte das águas residuais geradas naquela cidade, a ETARB foi construída nos anos (2009-2011) com o objectivo do melhoramento do estado de saneamento da Cidade da Beira, pelo Governo Moçambicano, e tendo tido como apoio financeiro da união europeia, sendo ela actualmente gerida pelo Serviço Autónomo de Saneamento da Cidade da Beira (SASB).O projecto da ETAR teve como foco resolver parte dos problemas de saneamento da cidade no tratamento de águas residuais doméstica, geradas em residenciais e pequenos estabelecimentos comerciais (ETARB, 2012).

A meta a alcançar no projecto da ETAR era de ter duas linhagens de tratamento mas, recentemente funciona somente com uma linha de tratamento com capacidade de tratar 7500 m³ de água residual por dia, tendo uma perspectiva de tratar cerca 22000 m³/dia até 2017. Com a expansão da rede de esgoto e melhoramento do sistema, actualmente a ETARB trata somente uma média de 2000 m³ diário, um dos factores que contribuiu para a diminuição do caudal diário a ser tratado, foi pelo facto de ser identificado anomalias no sistema, como: entupimentos na rede colectora de águas residuais, mau funcionamento dos postos de bombagem, e pelo facto das condutas funcionarem com a secção cheia, causando rupturas pela formação do metano CH₄ e ácido sulfídrico H₂S. CARLOS MORAIS (eng^o químico da ETARB-Beira, 8/08/2014, cp).

A vista satélite da ETARB permite visualizar toda a área abrangida pelo sistema e os seus respectivos órgãos de tratamento, conforme ilustra a figura n^o 6.



Figura n^o 6: Vista Satélite da ETAR da Beira

Fonte: Google Maps, 2014

3.1.4. Composição estrutural do sistema

A ETARB está composta por Configurações da linhagem múltipla de tratamento, partindo do pré-tratamento até a linha de saída dos efluentes tratados, com a representação numérica de cada unidades, conforme ilustra a figura n^o 7, nomeadamente:

- ✓ Obra de pré tratamento (1 unidade)
- ✓ 6 Reactores anaeróbicos tanques de RAFA (1 unidade)
- ✓ Filtros biológicos (2 unidades)
- ✓ Decantadores circulares (2 unidades)

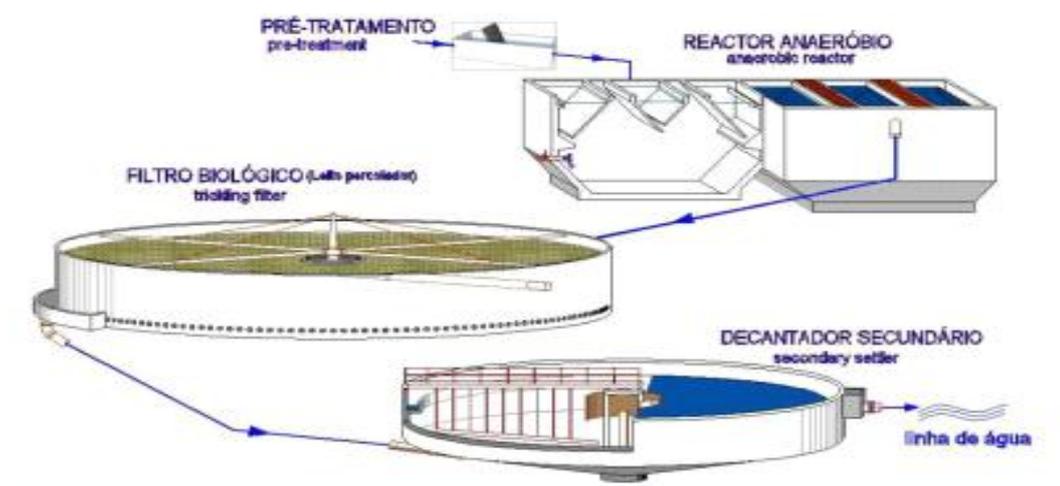


Figura nº7: Configuração da linha de tratamento da ETARB

Fonte: ETARB, 2012

3.1.5. Saneamento na Cidade da Beira

A Cidade da Beira é caracterizada por um clima tropical húmido chuvoso, com temperaturas elevadas e húmidas no verão, apresenta-se com uma situação crítica de saneamento, pois a maior parte da população não tem acesso a serviço de saneamento básico que contribui com taxas relativamente altas de índices de doenças de transmissão hídrica, e tendo como destaque a cólera que recentemente esta a criar elevados casos de mortalidade infantil MINISTERIO DE ADMINISTRAÇÃO ESTATAL (MAE, 2008).

3.2. Materiais e métodos

Para a efectivação da metodologia usada para alcançar os objectivos preconizados da pesquisa, baseou-se na revisão bibliográfica, colecta de amostras, análises laboratoriais, processamento e análise de dados, e comparação com os parâmetros da legislação vigente, como observa-se na figura nº8.

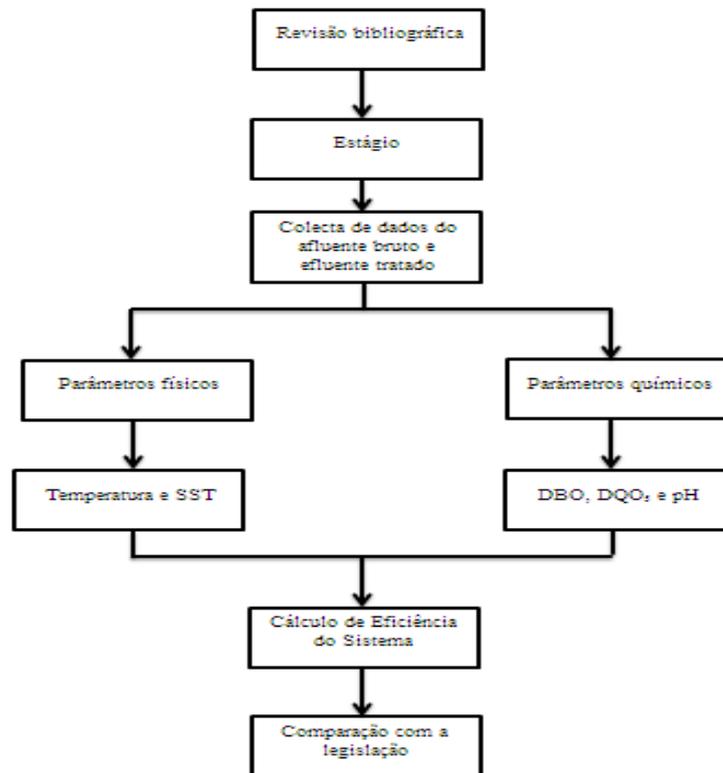


Figura nº8: Esquematização da Metodologia

Fonte: AUTOR, 2014

3.2.1. Levantamento bibliográfico

Segundo MARCONI & LAKATOS (2003), numa investigação bibliográfica, os dados são as conclusões já publicadas em relação ao tema de estudo, desde publicações a boletins, jornais, revistas, livros, até meios de comunicação oral (rádios, gravações) sendo estas confrontadas e organizadas de forma a constituir novas ideias.

Este procedimento técnico permitiu através da consulta de livros, boletins, relatórios e outros documentos relacionados ao tema bem como em diferentes endereços electrónicos, de forma a obter resultados sobre a conceitualização de tratamento de águas residuárias em ETAR'S caracterização, origem das águas residuárias, e potencial de riscos de contaminação dos afluentes geados, nos corpos receptores, e na saúde pública.

3.2.2. Colecta de amostras

As amostras destinadas á avaliar a eficiência de remoção de poluentes na estação de tratamento de águas residuais na Cidade da Beira localidade da Munhava Matope foram colectadas conforme a metodologia proposta no “*Standard Methods for examination of Water*

and Waste water” publicado pela APHA, (1998), que descreve os procedimentos usados para a colecta, transporte e análise de amostras de águas residuais.

O número de amostras usadas para determinação da temperatura, e pH, do esgoto bruto e tratado foram 32 amostras para cada, e para a determinação, e análise da eficiência na remoção da DQO, DBO₅, SST foram usadas 12 amostras.

As colectas das amostras para análises dos indicadores DBO₅, DQO, e SST, no ano 2014 foram feitas uma vez no final de cada mês, pela insuficiência de reagente para análises laboratoriais, as medições da temperatura, do pH e o oxigénio dissolvido (OD) foram feitos 2 vezes por semana no período da manhã, no intervalo das 7 até 9 horas, pelo facto do esgoto apresentar-se mais concentrado nesse período, e por não ser bombeado durante noite.

Os parâmetros analisados no laboratório foram feitos segundo um programa de monitoramento, e os instrumentos usados durante esta fase foram (temperatura, pH, DBO₅, DQO, OD), como pode-se observar na tabela nº 6.

Tabela nº6: Parâmetros Químicos Analisados e a Programação de Monitoramento

Parâmetros avaliados	Siglas	Unidades	Frequência de colecta	Instrumento usado
Temperatura	T	°C	2 Vezes por semana	pH metro
Potencial hidrogeniônico	pH	-	2 Vezes por semana	pH metro
Demanda bioquímica de oxigénio	DBO ₅	mg/l O ₂	Mensal	Incubadora a 20 °C, reagentes, frascos de DBO ₅
Demanda Química de Oxigénio	DQO	mg/l O ₂	Mensal	Reagentes, termostático
Sólidos Suspensos Totais	SST	mg/l	Mensal	Balança, dessecador, cápsulas, filtros.
Oxigénio dissolvido	OD	mg/l O ₂	2 Vezes por semana	Oxímetro

Fonte: AUTOR, 2014

Os dados foram colectados nos meses de Agosto, Setembro, Outubro e Novembro, compreendidos entre 4/08/2014 até 01/11/2014, toda via dada a exiguidade de dados, foram recorridas a analises anteriores ao mês do inicio do estagio, compreendido entre o mês de

Janeiro até Julho do ano 2014 e conseqüentemente os dados colectados nos meses do período da pesquisa não seriam suficientes para a avaliação, porém segundo o técnico laboratorial da ETARB Eng^o Carlos Morais, as análises feitas 1 vez em cada mês, que conseqüentemente eram feitas em períodos irregulares de acordo com a programação do monitoramento, seriam suficientes para fazer-se análises do desempenho do sistema em termos de remoção de matéria orgânica, e sólidos suspensos totais.

3.2.3. Forma de colecta e armazenamento de dados

No início, foram colectadas pelo método de amostragem simples, manualmente em baldes com capacidade de 5 litros, foi realizada uma única colecta em cada um dos pontos, na entrada do afluente bruto e na caixa de saída dos decantadores, que posteriormente foram submetidas a seguintes análises: análises da demanda bioquímica de oxigénio (DBO_5), demanda química de oxigénio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), pH, oxigénio dissolvido (OD), e a temperatura ($T^{\circ}C$).

As amostras para as análises dos parâmetros físicos químicos do afluente e efluente no local em estudo foram acondicionadas em garrafas de material polimérico, colectadas na obra de entrada do efluente bruto e na caixa de saída dos decantadores secundários.

A colecta do afluente bruto e feita nas pontes raspadoras de óleos e graxas (L1), seguido do processo de medição do pH, OD, temperatura, conforme ilustra a figura n^o 9.



Figura n^o9: Colecta de Amostras do Afluente Bruto

Fonte: AUTOR, 2014

As amostras do efluente tratado, amostra do afluente bruto, em diferentes dias de colecta antes da submissão das análises laboratoriais são ilustradas na figura n^o10, onde:

***EBR**- indica o afluente bruto;

***TRAT**- indica o efluente tratado.



Figura nº10: Amostras de Esgoto Bruto e Tratado

Fonte: *AUTOR, 2014*

3.2.4. Procedimentos Realizados no Laboratório

Na fase da colecta das amostras do afluente bruto e efluente tratado fez-se a leitura do potencial hidrogénio e o oxigénio dissolvido e da temperatura, com o auxílio do pH Metro, e o oxímetro usando uma sonda para a extracção dos dados, na saída da conduta elevatória (pontes raspadoras) e nas caixas de saída dos decantadores secundários, para se conhecer as características do afluente e efluente quanto a alcalinidade, e partindo da quantidade do oxigénio dissolvido podia-se estimar empiricamente a quantidade da carga orgânica, em comparação com os outros dados.

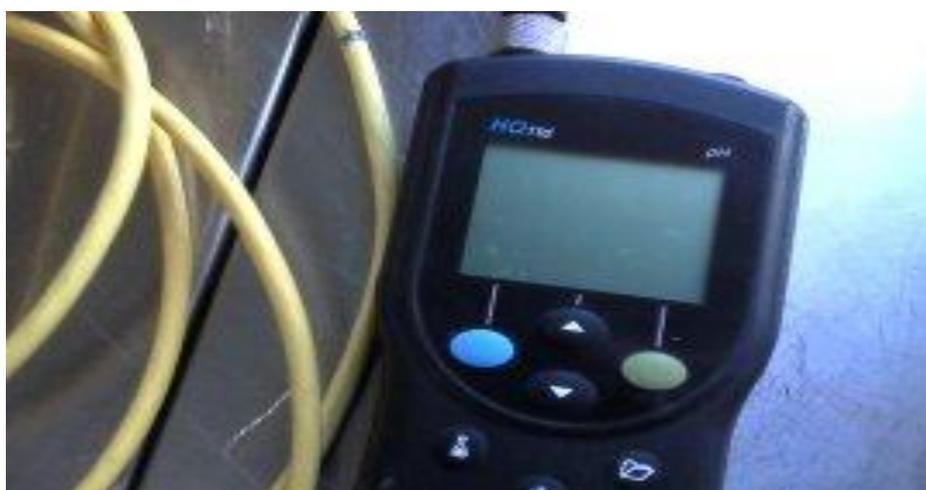


Figura nº11: p^H metro

Fonte: *AUTOR, 2014*

3.2.5. Determinação da Quantidade de Sólidos Suspensos (SST)

Para Determinação de Sólidos Suspensos Totais (SST) foi usado método descrito no *Standard Methods for examination of Water and Waste water* na qual afirma que deve-se usar o filtro de papel e membrana Millipore de 0,45 μm para filtrar as amostras, secagem a 103-105 $^{\circ}\text{C}$ da amostra para a obtenção do peso seco. As amostras devem ser secas e armazenadas em dessecador para esfriarem, para depois serem pesadas (APHA, 1998).

Partindo da metodologia usada no laboratório da ETARB, usando o método analítico para determinação de sólidos suspensos, iniciou com pesagem das cápsulas de porcelana, posteriormente introduziu se no interior das cápsulas os filtros de papel com porosidade padronizada em que variam entre 0.45 a 2 micro metro, de modo a submeter os filtros e as amostras na estufa a uma temperatura media de 105 $^{\circ}\text{C}$ para retirar-se toda a humidade do filtro e da amostra de 5 a 10 minutos, de seguida retirou-se a amostra para o dessecador de modo a atingir a temperatura ambiente, depois passou se para a balança para obter se o peso seco, posteriormente seguiu se com a filtragem da amostra do efluente e afluente de modo a reter os sólidos suspensos totais na superfície dos filtros de papel, usando um filtrador a vácuo, após a filtração das amostras seguiu se com o mesmo processo inicial, submeteu se as amostras do efluente e afluente no forno, no dessecador e finalmente na pesagem para a obtenção do peso seco após a filtração, que partindo dos dados obtidos determinou-se a quantidade de sólidos suspensos totais. A função principal do dessecador é reduzir a temperatura das amostras retiradas da estufa, para uma temperatura constante, de modo a não influenciar na variação do peso, na fase de submissão das amostras secas na balança, conforme a ilustra a figura nº 11e 12.



Figura nº12: Dessecador de Amostras

Fonte: AUTOR, 2014



Figura nº13: Balança Usada para Pesagem das Amostras de Sólidos Suspensos

Fonte: AUTOR, 2014

Para a obtenção da quantidade de sólidos suspensos, foram feitos mediante a diferença do peso da amostra antes da secagem e depois da secagem, pelo volume filtrado de 50 a 100 ml, dependendo da carga orgânica do esgoto, obtida pela equação nº2.

$$SST = \frac{(P1-P2)}{V} \left(\frac{mg}{l} \right) \text{ Eq. (2)}$$

Fonte: SPERLING, 2014

Onde: P1 – Corresponde ao peso da amostra antes da secagem em gramas (g);

P2 – Corresponde o peso da amostra após a secagem na estufa em gramas (g);

V – Volume da amostra em (ml).

3.2.6. Determinação da Demanda Química do Oxigénio (DQO)

De acordo com o APHA (1998) o princípio da análise de DQO consiste na oxidação química da matéria orgânica presente numa amostra em meio ácido, utilizando-se o ácido sulfúrico (H_2SO_4) um agente oxidante forte em excesso, o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), sendo a reacção catalisada por sulfato de prata (Ag_2SO_4). A definição de DQO pode ser estabelecida como a medida da quantidade de oxidante químico necessário para oxidar a matéria orgânica de uma amostra. É expressa em miligramas de oxigénio por litro ($mg/1O_2$).

Conforme a metodologia usada no laboratório, para determinar a demanda química de oxigénio foram usados tubos de digestão de tampa rolhada, resistentes a compostos ácidos e a pressões altas no qual se colocou uma amostra de 2 ml convenientemente homogeneizada, misturando com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_2$) e ácido sulfúrico (H_2SO_4) em meio

fortemente acidificado, durante duas horas este tempo é suficiente para que o dicromato seja reduzido pelos materiais oxidáveis presentes.

Os tubos foram agitados cuidadosamente e colocaram se num termostático a 148°C, esta temperatura foi usada para homogeneizar a mistura durante duas horas, depois foram submetidas em água fria com finalidade de arrefecer até atingir a temperatura ambiente.

Depois das amostras serem arrefecidas foram de seguida introduzidas num espectrofotómetro que faz a leitura imediata da concentração da DQO em mg/l O₂ durante 1,0 a 1,5 minutos.

A fase de mistura das amostras do afluente bruto e tratado com os reagentes (K₂Cr₂O₇, e H₂SO₄) para a determinação da DQO foram feitas usando os recipientes que continham o esgoto bruto e tratado, conforme ilustra a figura nº 14.



Figura nº14: Fase de Mistura das Amostras com os Reagentes para a Determinação de DQO

Fonte: AUTOR, 2014

3.2.7. Determinação da Demanda Bioquímica de Oxigénio (DBO₅)

Para determinação da DBO₅ foi usado o método descrito no *Standard Methods for examination of Water and Waste water* na qual afirma que numa fase inicial deve-se mensurar as concentrações de oxigénio dissolvido nas amostras antes e após o período de incubação de 5 dias a 20 °C. Durante esse período ocorreu a redução da concentração de OD na água, consumido por microorganismos aeróbicos nas reacções bioquímicas de decomposição de compostos orgânicos biodegradáveis (APHA, 1998).

Conforme os procedimentos usados no laboratório da ETARB, para determinar a quantidade de oxigénio necessário para a oxidação da matéria orgânica biodegradável na amostra do afluente bruto e efluente tratado obedeceu se os seguintes procedimentos:

Numa fase inicial extraiu-se a concentração do oxigénio dissolvido das amostras com auxílio do oxímetro de seguida registaram-se os valores, e submeteu-se as amostras em frascos fechados (frascos da DBO₅), e posteriormente foram incubadas a temperatura de 20°C durante 5 dias, com o objectivo de querer-se conhecer a quantidade de oxigénio consumida para degradar a matéria orgânica durante esse período, após 5 dias determinou-se uma nova concentração da DBO₅.

Para o cálculo da DBO₅, subtraiu-se o valor do oxigénio dissolvida depois de cinco dias, com o valor do oxigénio dissolvido do dia de colecta designado por dia zero, conforme a equação n.º3.

$$DBO_5 = (OD_f - OD_i) \text{ mg/l} \quad \text{Eq. (3)}$$

Fonte: *NUVOLARI, 2003*

Onde: OD_I – Corresponde ao oxigénio dissolvido no dia zero (mg/l),

OD_F – Correspondem ao oxigénio dissolvido após 5 dias na incubadora (mg/l),

DBO₅ – Demanda bioquímica do oxigénio depois de cinco dias na incubadora (mg/IO₂).

3.3. Determinação da Eficiência do Sistema

O Cálculo da eficiência de tratamento do sistema após a extracção de dados no laboratório foi feito à partir da comparação dos resultados dos parâmetros obtidos no primeiro ponto de colecta denominada efluente bruto, com os resultados dos parâmetros obtidos no sexto ponto de colecta, denominada saída final do tratamento.

$$\text{Eficiência \%} = \frac{\text{PARÂMETRO DE ENTRADA} - \text{PARÂMETRO DE SAIDA}}{\text{PARÂMETRO DE ENTRADA}} * 100\% \quad \text{Eq. (4)}$$

Fonte: *SPERLING, 2014*

3.4. Processamento e Análises dos Dados Colectados

Para aferir a eficiência da Estação de Tratamento em estudo, levou-se em consideração os parâmetros físicos-químicos. Os parâmetros analisados foram a DBO₅, DQO, e sólidos suspensos totais (SST) do afluente e efluentes tratados na estação, mediante colecta e análise de amostras retiradas ao final de cada etapa do tratamento.

Para o processamento e análise de dados colectados foi mediante a cálculos efectuados no Excel, feito isso, foram colocados os resultados em forma de gráficos e tabelas do Excel, de modo a que simplificasse a percepção dos mesmos e se colocasse os resultados de forma clara e concisa, para avaliação da eficiência de remoção da matéria orgânica e sólidos suspensos na estação de tratamento em estudo foi feita em comparação entre os valores das leituras mensais feitas no laboratório do ano 2014, com os parâmetros previstos no regulamento de sistemas públicos de distribuição de água e de drenagem de águas residuais, Decreto nº 30/2003 de 1 de Julho do Boletim da República de Moçambique, que impõe o padrão descargas feitas através de redes drenagem das estações de tratamento. Poderá tomar necessária a monitorização dos parâmetros que possam comprometer o cumprimento do estipulado no artigo 172, cujos valores máximos admissíveis devem ser estabelecidos com base a recomendações de organismos e instituições, com legislação Europeia usada para o controlo analítico da ETARB.

A legislação Moçambicana e Europeia usada para o controle analítico na ETARB, estipulam os parâmetros máximos admissíveis para o lançamento nos corpos receptores, conforme ilustram as tabelas 7 e 8.

Tabela nº7: Parâmetro de Lançamento de Águas Residuárias

Parâmetro	Valor máximo admissível	Unidades	Observações
Temperatura	35°C	Graus Celsius	Aumento no meio receptor
PH	6.0-9.0	Escala de sourense	
CQO/DQO	150	mg/l	
SST	60	mg/l	

Fonte: BR (BOLETIM DA REPUBLICA), 2003

Tabela nº8: Legislação Europeia nº 91/271/EEC Usada para Controlo Analítico na ETARB

Parâmetro	Concentração Máxima Admissível	Unidade	Percentagem de remoção
CQO/DQO	125	mg/lO ₂	75%
CBO ₅ /DBO ₅	25	mg/lO ₂	70-80%
SST	35	mg/l	90%

Fonte: *EU (EUROPEAN UNION), 1991*

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Descrição dos processos de tratamento da ETAR

4.1.1. Pré-Tratamento

O pré-tratamento é a primeira fase de depuração dos afluentes brutos, a águas residuais bruta encaminhadas para a ETARB são sujeitas, numa fase inicial ao processo de gradagem, isto é para a remoção de sólidos grosseiros na obra de entrada da água residual que é composta por grades estáticas que impedem a passagem de sólidos de grande dimensão para a fase do pré-tratamento complementar, de seguida o efluente é bombeado através de uma estação elevatória para as gralhas mecânicas para complementar o pré tratamento com a eliminação dos resíduos finos que escapam na obra de entrada, as bombas de elevação funcionam de forma alternada isto dependendo da quantidade de esgoto que chega na obra de entrada, tal como ilustram as figuras nº 15e 16.



Figura nº15: Entrada do Esgoto Bruto, Composta por Grades Estáticas

Fonte: *AUTOR, 2014*



Figura nº16: Grelhas Mecânicas, (pré-tratamento complementar)

Fonte: *AUTOR, 2014*



Figura nº17: Pontes Raspadoras de Óleos e Graxas

Fonte: *AUTOR, 2014*

A ETARB possui duas pontes raspadoras de óleos e graxas que por sua vez funcionam com um accionamento automático, os óleos e graxas e pequenos resíduos são evacuados pelas pontes, por meio de caleiras e conduzidos para os depósitos de resíduos onde é posteriormente recolhido para o aterro sanitário, posteriormente o efluente é conduzido para os reactores anaeróbicos onde a matéria orgânica sofre uma decomposição anaeróbica com a ausência do oxigénio, conforme observa-se na figura nº 17.

4.1.2. Tratamento Primário

A ETAR possui 6 reactores anaeróbicos de fluxo ascendente a vista superior dos tanques de RAFA/UASB, onde no interior dos mesmos a decomposição de matéria orgânica é feita por bactérias anaeróbicas e outros microrganismos onde há libertação do gás metano (CH_4), e o gás sulfídrico (H_2S), onde o efluente clarificado ascende por meio de caleiras que

conduzem o efluente até a câmara de carga aos filtros, no fundo dos reactores há formação de lodo originada pela digestão anaeróbica da matéria orgânica com ausência do oxigénio, no interior dos reactores existe um dispositivo chamado separador trifásico, que tem a função de separar o gases produzidos durante a decomposição, o efluente liquido, que ascende, e o lodo, onde este lodo formado e descarregado directamente para os leitos de secagem (*drybads*), conforme ilustra a figura nº 18.



Figura nº18: Reactor Anaeróbico de Fluxo Ascendente

Fonte: *AUTOR, 2014*

4.1.3. Leitos de Secagem

O sistema de secagem do lodo è constituído por 8 compartimentos, o lodo no interior dos leitos de secagem permanece num intervalo de 1 mês depois è removido para o armazém de lodo durante 3 meses, durante este período de estabilização do lodo os microrganismos patogénicos são reduzidos de modo a estar em condições adequadas para ser usado na agricultura, porém a ETAR não tem um programa adequado para reutilização do lodo após a estabilização, pois maior parte do lodo produzido e descartado para o aterro sanitário da cidade da Beira, figura nº 18 ilustra o lodo num processo final de estabilização.



Figura nº19: Armazém do Lodo em Processo de Secagem

Fonte: *AUTOR, 2014*

4.1.4. Tratamento Secundário

Esta fase de tratamento da ETARB é composta por dois filtros biológicos, o tratamento do efluente é basicamente aeróbico, pois contém microrganismos fixados nas pedras dos filtros que através do qual tem a função de degradar totalmente a matéria orgânica presente no efluente apresentando se mais clarificado, e sem cheiro pela redução da carga orgânica presente no efluente depois de passar pelo tratamento pelos reactores anaeróbicos, os filtros são compostos por arejadores para melhorar a actividade microbiana aeróbica dos microrganismos presentes nos filtros biológicos, *plinklers* humedecem a superfície dos filtros contribuindo para desenvolvimento dos microrganismos aeróbios fixados nas pedras, conforme ilustra a figura nº 19.



Figura nº20: Filtro Biológico

Fonte: *AUTOR, 2014*

Depois da acção dos filtros biológicos o efluente é submetido ao tratamento final usando decantadores secundários, que por sua vez tem a função de eliminar os pequenos resíduos que escapam nos filtros biológico, o lodo decantado é conduzido novamente para os reactores anaeróbicos para uma remineralização do efluente, e a outra parte do efluente já tratado nos decantadores e rejeitada para o meio hídrico, tal como observa-se na figura nº 20.



Figura nº21: Decantador Secundário

Fonte: *AUTOR, 2014*

4.1.5. Tratamento terciário

O tratamento terciário da ETARB é a fase final do tratamento, porém o tratamento é somente para o uso interno da estação, esta fase de tratamento é composta por um filtro de areia de diferentes granulometrias de modo a garantir uma melhor filtração de resíduos e posteriormente é conduzida por meio de tubos para os raios ultravioleta (UV) para a esterilização das bactérias presentes no efluente para inibir sua multiplicação posteriormente o efluente é encaminhado para desinfecção com cloro, pronto para a reutilização interna (rega, lavagem de passeios limpeza interna), menos para o consumo pois o esgoto foi somente desinfectado e não descontaminado, conforme ilustra a figura nº 21.



Figura nº22: Filtro de Areia e Sistema Ultra Violeta

Fonte: *AUTOR, 2014*

Realçar-se que o efluente submetido na desinfecção final não intervém nos resultados das análises dos parâmetros físicos e químicos da pesquisa, pois a (ETAR) teve como objectivo acrescentar a desinfecção final para uma posterior reutilização interna, para a rega de jardins, na operação e manutenção dos órgãos de tratamento.

As componentes da ETAR são especificadas somente para depuração de afluente por vias de tratamento biológico, por meio anaeróbico (RAFA), e aeróbicos (Filtro biológico).

O tratamento biológico da ETARB chega a atingir até 95% de remoção de matéria orgânica dependendo da carga orgânica do afluente bruto e considerado o melhor tratamento para efluentes especificamente domésticos, pois esta conclusão vai em concordância com os estudos feitos por CHERNICHARO (2007), quando pesquisava estações de tratamento de águas residuais domésticas brasileiras.

Na determinação dos processos de tratamento da ETAR observou se a presença de espuma nos reactores anaeróbicos pela presença de matéria orgânica não biodegradável no que dificulta o processo de oxigenação do efluente.

Os filtros biológicos são de baixa carga devido baixa presença de matéria orgânica, eliminada nos RAFA, porém o filtro biológico da ETAR da Beira durante o seu funcionamento atinge eficiências altas.

4.2. Determinação dos parâmetros físicos e químicos (temperatura, pH, DQO, SST, DBO₅)

4.2.1. Temperatura

A Temperatura máxima do afluente bruto o no 2014 foi de 29.8°C registadas no mês de Março, e a mínima foi de 23.8°C registado no mês de Fevereiro, do efluente tratado a a temperatura mínima registada foi de 20.3°C, e a máxima foi de 27.7°C, porém esses resultados obtidos vão em conformidade com os parâmetros estipulados no Decreto n° 30/2003 de 1 de Julho onde impõe que temperatura máxima do efluente para lançamento de ser inferior ou igual a 35°C, o pH máximo do afluente bruto registado foi de 8,8, e uma mínima de 7,0, nos meses de Junho e Agosto, e do efluente tratado o pH máximo registado foi de 9,0 e o mínimo foi de 6,6 nos meses de Maio e Agosto, observou-se que os resultados obtidos tanto do afluente bruto e tratado estão em conformidade com os parâmetros estabelecidos no decreto n° 30/2003 de 1 de Julho apresentando se com valores no intervalo de (6,0-9,0), conforme ilustra o gráfico n° 1.

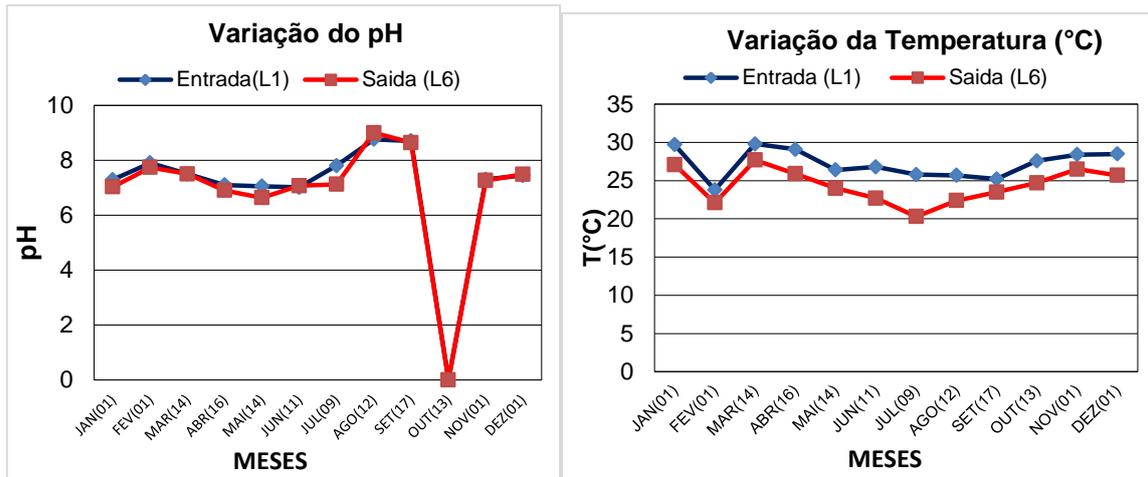


Gráfico n°1: Variação Média Anual do pH e Temperatura

Fonte: AUTOR, 2014

4.2.2. Demanda química de oxigénio (DQO)

4.2.2.1. Afluente bruto

A variação anual da demanda química de oxigénio no ano 2014, observa-se que a concentração máxima registada do afluente bruto em termos da demanda de oxigénio necessária para a degradação química da matéria orgânica (DQO) foi de 604 mg/l registada no mês de Abril, e a concentração mínima registada foi de 157 mg/l registada no mês de Outubro, porém o valor obtido e portanto uma indicação indirecta da presença da matéria orgânica na água residual, tal como verificou CHERMICHARRO (2007), nos seus estudos, que para afluentes típicos domésticos a concentração de DQO de afluentes brutos domésticos é sempre menos que 600 mg/l, porém este resultado não vai em concordância com o mês de Abril que obteve-se uma concentração de 604 mg/l, tal como observa-se no gráfico n° 2

4.2.2.2. Efluente tratado

A variação da concentração do DQO do efluente tratado, obteve-se uma concentração máxima de 93.8 mg/l registadas no mês de Janeiro, e uma mínima de 43.3 mg/l obtida no mês de Abril, porém as concentrações máximas e mínimas registadas vão de acordo com os parâmetros estipulados no boletim da república de Moçambique no Decreto n° 30/2003 de 1 de Julho que impõe que a concentração máxima admissível da DQO para despejos nos corpos de água deve ser de 150 mg/l O₂, os resultados das concentrações também vão em conformidade com a legislação Europeia n° 91/271/EEC usada para controlo analítico na ETARB que também impõe uma concentração máxima admissível de 150 mg/l O₂.

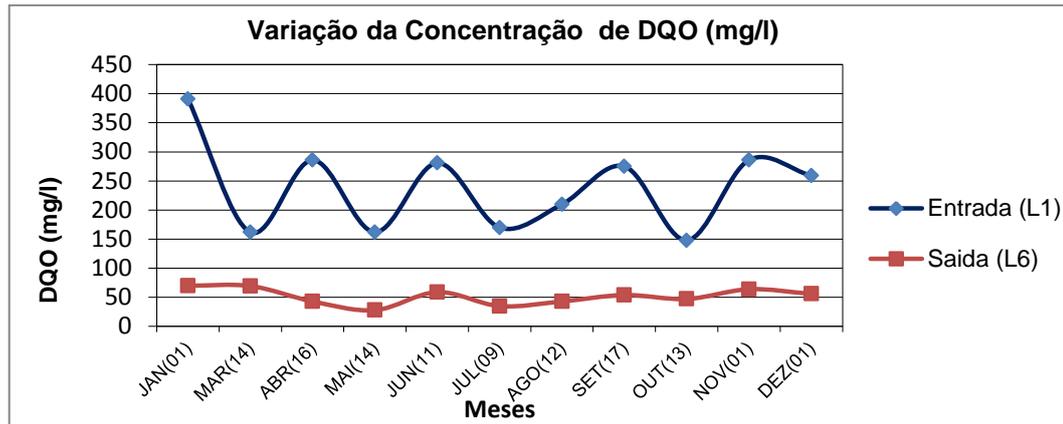


Gráfico n°2: Variação Anual da Concentração da Demanda Química de Oxigênio

Fonte: AUTOR, 2014

4.2.3. Sólidos suspensos totais (SST)

4.2.3.1. Afluente bruto

A variação máxima e mínima da concentração do afluente bruto e tratado, a concentração máxima dos sólidos suspensos totais do afluente bruto, obteve-se como resultado uma concentração máxima de 224 mg/l e uma mínima de 64 mg/l registadas no mês de Junho e Agosto, resultados pelos quais, vão em conformidade com os estudos feitos por SPERLING (2014), que obteve como resultado 300 mg/l como indicação de afluentes típicos domésticos, tal como verifica-se no gráfico n° 3.

4.2.3.2. Afluente tratado

A concentração máxima do efluente tratado foi de 54 mg/l registado mês de Novembro, e a concentração mínima foi de 8.0 mg/l obtida mês de Agosto, porém as concentrações de sólidos suspensos vão de acordo com os parâmetros estipulados no boletim da república de Moçambique decreto n° 30/2003, que impõe que a concentração máxima admissível dos sólidos suspensos nos despejos das águas residuárias deve ter uma de 60 mg/l, porém o parâmetro estipulado na legislação Moçambicana não vai de acordo com a deliberação Europeia n°. 91/271/EEC que impõe uma concentração máxima admissível de 35 mg/l para sólidos suspensos, sendo assim com esta legislação apenas 80% dos dados encontram-se dentro dos parâmetros estabelecidos pela legislação Europeia, excepto o mês de Novembro e Maio que não vão em conformidade.

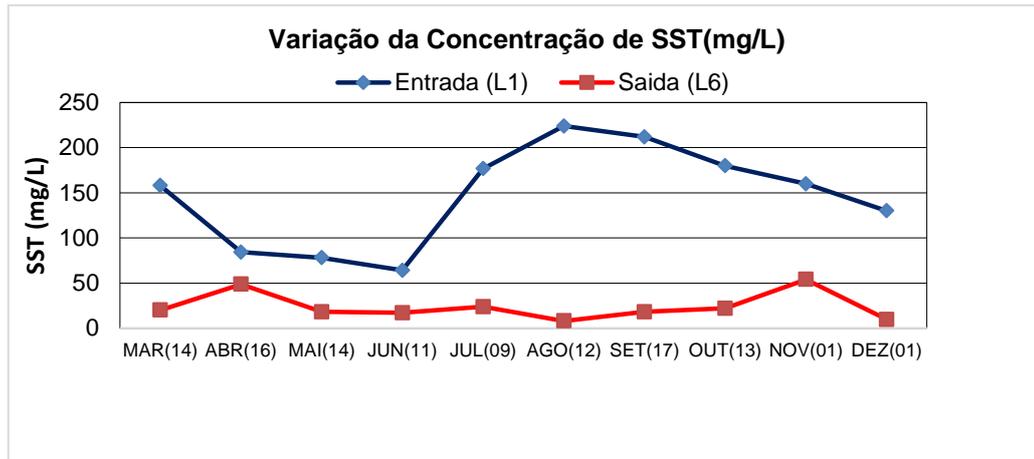


Gráfico n°3: Concentração Anual dos Sólidos Suspensos (mg/l)

Fonte: AUTOR, 2014

4.3. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅)

4.3.1. Afluentes bruto

As concentrações máximas e mínimas da DBO₅ do afluente bruto registaram-se nos meses de Janeiro e Outubro com 391 mg/l e 148 mg/l respectivamente, tal como verificou SPERLING (2014), o parâmetro típico do afluente bruto doméstico, esta na ordem dos 300 mg/l, observa-se que as concentrações do mês de Janeiro da DBO₅ bruta não está em concordância com o parâmetro observado pelo autor.

4.3.2. Afluente Tratado

A concentração máxima foi de 70 mg/l registadas nos meses de Janeiro e Março, e a concentração mínima foi de 28.0 mg/l registadas no mês de Maio, este parâmetro e um dos principais indicadores efeitos ecológicos de poluição orgânica nos corpos de água, conforme gráfico n° 4 a concentração máxima registada no mês de Janeiro, Março e a do mês de Novembro não estão em concordância com os resultados da concentração da DBO₅ para lançamentos, segundos estudos feitos por SPERLING (2014), que obteve 60 mg/l como concentração máxima para efluentes tratados, o resultado obtido pelo autor não vão em concordância com a legislação Europeia n°. 91/271/EEC, que impõe que a concentração máxima admissível da DBO₅ para lançamentos nos corpos deve ser de 25 mg/l.

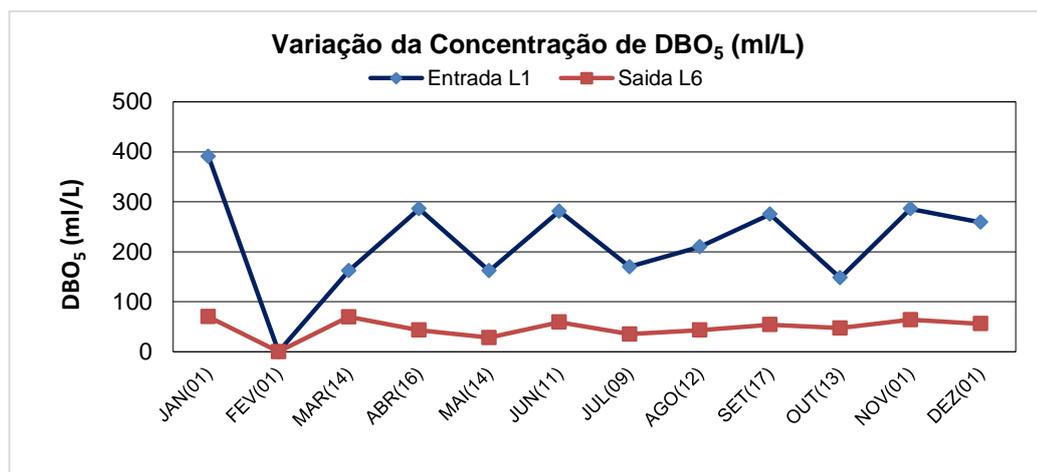


Gráfico nº4: Concentração Anual da Demanda Bioquímica de Oxigênio

Fonte: AUTOR, 2014

4.4.1. Análise da Eficiência Remoção do Sistema

Tabela nº9: Eficiência na Remoção de Matéria Orgânica e Sólidos Suspensos em Percentagem em (%).

Mês	Eficiência na remoção da (DQO) %	Eficiência na remoção da (DBO ₅) %	Eficiência na remoção dos (SST) %
Janeiro (01)	55,75	82,10	
Fevereiro (01)			
Marco (14)	81,09	57,10**	87
Abril (16)	92,83*	84,97*	42**
Mai (14)	73,46	82,72	77
Junho (11)	64,06	79,00	73
Julho (09)	68,78	79,41	87
Agosto (12)	76,91	79,52	96*
Setembro (17)	69,64	80,36	92
Outubro (13)	48,22**	68,11	88
Novembro (01)	54,37	77,62	66
Dezembro (01)	63,38	78,38	93
Média	72,82	78,38	84
Máxima	92,83	84,97	96
Mínima	48,22	57,10	42

* Eficiência máxima; ** Eficiência mínima

Fonte: AUTOR, 2014

As eficiências de tratamento na remoção da matéria orgânica e sólidos suspensos em representação percentual do ano 2014, com a representação das eficiências de remoção máximas e mínimas registadas em cada variável em estudo são ilustradas na tabela nº 7. E na mesma tabela a eficiência mínima e máxima na remoção de SST foi respectivamente, de 42% e 96%, no que concerne a remoção de DQO foi de 92,83% e 48,22% e na remoção da DBO₅ a eficiência máxima e mínima foi respectivamente de 84,97% e 57,10%.

Na remoção da DQO, nota-se que 27% dos dados se encontram dentro dos parâmetros, estipulados na legislação europeia proposta para a ETAR no controlo analítico, e 80% dos dados da DBO₅ também vão em conformidade com a legislação, 30% dos dados da SST se encontra em conformidade.

A legislação Europeia, Deliberação n.º 91/271/EEC de 21/05/1991, impõe que a concentração mínima da DBO₅ do efluente tratado tem um limite máximo de 25 mg/1O₂ com uma eficiência de 70 a 80% de remoção, DQO com um limite máximo de 125 mg/1O₂ com uma eficiência mínima de 75%, e uma concentração máxima de sólidos suspensos de 35 mg/l com uma eficiência mínima de 90%, nota-se que a ETARB durante o seu percurso operacional no ano 2014 obteve eficiências não satisfatórias na remoção de SST em comparação com a legislação Europeia, a DQO apresentou-se com concentrações dentro dos parâmetros estabelecidos na legislação porém, a eficiência de remoção não foi satisfatória, a DBO₅ foi eficiente por apresentar 80% dos resultados das eficiências de remoção dentro dos parâmetros recomendados na legislação Europeia, porém a concentração máxima admissível para lançamento não é satisfatória.

4.4.2. Relação DQO/DBO₅ do Efluente Bruto

A relação máxima do afluente bruto em termos da DQO/DBO₅ foi de 2,38 e a relação mínima registada foi de 0,54, na maioria dos meses notou-se que esta relação não se encontrava dentro dos parâmetros previstos por SPERLING 2014, que obteve nos seus estudos um intervalo de 1,7 a 2,4 de relação DQO/DBO₅ para afluentes típicos domésticos, porém para CHERNICHARO 2000, a relação do afluente bruto quando apresenta valores relativamente baixos, estes podem ser tratados biologicamente pois por apresentarem altos teores de biodegradabilidade, como ilustra o gráfico n.º 5.

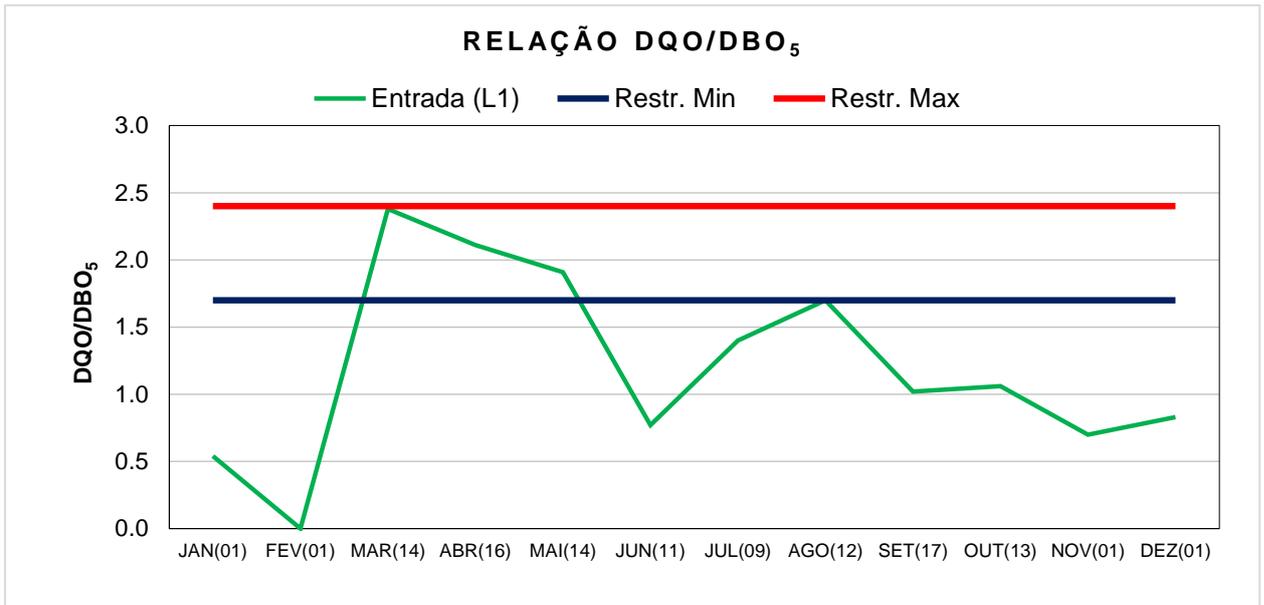


Gráfico n°5: Relação DQO/DBO₅ do Afluente Bruto

Fonte: AUTOR, 2014

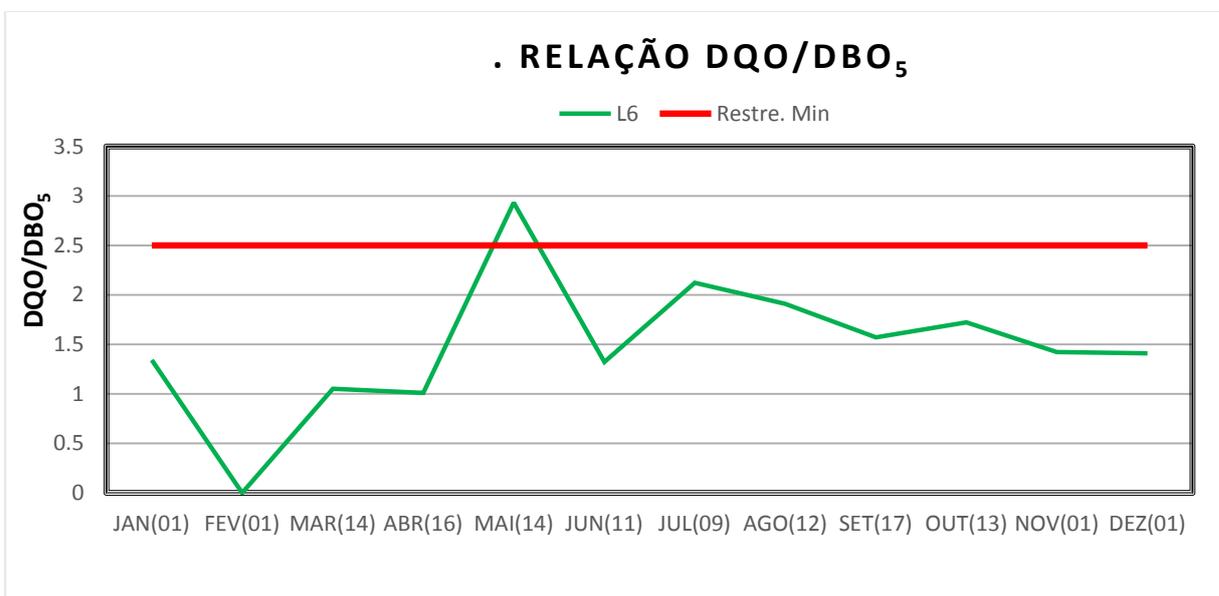


Gráfico n°6: Relação DQO/DBO₅ do Efluente Tratado

Fonte: AUTOR, 2014

A relação DQO/DBO₅ máxima e mínima do efluente tratado são respectivamente de 2,93 e 1,01, observa-se que 90% dos dados obtidos da relação DQO/DBO₅ não vão de acordo com os resultados obtidos por SPERLING, (2014) nos seus estudos, que teve a conclusão de que para uma estação ser eficiente na remoção da matéria orgânica, a relação DQO/DBO₅

deve ser maior que 2,5 ou até atingir 4,0 a 5,0 de relação na remoção de matéria orgânica, pois nota -se que a ETARB ainda não foi eficiente na remoção da matéria orgânica partindo da análise DQO/DBO₅, tal como pode-se verificar no gráfico nº 6.

V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

Partindo das análises dos resultados do trabalho e segundo os objectivos que propunha atingir pode-se tirar as seguintes conclusões:

A estação de tratamento de águas residuárias da Cidade da Beira possui um sistema de tratamento combinado de reactores anaeróbios fluxo ascendente (RAFA), seguindo de filtros biológicos (FB), e tem capacidade para tratar somente afluentes brutos domésticos por meios biológicos. Durante a fase de descrição do sistema concluiu-se que a deficiência de funcionamento dos reactores anaeróbios deveu-se pelo facto de conter no seu interior grandes quantidades de espuma, no dificulta o funcionamento do separador trifásico na produção do biogás, e do lodo, e na actividade anaeróbica, contribuindo assim para a redução da eficiência de funcionamento.

A temperatura, o PH, as concentrações dos sólidos suspensos totais (SST) e da demanda química de oxigénio (DQO) dos efluentes tratados no período em estudo encontram-se dentro dos parâmetros previstos no regulamento de sistemas públicos de distribuição de água e de drenagem de águas residuais que consta no boletim da república de Moçambique, decreto nº 30/2003 de 1 de Julho, é a concentrações da DBO₅ do efluente tratado nos meses e Janeiro, Março, e Novembro, não vão em concordância com o valor máximo permitido, podendo concluir-se que, ao longo dos meses ano 2014, a água residuária tinha uma variabilidade dos valores dos parâmetros analisados nos meses em estudo, demonstrando-se que os afluentes gerados não podem ser lançados nos corpos hídricos sem tratamento.

Partindo da comparação das eficiências de tratamento da ETARB com a legislação usada para o controlo analítico, notou-se que a ETARB apresentou eficiências satisfatórias na remoção da DBO₅ entretanto, partindo da relação DQO/DBO₅ no ano 2014 a estação de tratamento de águas residuárias da Cidade da Beira (ETARB) operou com eficiências não satisfatórias na remoção da matéria orgânica, todavia um dos factores que contribuiu para o decréscimo da eficiência de tratamento na ETARB foi pelo facto dos órgãos de tratamento não serem submetidos a manutenções detalhadas, pela presença de espuma nos reactores anaeróbios, a intrusão de águas residuárias de origem industrial na rede colectora de esgoto, que contribuiu significativamente para a presença de matéria inerte com elevados índices de consumo oxigénio (matéria orgânica não biodegradável).

5.2 Recomendações

Face aos resultados obtidos na presente pesquisa recomenda-se:

a) Para a ETARB:

- ✓ A Capacitação dos operadores da ETAR da Beira de modo resolver situações adversas em caso de avarias no sistema, minimizando assim os custos na contratação de técnicos profissionais externos;
- ✓ Fazer-se análises mensais com mais frequência para terem resultados laboratoriais mais precisos sobre os dados da eficiência do sistema;
- ✓ Fazer-se requisição de reagentes adicionais para poder -se fazer analises laboratoriais adicionais,
- ✓ Fazer-se manutenção rotineira do sistema mais detalhada para evitar danos que tem-se verificado no sistema, com a paragem do funcionamento de alguns órgãos do sistema, pois estes imprevistos, contribuem significativamente para a redução da eficiência do funcionamento do sistema;
- ✓ Fazer-se estudo para tratamento de espuma causada por matéria orgânica não biodegradável, pois a espuma contribui para redução da eficiência dos reactores (RAFA), que tem um papel preponderante na degradação anaeróbica da matéria orgânica.
- ✓ A continuidade das pesquisas de caracterização dos efluentes de processos de tratamento biológico para melhor conhecimento dos compostos responsáveis pela DQO, DBO₅, SST residual, e suas influências nos corpos receptores e na saúde pública.

b) Para o serviço autónomo de saneamento da Cidade da Beira (SASB)

Criar estratégias para expansão, e melhoramento das condições da rede colectora de esgoto de modo a melhorar a quantidade de esgoto a tratar, e evitar o contacto directo do esgoto com a população.

Melhorar-se a forma de manutenção da rede de esgoto de modo a precaver danos como rompimento da rede pela formação do gás metano (CH₄), e gás sulfídrico (H₂S) provocando maus odores para a população, garantindo a prevenção do contacto directo do da água residual com as crianças.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (APHA). (1998). Standard Methods for Examination of Water and Waste water. Madrid Espanha.
- BENETTI, A & BIDONE. F. O. (1997). Meio Ambiente e os Recursos Hídricos.
- BOLETIM DA REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE. (2003). Regulamento dos sistemas públicos de distribuição de água e de drenagem de águas residuais, 1ª Série, Numero 26 de 1 de Julho.
- BRAGA, B. (2005). Introdução à engenharia ambiental. 2.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- CASSINI, ALINE SCHILLING. (2008). Tese de Doutorado: Estudo de Processos Alternativos no Pré-Tratamento de Efluentes Provenientes da Produção de Isolados Proteicos. Porto Alegre, 2.
- CAVALCANTI, J.E.W. A. (2009). Manual de tratamento de efluentes industriais. 2. ed. São Paulo.
- CETESB. (2006). Companhia De Tecnologia De Saneamento Ambiental, são Paulo.
- CHERNICHARO, C. A. (1997) de L. Reactores anaeróbios. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: DESA/UFMG, vol. 5.
- CHERNICHARO, CAL. (2000). Pós-tratamento de efluentes de reactores anaeróbios. Colectânea de Trabalhos Técnicos. PROSAB. Belo Horizonte: Segrac, Vol.1.
- CHERNICHARO, C. A. DE LEMOS. (2001). “Performance evaluation of a UASB - activated sludge system treating municipal wastewater”, Water Science and Technology.
- CHERNICHARO, C. A. L. (2007). Reactores anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG, Belo Horizonte, Brasil.
- COPASA-Companhia de Saneamento. (2007). Programa chua de saneamento colecta e tratamento de esgoto. Brasil.
- (C.E.C). Council Of The European Communities. (1991). Council directive of 21 mai 1991 concerning urban waste water treatment (91/271/EEC). Union European.
- DUARTE, IC.C.S.AGUILA, N.K.S.D., VARESCHE, M.B.A. (2005). Tratamento de linear alquibzeno sulfonato em reactor anaeróbio horizontal de leito fixo.

ETARB. Estação de Tratamento de Águas Residuais da Cidade da Beira. (2012). Planta dos órgãos da estação de tratamento. Beira, Moçambique.

ERIKSSON, E, AUFFARTH. K. HENZE. M. & LEDIN.A. (2002).Characteristics Of Grey Waste water. Urban Water.

FERNANDES.J, BATISTA.M. RAMALHO.E. (2010). Utilização De Metodologias Integradas Na Produção Da Carta Geoambiental Da Cidade Da Beira, Moçambique. Portugal.

FONSECA, P. W. (2005). Avaliação Do Desempenho e Caracterização Dos Parâmetros Em Lagoas Facultativas e De Maturação. Dissertação de mestrado, universidade federal rio de Janeiro.

FOSTER, S.; HIRATA R. A. C.; GÓMEZ D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. (2003). Ground water Quality Protection. defining strategy and setting priorities.

JORDÃO, E. P. E PESSÔA, C. A. (2009). Tratamento de Esgotos Domésticos. ABES 5ª ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

JORDÃO, E.P; E. PESSÔA C.A. (2005). Tratamento De Esgotos Domésticos. 4.ed. rio de Janeiro: segrac.

JÚNIOR, E. M. (2001). Iniciação ao Tratamento de Esgoto. Campinas: Curso de Engenharia.

LEITAÕ, R. C., LOPESA. C., VAN HAANDEL, A. C., ZEEMAN, G. E LETTINGA, G. (2005).“Expansibilidade da manta de lodo em reactores UASB.” Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. II-179, Campo Grande/MS, Brasil.

LEMOS, S. F. C. (2011). Análise do sistema de Efluentes do Celbi: Avaliação da actividade Microbiológica, Universidade de Coimbra.

MARCONI, M. A. (2003). Metodologia de Trabalho Científico, Procedimentos Básicos, Pesquisa Bibliográfica. São Paulo. Brasil.

METCALF, E., EDDY, M. (2003). Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse.3rd edição. New York Treinamento de esgoto.

MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO ESTATAL – MAE (2008).Perfil da Cidade da Beira.

NASCIMENTO, R. S.PEREIRA, M. L. F. CAVALCANTI, P. F. F; VAN HAANDEL, A. C. (2001). Estabilização anaeróbia de lodo em reactores do tipo UASB. In: XXI Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental.

NASCIMENTO, JAENE CANDIDO. CO. (2011). Remoção De Nutrientes De Esgoto Sanitário Com Micro Algas Chlorella Imobilizada Em Matriz De Alginato De Cálcio.

NUVOLARI, ARIIVALDO. (2003). Esgoto sanitário: colecta, transporte, tratamento e reuso agrícola. São Paulo: E. Blücher.

ORGANIZACAO MUNDIAL DAS NACOES UNIDAS-ONU. (2008). Direito humano a água e saneamento.

PESTANA, M & GANGHIS, D. (2010). Tratamento de Efluentes. CEFET. Bahia. Brasil.

PONTES, P.P. (2003). REACTORES UESB, Simplificados Ao Tratamento Combinado De Esgoto Sanitário De Lodo Excedente De Filtro Biológico Peculador.

PORTAL DO GOVERNO DA PROVINCIA DE SOFALA. (www.sofala.goy.mz/sofala) acessado no dia 16-02-2015 pelas 10 horas.

SAAE- Serviço Autónomo de Água e Esgoto. (2006). Sistemas de tratamento de água e esgoto. Aracruz. Brasil.

SILVA, G. H. (2004). Sistema de alta eficiência para tratamento de esgoto residencial – estudo de caso na lagoa da conceição. Monografia. Programa de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SOUZA, V.R.S. (2008). Estudo da eficiência de digestores anaeróbios de fluxo ascendente em série. Departamento de Tecnologia. Curso de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana – Monografia (Engenharia Civil).

VON SPERLING, M. (1996). Princípios básicos do tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte, Brasil.

VON SPERLING, M. (2005). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte, UFMG.

VON SPERLING, M. (2014). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte, UFMG.

APÊNDICES E ANEXOS

Apêndice n° 1: Resultados das Concentrações da Temperatura, OD, pH do Afluente, e Efluente no ano 2014

Mês	Temperatura		pH		OD	
	EB	ET	EB	ET	EB	ET
1-Jan	29.7	27.1	7.3	7.0	2.8	4.7
1-Feb	23.8	22.1	7.9	7.7	0.3	7.8
14-Mar	29.8	27.7	7.5	7.5	0.3	5.4
16-Apr	29.1	25.9	7.1	6.9	1.9	5.8
14-May	26.4	24.0	7.1	6.6	0.2	5.3
11-Jun	26.8	22.7	7.0	7.1	3.2	4.7
9-Jul	25.8	20.3	7.8	7.1	1.4	7.8
12-Aug	25.7	22.4	8.8	9.0	0.8	4.7
17-Sep	25.2	23.5	8.7	8.6	1.9	4.3
13-Oct	27.6	24.7			0.1	4.5
1-Nov	28.4	26.5	7.3	7.3	0.5	5.2
1-Dec	28.5	25.7	7.4	7.5	2.5	4.9
Media	27.2	24.4	7.6	7.5	1.3	5.4
Mediana	27.2	24.4	7.4	7.3	1.1	5.1
Maximo	29.8	27.7	8.8	9.0	3.2	7.8
Mínimo	23.8	20.3	7.0	6.6	0.1	4.3

Fonte: AUTOR, 2014

Apêndice n° 2: Resultados das Eficiências na Remoção de DQO e DBO₅ no ano 2014

Mês	DQO			DBO ₅		
	EB	ET	eficiência	EB	ET	Eficiência
1-Jan	212	94	55.75%	391	70	82.10%
1-Feb						
14-Mar	386	73	81.09%	162	70	57.10%
16-Apr	604	43	92.83%	286	43	84.97%
14-May	309	82	73.46%	162	28	82.72%
11-Jun	217	78	64.06%	281	59	79.00%
9-Jul	238	74	68.78%	170	35	79.41%
12-Aug	356	82	76.91%	210.0	43	79.52%
17-Sep	280	85	69.64%	275.0	54	80.36%
13-Oct	157	81	48.22%	148.0	47	68.11%
1-Nov	199	91	54.37%	286.0	64	77.62%
1-Dec	216	79	63.38%	259.0	56	78.38%
Media	288.5	78.4	72.82%	239.1	51.7	78.38%
Mediana	238.0	81.3	65.84%	259.0	54.0	79.15%
Maximo	604.0	93.8	84.47%	391.0	70.0	82.10%
Mínimo	157.0	43.3	72.42%	148.0	28.0	81.08%

Fonte: AUTOR, 2014

Apêndice n°3: Resultados da Eficiência na Remoção da Matéria Orgânica Partindo da Relação DQO/DBO₅, na Variação Anual da Concentração em 2014

Mês	DQO			DBO ₅			Relação CQO/CBO
	EB	ET	Eficiência %	EB	ET	Eficiência	
1-Jan	212	94	55.75%	391	70	82.10%	1.34
1-Feb							
14-Mar	386	73	81.09%	162	70	57.10%	1.05
16-Apr	604	43	92.83%	286	43	84.97%	1.01
14-May	309	82	73.46%	162	28	82.72%	2.93
11-Jun	217	78	64.06%	281	59	79.00%	1.32
9-Jul	238	74	68.78%	170	35	79.41%	2.12
12-Aug	356	82	76.91%	210.0	43	79.52%	1.91
17-Sep	280	85	69.64%	275.0	54	80.36%	1.57
13-Oct	157	81	48.22%	148.0	47	68.11%	1.72
1-Nov	199	91	54.37%	286.0	64	77.62%	1.42
1-Dec	216	79	63.38%	259.0	56	78.38%	1.41
Media	288.5	78.4	72.82%	239.1	51.7	78.38%	1.6
Mediana	238.0	81.3	65.84%	259.0	54.0	79.15%	1.4
Máximo	604.0	93.8	84.47%	391.0	70.0	82.10%	2.9
Mínimo	157.0	43.3	72.42%	148.0	28.0	81.08%	1.0

Fonte: AUTOR, 2014

Apêndice n° 4: Resultados da Eficiência na Remoção de SST em 2014

Mês	SST		
	EB	ET	Eficiência
1-Jan			
1-Feb			
14-Mar	158	20.0	87%
16-Apr	84	49.0	42%
14-May	78	18.0	77%
11-Jun	64	17.0	73%
9-Jul	176.7	23.8	87%
12-Aug	224.0	8.0	96%
17-Sep	212.0	18.0	92%
13-Oct	180.0	22.0	88%
1-Nov	160.0	54.0	66%
1-Dec	130.0	9.6	93%
Media	146.7	23.9	84%
Mediana	159.0	19.0	88%
Máximo	224.0	54.0	76%
Mínimo	64.0	8.0	88%

Fonte: AUTOR, 2014

Apêndice n° 5: Incubadora e Filtrador a Vácuo



Fonte: AUTOR, 2014

Apêndice n° 6: Reagentes Usados no Laboratório e Cápsulas de Porcelana Usadas para como Auxílio na Determinação De SST



Fonte: AUTOR, 2014

Apêndice n° 7: Oxímetro (medidor de nível de oxigénio dissolvido) e Instrumentos de Auxílio para Análises Laboratoriais



Fonte: AUTOR, 2014

Apêndice n° 8: Caixa de Distribuição do Efluente nos Reactores UASB/Rafa e Frascos da DBO₅



Fonte: AUTOR, 2014

Apêndice nº9: Sistema Ultra Violeta e Desarenado



Fonte: AUTOR, 2014

Apêndice nº 10: Caixa de Saída dos Decantadores Secundários.



Fonte: AUTOR, 2014

Apêndice n° 11: Leitos de Secagem e Torneira de Efluente Tratado



Fonte: *AUTOR, 2014*

Apêndice n° 12: Junção da Conduta Elevatória/Bypass , e Bombas em Paralelo de Elevação do Afluente Bruto



Fonte: *AUTOR, 2014*

Apêndice n° 13: tabela comparativa da relação DQO/DBO₅ dos afluentes da ETARB com os parâmetros previstos por SPERLING, 2014

mês	dia	CQO		CBO5		SST		CQO/CBO		E.Bmim	E.Bmx	E.TR
		L1/CQO	L6/CQO	entrada L1	SAIDA L6	entrada (L1)	SAIDA (L6)	L1	L6			
JAN(01)	01	212	93.8	391	70	a)	a)	0.54	1.34	1.7	2.4	2.5
FEV(01)	01	b)	b)	b)	b)	a)	a)	#VALUE!	#VALUE!	1.7	2.4	2.5
MAR(14)	14	386	73	162	69.5	158	20	2.38	1.05	1.7	2.4	2.5
ABR(16)	16	604	43.3	286	43	84.3	48.7	2.11	1.01	1.7	2.4	2.5
MAI(14)	14	309	82	162	28	78	18	1.91	2.93	1.7	2.4	2.5
JUN(11)	11	217	78	281	59	64	17	0.77	1.32	1.7	2.4	2.5
JUL(09)	09	238	74.3	170	35	176.7	23.8	1.40	2.12	1.7	2.4	2.5
AGO(12)	12	356	82.2	210	43	224	8	1.70	1.91	1.7	2.4	2.5
SET(17)	17	280	85	275	54	212	18	1.02	1.57	1.7	2.4	2.5
OUT(13)	13	157	81.3	148	47.2	180	22	1.06	1.72	1.7	2.4	2.5
NOV(01)	01	199	90.8	286	64	160	54	0.70	1.42	1.7	2.4	2.5
DEZ(01)	01	216	79.1	259	56	130	9.6	0.83	1.41	1.7	2.4	2.5

Fonte: AUTOR, 2014

Apêndice n° 14: demonstração do cálculo de sólidos suspensos realizados no dia 17/09/2014 e 18/09/2014

Calculo para afluente bruto

C₁- peso seco das amostras antes da filtração 29,2050 gramas,

C_{1f}- peso da mesma amostra após a filtração e secagem na estufa 29,7033

V- 100ml.

$$SST = \frac{29,2050 - 29,70}{100ml} * 10^6$$

$$SST=52 \text{ mg/l}$$

Calculo para efluente tratado

$$SST = \frac{27,41890 - 27,4179}{100ml} * 10^6$$

$$SST=10 \text{ mg/l}$$

No dia 18/09/2014, quando realizava-se os cálculos de sólidos suspensos (SST), observou-se que o esgoto tinha uma carga orgânica muito elevada, por essa razão fez-se a filtração com 50ml do afluente.

Para afluente bruto:

$$SST = \frac{(29,7033 - 29,7021) \text{gramas}}{50 \text{ml}} * 10^6$$

$$SST=12 \text{mg/l}$$

Efluente tratado:

$$SST = \frac{(25,1062 - 25,1053) \text{gramas}}{50 \text{ml}} * 10^6$$

$$SST=18 \text{ mg/l}$$

Apêndice n° 15: Leitura do pH e do Oxigénio Dissolvido a Temperatura nos 6 Reactores Anaeróbicos

Designação dos tanques de RAFA	pH [-]	T°C	OD (mg/l O ₂)
L _{ba}	9,44	26,0	0,17
L _{bb}	9,71	26,1	0,3
L _{bc}	9,56	26,3	0,09
L _{bd}	9,63	26,1	0,15
L _{be}	9,62	26,2	0,19
L _{bf}	9,82	25,9	0,17

Fonte: AUTOR, 2014

Anexo nº1: Padrões Gerais de Descarga de Águas Residuais Domésticas e Industriais no meio Receptor Decretam nº 30/2003 de 1 de Julho

1 DE JULHO DE 2003

276—(63)

ANEXO 17 – PADRÕES GERAIS DE DESCARGA DE ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS E INDUSTRIAIS NO MEIO RECEPTOR

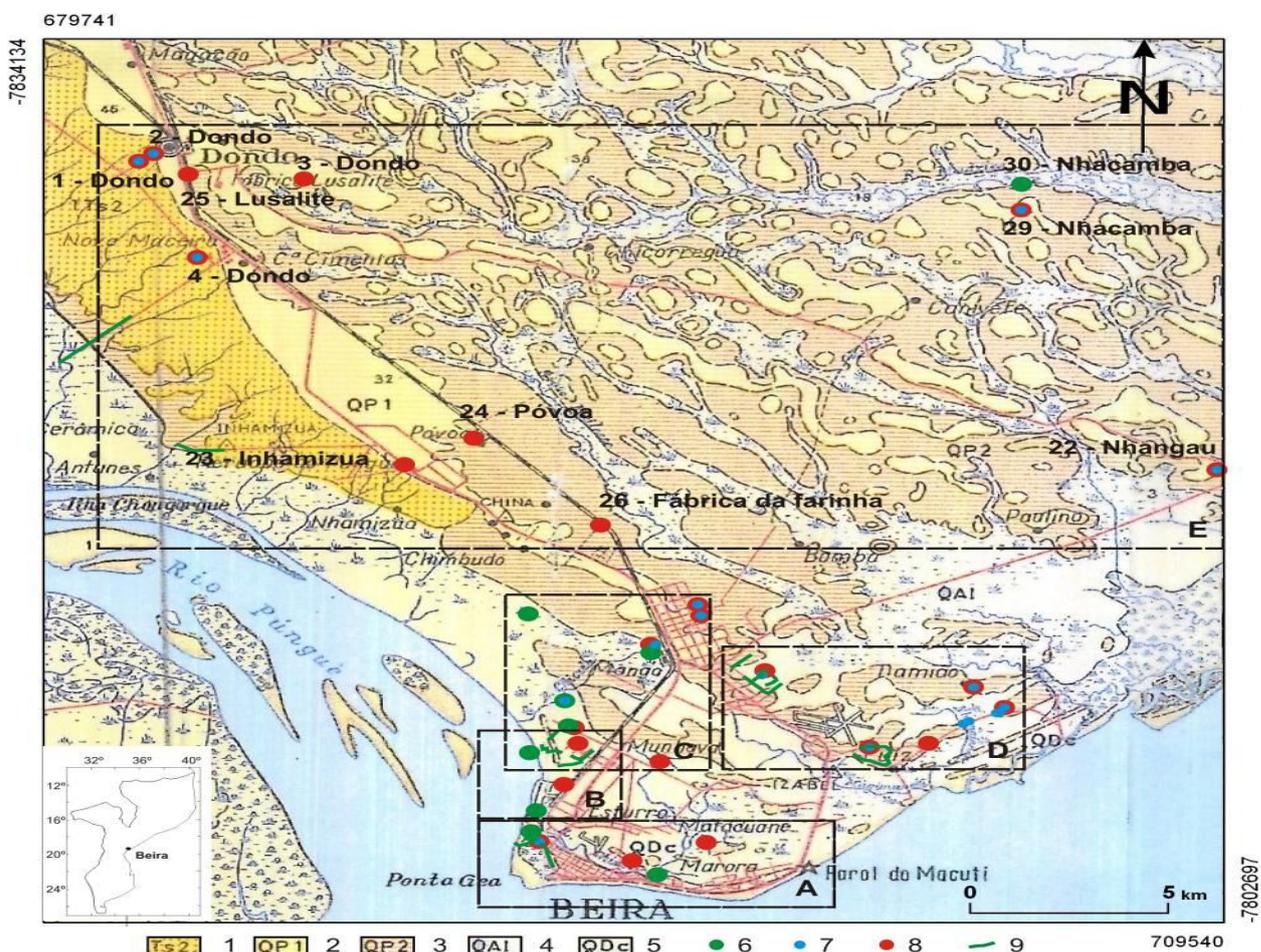
O presente anexo estabelece os padrões quantitativos e qualitativos a que deve obedecer a descarga de águas residuais domésticas no meio receptor.

É de notar que os parâmetros estabelecidos no presente Anexo obrigam de futuro ao tratamento de águas residuais, o que em geral não se verifica à data de publicação do presente Regulamento. Assim, o prazo e as condições de aplicação para os sistemas existentes deverá ser objecto de instruções adicionais específicas a emanar por entidade competente.

A descarga de águas residuais domésticas e industriais no meio receptor deverão obedecer aos limites seguintes:

Parâmetro ⁽¹⁾	Valor máximo admissível	Unidades	Observações
Cor	diluição 1:20	Presença/ausência	
Cheiro	diluição 1:20	Presença/ausência	
Ph, 25°C	6,0-9,0	Escala de Sorensen	
Temperatura	35 ⁽²⁾	°C	Aumento no meio receptor
Carência química de oxigénio (CQO)	150,0	mg/l O ₂	
Sólidos suspensos totais (SST)	60,0	mg/l	
Fósforo total	10,0	mg/l	3 mg/l em zonas sensíveis
Azoto total	15,0	mg/l	

Anexo nº 2: Carta Geológica da Beira, com Implantação das Áreas de Trabalho e Pontos Amostrados.



- A- Indica o centro da cidade da Beira:
- B- Porto da Beira, área:
- C- Bairro da Manga; área:
- D- Aeroporto, área:
- E- Zonas menos populosas e rurais. Círculos verdes: sedimentos;
Círculos vermelhos: solos; Círculos azuis: água subterrânea; Linhas verdes: perfis geofísicos.

Anexo nº 3: Laboratório da ETAR 2014 - Quadro de Análises de Rotina e de Eficácia

Laboratório da Estação de Tratamento de Águas Residuais - Relatório 2014

Pontos de colheita das amostras:

- L1 Afluente à ETAR - Saída da conduta elevatória
- L2 Entrada do Reactor Anaeróbio - Distribuidor central do RAN
- L3 Interior do Reactor Anaeróbio (6 pontos de colheita: af)
- L4 Saída do Reactor Anaeróbio - Canal de saída do RAN
- L5 Saída dos Filtros Biológicos - Caixa de distribuição aos decantadores
- L6 Saída dos Decantadores Secundários - Caixa de passagem
- A1 Água de Serviço - Rede de distribuição

LABORATÓRIO DA ETAR 2014 - QUADRO DE ANÁLISES DE ROTINA E DE EFICACIA

C		Temperatura [°C]			pH [-]			O2 dissolvido [mgO ₂ /L]					CQO [mgO ₂ /L]					CBO ₅ [mgO ₂ /L]					SST [mg/L]			
mês	di a	L 1	L 3	L 6	L 1	L 3	L 6	L 1	L 3	L 4	L 5	L 6	L 1	L 2	L 4	L 5	L 6	L 1	L 2	L 4	L 5	L 6	L 1	L 2	L 4	L 6
JAN(01)	01	29,7	29,6	27,1	7,3	6,9	7,0	2,8	0,2			4,7	212				94	391				70	a)	a)	a)	a)
FEV(01)	01	23,8	28,9	22,1	7,9	7,6	7,7	0,3	0,3			7,8	b)				b)	b)				b)	a)			a)
MAR(14)	14	29,8	29,3	27,7	7,5	7,5	7,5	0,3	0,3			5,4	386				73	162				70	158			20
ABR(16)	16	29,1	28,2	25,9	7,1	7,3	6,9	1,9	0,2	1,4	6,8	5,8	604	214	198	49	43	286	16	97	3	43	84	90	60	49
MAI(14)	14	26,4	27,0	24,0	7,1	7,2	6,6	0,2	0,3	0,2		5,3	309		136		82	162		97		28	78		59	18
JUN(11)	11	26,8	25,2	22,7	7,0	7,3	7,1	3,2	0,2			4,7	217				78	281				59	64			17
JUL(09)	09	25,8	24,9	20,3	7,8	8,0	7,1	1,4	0,1	3,7	5,9	7,8	238	353	134	76	74	170	248	119	39	35	176,7	236,7	30,0	23,8
AGO(12)	12	25,7	25,0	22,4	8,8	8,7	9,0	0,8	0,1			4,7	356				82	210,0				43	224,0			8,0
SET(17)	17	25,2	24,9	23,5	8,7	10,3	8,6	1,9	0,2			4,3	280				85	275,0				54	212,0			18,0

OUT(1 3)	13	27 ,6	27 ,1	24 ,7	c) c) c)	0, 1	0, 1	2, 5	3, 2	4, 5	157	222	140	81	81	148 ,0	214 ,0	112 ,0	49 ,4	47	180 ,0	230 ,0	## #	22 ,0		
NOV(0 1)	01	28 ,4	26 ,6	26 ,5	7, 3	7, 0	7, 3	0, 0	5, 2	5, 2	199				91	286 ,0				64	160 ,0			54 ,0		
DEZ(0 1)	01	28 ,5	26 ,1	25 ,7	7, 4	7, 1	7, 5	0, 1	4, 9	4, 9	216				79	259 ,0				56	130 ,0			9, 6		
Med 2014:		27 ,2	26 ,9	24 ,4	7, 6	7, 7	7, 5	1, 3	0, 2	1, 9	5, 3	5, 4	288 ,5	263 ,0	152 ,0	68 ,7	78, 4	239 ,1	159 ,0	106 ,3	30 ,5	51 ,7	14 7	185 ,6	79, 8	23 ,9
Min		23 ,8	24 ,9	20 ,3	7, 0	6, 9	6, 6	0, 1	0, 1	0, 2	3, 2	4, 3	157 ,0	214 ,0	134 ,0	48 ,7	43, 3	148 ,0	16, 0	97, 0	3, 0	28 ,0	64, 0	90, 0	30, 0	8, 0
Max		29 ,8	29 ,6	27 ,7	8, 8	10, 3	9, 0	3, 2	0, 4	3, 7	6, 8	7, 8	604 ,0	353 ,0	198 ,0	80 ,7	93, 8	391 ,0	248 ,0	119 ,0	49 ,4	70 ,0	224 ,0	236 ,7	## ##	54 ,0
Med 2013:		26 ,7	26 ,8	24 ,9	7, 6	7, 7	8, 0			4, 7			351 ,7		194 ,4		109 ,9	158 ,7		113 ,2		52 ,1				

a) Não realizado por falta de material (pontas de pipetas).

b) Não realizado por oscilação constante de corrente eléctrica.

c) Não realizado por falta de sonda de pH metro