UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

MURILO PEREIRA MOISÉS

ESTUDO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UM COMPLEXO INDUSTRIAL COM VISTA A MELHORIA NO SISTEMA

MARINGÁ

2011

MURILO PEREIRA MOISÉS

ESTUDO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UM COMPLEXO INDUSTRIAL COM VISTA A MELHORIA NO SISTEMA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá como requisito final para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Rogério Lautenschlager.
Co-Orientadora: Profa. Dra. Juliana Carla Garcia Moraes.

MARINGÁ

2011

MURILO PEREIRA MOISÉS

ESTUDO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UM COMPLEXO INDUSTRIAL COM VISTA A MELHORIA NO SISTEMA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, na área de concentração Infra-estrutura e Sistemas Urbanos, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 16 de setembro de 2011.

Profª. Drª. **Juliana Carla Garcia Moraes**

Profª. Drª. **Karina Querne de Carvalho**

Prof. Dr. **Sandro Rogério Lautenschlager**
Orientador

Resumo

Este trabalho consistiu em caracterizar os efluentes líquidos de um complexo industrial e melhorar a eficiência de remoção de matéria orgânica do sistema de tratamento de efluentes. O complexo industrial estudado divide-se em oito fábricas, distintas no processo fabril, sendo que duas destas, geram efluentes continuamente, e, são interligadas na estação de tratamento de efluentes (ETE). No processo produtivo, destaca-se o óleo de soja, mamona, palmiste e algodão refinado, ácido esteárico, ácido graxo, margarina, alcolato de sódio e Glicerina bi-destilada. O efluente resultante do uso da água nestes processos apresenta elevada carga orgânica. Verificou-se que a ETE tem remoção média matéria orgânica em termos de DQO de aproximadamente 89% entretanto, ainda assim, a concentração final de DQO atinge valores superiores aos exigidos pela Companiha de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) exposto no Decreto 8.468 de 8 de Setembro de 1976 no Artigo 19-A. Verificou-se que o sistema de aeração no tratamento biológico por lodos ativados era insuficiente para as oscilações na carga aplicada, assim um novo grupo de aeradores foi instalado, alterando a concentração média de oxigênio dissolvido de 0,25 mgL^{-1} para 3,20 mgL^{-1}. Com as novas concentrações de oxigênio dissolvido a eficiência média de remoção de DQO no tratamento biológico aumentou de 55% para 79%. Os resultados do monitoramento subsidiaram a tomada de decisão para, aquisição de um equipamento para deságüe de lodo,implantação de um tratamento anaeróbio antes do aeróbio, reforma no sistema de tratamento físico-químico e construção de um laboratório para promover melhor controle analítico na estação de tratamento de efluentes.

Palavras-chave: Matéria orgânica, Efluentes industriais, Aeração

Abstract

In this work the wastewater of an industrial complex was characterized to improve the efficiency of removal of organic matter in the process of treatment. The industrial complex studied is divided into eight factories in different manufacturing process, and two, generate effluents continuously, and are carried to wastewater treatment plant (WWTP). In the production process, there is soybean oil, castor oil, refined palm oil and cotton, stearic acid, fatty acid margarine, alcolate Glycerin and sodium bi-distilled. The wastewater resulting from the use of water in these processes has a high organic load. It was found that the WWTP has an average organic matter removal in terms of COD of approximately 89% however, still, the final concentration of COD reaches values higher that the required by Environmental Sanitation and Technology Company of the São Paulo Stated in Decree 8468 of 8 September 1976 under Article 19-A. It was found that the aeration system in biological treatment, activated sludge, was insufficient to applied load, so a new group of aerators installed by changing the average concentration of dissolved oxygen from 0.25 mgL^{-1} to 3.20 mgL^{-1}. With the new concentrations of dissolved oxygen the average efficiency of COD removal in biological treatment increased from 55% to 79%. The monitoring results supported the decision making for acquisition of equipment for sludge drainage, installation of an anaerobic treatment, reform in the physical-chemical treatment (dissolved air flotation) and construction of a laboratory to promote better analytical control of the wastewater treatment plant.

Keywords: Organic matter, Wastewater , Aeration

Índice

1 INTRODUÇÃO 11

2 OBJETIVOS 13

3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL 14

4 PROCESSOS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES 19

4.1 TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO 19

4.1.1 Gradeamento e Peneiramento 19

4.1.2 Desarenação 23

4.1.3 Neutralização 23

4.1.4 Coagulação 24

4.1.5 Floculação 25

4.1.6 Sedimentação 26

4.1.7 Flotação 27

4.1.8 Separadores Centrifugadores 28

4.2 TRATAMENTO BIOLÓGICO 28

4.2.1 Processos Anaeróbios 29

4.2.2 Tratamento Aeróbio 31

4.2.3 Adensamento do Lodo 34

4.3 PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS 38

5 MATERIAL E MÉTODOS 40

5.1 ÁREA DE ESTUDO 40

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES 42

6.1 ANALISE DOS PROCESSOS UNITÁRIOS E EQUIPAMENTOS ADOTADOS 42

6.2 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO NAS FÁBRICAS 49

6.3 CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES NOS PONTOS DE MONITORAMENTO 56

6.4 PROPOSTA PARA ADEQUAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO 64

7 CONCLUSÃO 70

8 BIBLIOGRAFIA 71

Índice de Figuras

FIGURA 1 FLUXOGRAMA DAS LEIS E ÓRGÃOS GESTORES E FISCALIZADORES QUE REGULAM O USO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL. 16
FIGURA 2 GRADEAMENTO POR MEIO DE CORRENTE TRANSPORTADORA 21
FIGURA 3 GRADEAMENTO POR MEIO DE CESTO ROTATIVO 22
FIGURA 4 ALGUNS TIPOS DE PENEIRAS (A) PENEIRA ESTÁTICA (B) PENEIRA ROTATIVA 22
FIGURA 5 REPRESENTAÇÃO DOS PROCESSOS DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO 26
FIGURA 6 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO REATORES UASB; (A) BIOTHANE; (B) UASB COMPARTIMENTADO; (C) UASB COM RECIRCULAÇÃO INTERNA E (D) UASB COM LEITO GRANULAR EXPANDIDO (ADAPTADO DE CAMPOS (1999)) 31
FIGURA 7 VISTA AÉREA DO COMPLEXO INDUSTRIAL 40
FIGURA 8 FLUXOGRAMA DA ETE E PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS 41
FIGURA 9 SISTEMA DE GRADEAMENTO 42
FIGURA 10 TANQUE DE EQUALIZAÇÃO. 44
FIGURA 11SEPARADOR ÁGUA/ÓLEO. 43
FIGURA 12 FLOTADOR POR AR DISSOLVIDO 45
FIGURA 13 LAGOA FACULTATIVA (LAGOA DE EQUALIZAÇÃO) 45
FIGURA 14 TANQUE DE AERAÇÃO 46
FIGURA 15 DECANTADOR SECUNDÁRIO 46
FIGURA 16 LAGOA DE POLIMENTO (LAGOA 2) 47
FIGURA 17 LEITOS DE SECAGEM 48
FIGURA 18 LOCALIZAÇÃO DAS FÁBRICAS E ESTAÇÃO DE TRATAMENTO 49
FIGURA 19 FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE REFINO DE ÓLEO VEGETAL BRUTO 50
FIGURA 20 FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ÁCIDO ESTEÁRICO..... 50
FIGURA 21 CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM TERMOS DE DBO NAS FÁBRICAS. 51
FIGURA 22 CONCENTRAÇÃO DE OG NAS FÁBRICAS. 52

FIGURA 23 CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM TERMOS DE DQO NAS FÁBRICAS. 52
FIGURA 24 CONCENTRAÇÃO DE ST NAS FÁBRICAS. 53
FIGURA 25 CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE DQO E DBO. 54
FIGURA 26 CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE DQO E O&G. 54
FIGURA 27 CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE DQO E ST. 55
FIGURA 28 DISTRIBUIÇÃO DE OD NO TANQUE DE AERAÇÃO ANTES DA INSTALAÇÃO DOS NOVOS AERADORES. 57
FIGURA 29 CONCENTRAÇÃO DE OG NO PONTOS DE MONITORAMENTO. 58
FIGURA 30 CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM TERMOS DE DBO NOS PONTOS DE MONITORAMENTO. 58
FIGURA 31 CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM TERMOS DE DQO NO PONTOS DE MONITORAMENTO. 59
FIGURA 32 CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE DBO E DQO. 60
FIGURA 33 CORRELAÇÃO ENTRE DQO E O&G. 61
FIGURA 34 CORRELAÇÃO ENTRE DBO E OG. 61
FIGURA 35 REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM TERMOS DE DBO NOS PROCESS . 62
FIGURA 36 REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM TERMOS DE DQO NOS PROCESS . 62
FIGURA 37 REMOÇÃO DE O&G NOS PROCESSOS. 63
FIGURA 38 CALHA DE TRANSPORTE DE LODO PRIMÁRIO 65
FIGURA 39 FLOTADORES ANTES DA REFORMA 65
FIGURA 40 NOVO LAY-OUT DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO 67
FIGURA 41 DISTRIBUIÇÃO DE OD NO TANQUE DE AERAÇÃO APÓS A INSTALAÇÃO DOS NOVOS AERADORES. 68
FIGURA 42 REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM TERMOS DE DQO ANTES E APÓS INSTALAÇÃO DOS AERADORES 69

Índice de Quadros

QUADRO 1 TIPOS DE GRADE 20

QUADRO 2 PRODUTOS COMUMENTE UTILIZADOS NO TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE EFLUENTES 25

QUADRO 3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO TRATAMENTO ANAERÓBIO DE EFLUENTES 30

QUADRO 4- CARACTERÍSTICAS DE EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA DESIDRATAÇÃO DE LODO 37

QUADRO 5 POTENCIAL DE OXIDAÇÃO DE ALGUNS AGENTES OXIDANTES 38

QUADRO 6 MÉTODOS PARA GERAÇÃO DOS RADICAIS $^{\cdot}OH$ 39

QUADRO 7 METODOLOGIA ANALÍTICA UTILIZADA PARA CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE ESTUDO ..... **ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.**

QUADRO 8 CARACTERIZAÇÃO DA CONTINUIDADE NA GERAÇÃO DE EFLUENTES NAS FÁBRICAS 49

QUADRO 9**.** MÉDIA DOS PARÂMETROS ANALISADOS NA ETE 56

QUADRO 10**.** PARÂMETROS DE CONTROLE NO LODO ATIVADO E PROPOSTA DE ADEQUAÇÃO 66

1 Introdução

A industrialização de oleaginosas constitui-se em um dos mais importantes setores do sistema agroindustrial, pela importância de seus produtos nas indústrias de cosméticos e como matéria prima no processamento de alimentos para o consumo animal e humano, segundo Paraíso (2001).

O processo convencional contínuo para refino de óleos vegetais se divide em algumas etapas que dependem do tipo de óleo (variedade de oleaginosas) e qualidade do óleo bruto. Os óleos vegetais brutos são extraídos mecanicamente por prensagem e/ou pelo contato com um solvente. A extração por solvente, desde seu surgimento, mostrou-se o modo mais interessante de se extrair óleos vegetais de suas matrizes. O sucesso do processo a solvente está em sua capacidade de reduzir a níveis bastante baixos o resíduo de óleo presente em materiais oleaginosos. O solvente que se estabeleceu, desde o início, foi a fração hexano do petróleo, que além de vir de uma fonte não-renovável de matériaprima, traz consigo os infortúnios atrelados ao mercado do petróleo, sendo ainda tóxico e inflamável.

Neste caso, após a extração, o óleo forma com o solvente uma mistura denominada miscela, da qual recupera-se o solvente por evaporação seguida de esgotamento com vapor de arraste. Já a corrente de óleo bruto, ainda ligeiramente contaminado com o solvente, segue para o processo de refino. O óleo bruto é composto de uma mistura de triglicérides (que é a forma básica do óleo de soja), ácidos graxos livres, fosfatídeos (entre eles lecitina), compostos oxigenados, pigmentos (caroteno, xantofilas, clorofilas), gossipol, quinomas, dicetonas, voláteis diversos, entre outros. A importância nutricional dos óleos vegetais se deve ao seu alto valor energético e à presença de vitaminas, ácidos graxos essenciais e antioxidantes naturais.

Para consumo humano o óleo deve ser composto essencialmente por triglicerídeos; o refinamento ou purificação do óleo é então necessário para remover as impurezas indesejáveis e a acidez, presentes naturalmente nos óleos, ou formadas nas etapas anteriores do processamento, que lhe imputam características indesejáveis e aceleram sua rancificação e oxidação. As etapas envolvidas neste processamento são: degomagem, desacidificação por via física (refino físico) ou por adição de soda cáustica (refino químico), clarificação e desodorização.

Tendo em vista a complexidade dos resíduos gerados nas estações de tratamento de efluentes industriais oleosos, faz-se necessário mapear os pontos de geração quanto à quantidade e a qualidade dos efluentes produzidos.

Para um bom funcionamento, uma estação de tratamento de efluentes (ETE) requer um monitoramento dos processos adotados, através da determinação de parâmetros de controle que possam auxiliar na detecção de falhas, e otimização dos processos quanto à redução da carga poluidora e dos custos envolvidos.

O efluente gerado no processo de industrialização do óleo de soja possui elevada concentração de matéria orgânica em termos de demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST) e dissolvidos (SSD) e óleos e graxas, oque pode causar impactos significativos se este for descartado em sua forma bruta no ambiente.

Portanto torna-se necessário o tratamento destes efluentes com o intuito de diminuir a concentração de matéria orgânica até atingir os níveis exigidos pela legislação ambiental, para que posteriormente a água utilizada nestes processos industriais seja devolvida ao ambiente sem prejudicá-lo ou reaproveitá-la no próprio processo.

2 Objetivo geral

Estudar os processos de tratamento adotados na estação de tratamento de efluente de um complexo industrial que atua no processamento de óleo e, propor melhorias com vistas ao aumento da remoção de matéria orgânica.

Objetivos especificos:

1. Caracterizar os efluentes gerado na fábrica de ácido esteárico e refinaria de óleo vegetal, quanto à freqüência de geração e concentrações de contaminantes.
2. Caracterizar o efluente na estação de tratamento;
3. Estudar os processos adotados para tratamento de efluentes;
4. Propor melhorias ao sistema de tratamento de efluentes com vista ao aumento na remoção de matéria orgânica em termos de DQO;
5. Avaliar a eficiencia de remoção de matéria orgânica no sistema de lodos ativados após adequação e cálculo de parâmetros de controle operacional.

3 Legislação ambiental

No Brasil, na Lei nº 6.938, de 31.08.1981 (Brasil, 1981), modificada pela Lei nº 7.804/1989, e regulamentada pelos Decretos nº 88.351, de 01.06.1983 e 99.274, de 06.06.1990, dentre outros, denominada Política Nacional de Meio Ambiente, é definido que o poluidor é obrigado a indenizar os danos ambientais causados por ele ao meio ambiente e a terceiros, independentemente de culpa. Este é o conhecido princípio do poluidor-pagador, que determinou nova postura em relação ao meio ambiente, no sentido de introduzir a necessidade de conciliação entre o desenvolvimento econômico-social e a preservação do meio ambiente.

O Ministério Público (Promotor de Justiça ou Procurador da República) pode propor ações de responsabilidade civil por danos ao meio ambiente, impondo ao poluidor a obrigação de recuperar e/ou indenizar prejuízos causados. Também com esta lei foram criados os Estudos e respectivos Relatórios de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), regulamentados em 1986 pela Resolução 001/86 do CONAMA. O EIA/RIMA deve ser feito antes da implantação de atividade econômica, que afete significativamente o meio ambiente, como estrada, indústria ou aterros sanitários, devendo detalhar os impactos positivos e negativos que possam ocorrer devido às obras ou após a instalação do empreendimento, mostrando como evitar os impactos negativos. Se não for aprovado, o empreendimento não pode ser implantado. Na lei há ainda o direito à informação ambiental.

Considerando a Lei 6.938 (Brasil,1981), para se construir, reformar, ampliar a capacidade de uma indústria, é necessário inicialmente que o Órgão Ambiental seja consultado a fim de avaliar a necessidade ou não de um processo de licenciamento ambiental. O licenciamento é constituído pela licença prévia, licença de instalação e licença de operação ou funcionamento.

A ONU redigiu um documento em 22 de março de 1992 - intitulado "Declaração Universal dos Direitos da Água". O texto contempla sobre a importância da água em que é considerado um patrimônio do planeta. Sendo essencial para vida, deve ser manipulada com racionalidade, precaução e parcimônia. Conforme item 6 deste decreto, “a água não é uma doação gratuita da natureza; ela tem um valor econômico: precisa-se saber que ela é, algumas vezes, rara e dispendiosa e que pode muito bem escassear em qualquer região do mundo”.

O Brasil vem produzindo, desde o início do século passado, legislações e políticas que buscam paulatinamente consolidar uma forma de valorização de seus recursos hídricos. Neste contexto sócio-econômico foi publicado o Decreto 24.643 em 10 de Julho de 1934, que aprovou o Código de Águas Brasileiro. Permanecendo fiéis os seus princípios de valorização da água, encontram no Código de 1934, os primeiros dispositivos legais que possibilitam que, o Brasil trabalhe com instrumentos de gestão que possibilitam a cobrança pelo uso da água, dos quais destacam-se o aproveitamento das águas e a fiscalização.

Para determinar qual será o nível de tratamento desejado para uma estação de tratamento de esgoto, deve-se obedecer à resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente de 17 de março de 2005, decretos e normas de órgãos estaduais e municipais de controle, no qual se situa o “empreendimento poluidor” (JUCHEN; 2001). Na Figura 1 é apresentado um fluxograma das leis e órgãos gestores e fiscalizadores que regulam o uso dos recursos hídricos no Brasil.

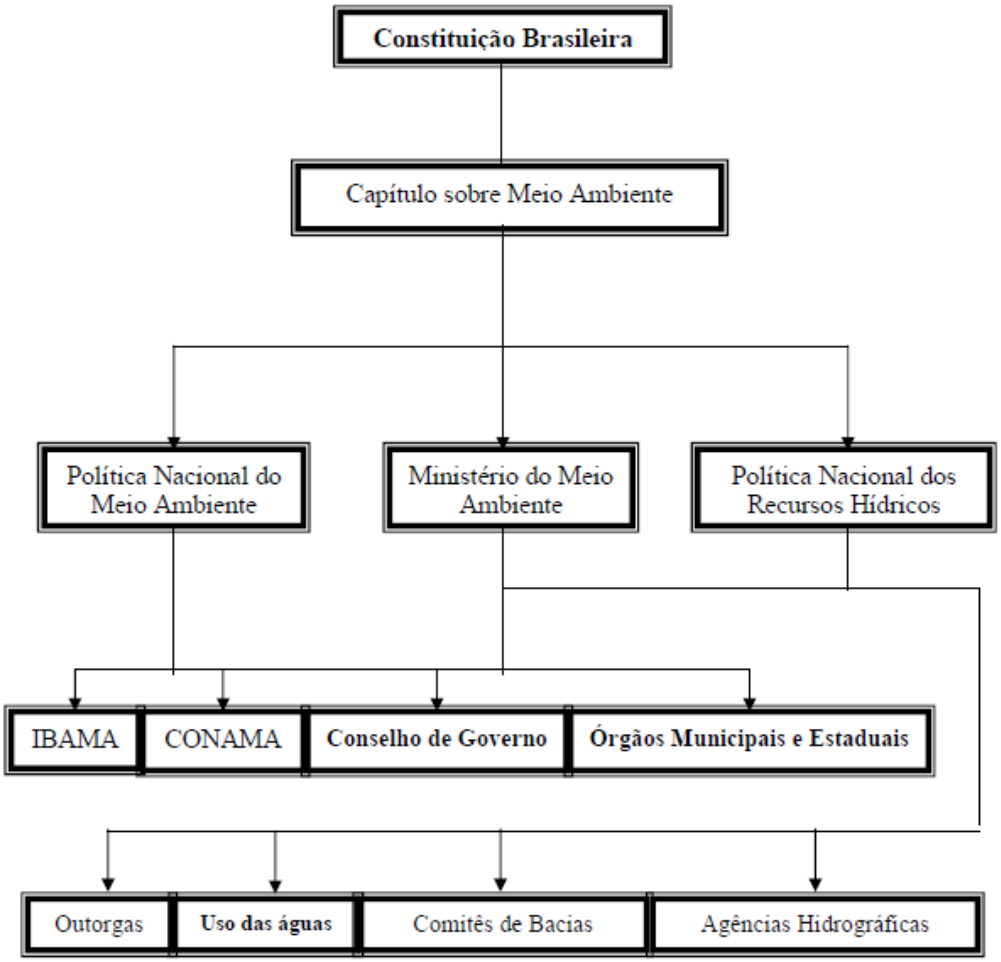

Figura 1 Fluxograma das leis e órgãos gestores e fiscalizadores que regulam o uso dos recursos hídricos no Brasil.
Fonte: Junchen (2001)

A Agência Nacional de Águas (ANA), criada em julho de 2000, tem como missão básica a implantação do sistema nacional de recursos hídricos, no sentido de fornecer subsídio técnico na implantação das políticas hídricas (Brasil, 2004).

Em 30 de dezembro de 1991, o Estado de São Paulo instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos por meio da Lei Estadual Nº. 7663. Inspirada no modelo francês, a legislação brasileira sobre recursos hídricos é um modelo ambicioso de gestão do uso dos rios e, de acordo com esta Lei, as decisões sobre os usos dos rios em todo o País serão tomadas pelos Comitês de Bacias Hidrográficas, que são constituídos por representantes da sociedade civil (1/3), do estado (1/3) e dos municípios (1/3).

O decreto estadual de São Paulo nº 8468, de 8 de setembro de 1976, aprovou o regulamento de lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre prevenção e o controle da poluição do meio, estabelecendo padrões de emissão para efluentes oriundos de atividades diversas. O artigo 19-A deste decreto estabelece limites quantitativos para lançamento de efluentes industriais em sistemas de esgoto, como segue:

I - pH entre 6,0 e 10,0;

II - temperatura inferior a 40º C;

III - materiais sedimentáveis até 20 mlL^{-1} em teste de 1 hora em "cone Imhoff";

IV - ausência de óleo e graxas visíveis e concentração máxima de 150 mgL^{-1} de substâncias solúveis em hexano;

V - ausência de solventes, gasolina, óleos leves e substâncias explosivas ou inflamáveis em geral;

VI - ausência de despejos que causem ou possam causar obstrução das canalizações ou qualquer interferência na operação do sistema de esgotos;

VII - ausência de qualquer substância em concentração potencialmente tóxicas a processos biológicos de tratamento de esgotos;

VIII - concentrações máximas dos seguintes elementos, conjuntos de elementos ou substâncias:

a) arsênico, cádmio, chumbo, cobre, cromo hexavalente, mercúrio, prata e selênio - 1,5 mgL^{-1} de cada elemento sujeitas à restrição da alínea e deste inciso;

b) cromo total e zinco 5,0 mgL^{-1} de cada elemento, sujeitas ainda à restrição da alínea e deste inciso;

c) estanho - 4,0 mgL^{-1} sujeita ainda à restrição da alínea e deste inciso;

d) níquel - 2,0 mgL^{-1}, sujeita ainda à restrição da alínea e deste inciso;

e) todos os elementos constantes das alíneas "a" a "d" deste inciso, excetuando o cromo hexavalente - total de 5,0 mgl^{L-1};

f) cianeto - 0,2 mgL^{-1};

g) fenol - 5,0 mgL^{-1};

h) ferro solúvel - Fe^{2+} - 15,0 mgL^{-1};

i) fluoreto - 10,0 mgL^{-1};

j) sulfeto - 1,0 mgL^{-1};

l) sulfato - 1.000 mgL^{-1};

4 Processos para Tratamento de Efluentes

4.1 Tratamento físico-químico

O tratamento fisico-químico é baseado em processos de coagulação, floculação, sedimentação ou flotação, e são comumente utilizados em sistemas de tratamento de efluentes. Tais processos físico-químicos podem ser separados em processos físicos como gradeamento, sedimentação, filtração, flotação e equalização e processos químicos como coagulação, precipitação, troca iônica, oxidação e neutralização.

A parte inicial dos sistemas de tratamento de efluentes são os processos preliminares considerados métodos/operações físicos, onde são utilizados gradeamento, peneiramento e desarenação.

4.1.1 Gradeamento e Peneiramento

De acordo com Jordão e Pessoa (2005) o gradeamento é constituídos por barras paralelas e igualmente espaçadas que destinam-se a reter sólidos grosseiros em suspensão e corpos flutuantes.

As principais finalidades da remoção desses resíduos são:

1. Proteção dos dispositivos de transporte dos esgotos nas suas diferentes fases, líquida e sólida (lodo), tais como: bombas, tubulações, transportadores e peças especiais.
2. Proteção de dispositivos de tratamento de esgotos, tais como: raspadores, removedores, aeradores, meios filtrantes, bem como dispositivos de entrada e saída.

Caso se necessite uma remoção de resíduos de dimensões menores, podem ser usadas, como complementação, peneiras com pequenos espaçamentos. As principais características de unidade de remoção de sólidos grosseiros são:

- Espaçamento das barras: as grades de barras são classificadas em grades grosseiras, médias, finas e ultrafinas, em função do tipo de material que se deseja reter. Esse conceito varia de autor para autor ou até de país para país, mas de maneira geral os tipos de grades e seus espaçamentos podem ser exemplificados de acordo com o Quadro 1:

Quadro 1 Tipos de grade

Espaçamento entre as barras	
Tipo da grade	Milímetros
Grades grosseiras	40 a 100
Grades médias	20 a 40
Grades finas	10 a 20
Grades ultrafinas	3 a 10

Fonte: Jordão e Pessoa (2005)

- Dimensões das barras: as barras deverão ser suficientemente robustas para suportar os impactos e esforços devidos a procedimentos operacionais. As barras de grandes dimensões geram perdas de carga no sistema.
- Inclinação das barras: podem ser instaladas na vertical ou inclinadas. Geralmente as barras de limpeza manual são inclinadas para facilitar a operação de limpeza. Esta inclinação varia entre 30º a 45º com a horizontal para grades grosseiras e de 45º a 60º para grades médias e finas. Inclinações menores que 30º geram extensões do canal da grade e inclinações maiores que 60º são utilizadas para grades de limpeza mecanizada contínua, pois o material retido pode se desprender da grade e voltar ao canal afluente nos intervalos de limpeza.
- Forma das barras: geralmente são barras retas, principalmente se o espaçamento entre as barras for pequeno, mas existem as grades de barras curvas com limpeza mecanizada através de ancinho giratório. As barras também podem variar sua seção de retangular ou com arestas arredondadas,

até seções circulares, fator este com influência direta na perda de carga do sistema.

- Material das barras: sistemas mais antigos utilizavam ferro fundido na composição das grades, mas pelo intenso ataque químico, este material foi substituído por aço inoxidável, alumínio, fibra de vidro e plásticos especiais que, além de serem mais resistentes à degradação química, são também mais leves.
- Dispositivo de limpeza: basicamente os sistemas de limpeza podem ser manuais ou mecanizados. Os manuais são usados para estações de pequeno porte ou em estações de grande porte, com espaçamento grande entre barras, para proteção do sistema mecanizado de limpeza a jusante, e consistem na limpeza das grades com a utilização de um ancinho. Já os sistemas mecanizados são utilizados em estações de médio a grande porte ou em sistemas com espaçamento pequeno entre as barras, que exigem limpeza contínua. Existe no mercado uma série de equipamentos mecanizados para remoção de sólidos grosseiros. Dentre eles podem destacar as grades de barras do tipo escalar, tipo cremalheira, tipo corrente transportadora (Figura 2), tipo cesto rotativo (Figura 3) e a grade de barras curvas com rastelo simples ou duplo.

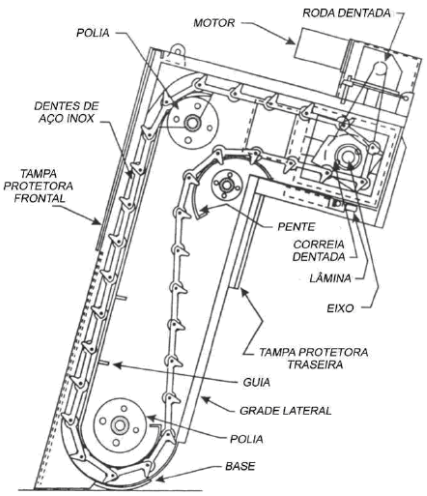

Figura 2 Gradeamento por meio de corrente transportadora

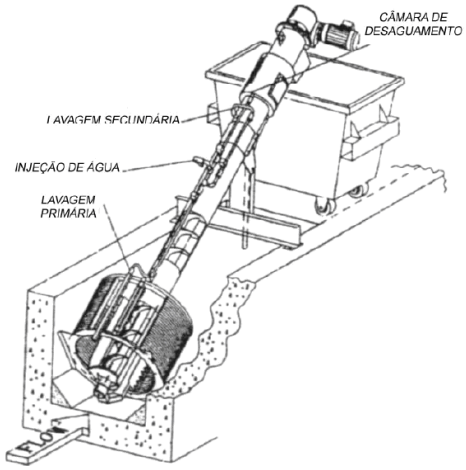

Figura 3 Gradeamento por meio de cesto rotativo

O Peneiramento tem por finalidade remover os materiais sólidos suspensos nas águas residuárias, em geral os materiais com granulometrias superiores a 0,25mm; Existem peneiras estáticas (Figura 4a) onde os efluentes fluem na parte superior, passando por uma tela onde os materiais grosseiros são recolhidos e seguindo para as demais fases do tratamento; outro tipo são as peneiras rotativas (Figura 4b) nas quais o efluente passa por um defletor, alcança a peneira, atravessa por fendas, sendo recolhido na parte inferior, e os materiais sólidos removidos por uma lâmina raspadora, sendo posteriormente enviados para um vaso coletor;

Figura 4 Alguns tipos de peneiras (a) peneira estática (b) peneira rotativa

4.1.2 Desarenação

Os desarenadores são sedimentadores que priorizam a remoção de sólidos abrasivos e não-putrescíveis. As funções principais destes sistemas são prevenir o desgaste excessivo de equipamentos, provocado pela abrasão com o material particulado; reduzir o acúmulo de detritos em tubulações e canais e diminuir a freqüência de limpeza de digestores anaeróbios e tanques de aeração, ocasionada pela deposição de sólidos inertes em seus interiores. Assim, os desarenadores devem ser capazes de remover partículas densas ($\rho_s \approx 2.400 Kgm^{-3}$ a $2.600 Kgm^{-3}$) maiores que 0,15 mm ou pelo menos aquelas com tamanho superior a 0,20 mm (METCALF & EDDY,2003).

Existe grande variedade de tipos de desarenadores, dentre os quais, destacam-se: desarenadores retangulares de escoamento horizontal, desarenadores quadrados de escoamento horizontal, desarenadores aerados e os desarenadores de remoção por vórtice ou separadores vorticosos (METCALF & EDDY, 2003).

4.1.3 Neutralização

Antes de o efluente ser encaminhado para os processos de coagulação, floculação e flotação, existe em alguns casos, a necessidade da aplicação do processo de neutralização, que consiste em neutralizar a superfície das partículas que estão suspensas no efluente. As partículas possuem a superfície carregada eletricamente, devido à adsorção de íons (principalmente hidroxilas) presentes na água. O principal motivo de neutralizar o efluente se dá pelo fato de que a presença de cargas elétricas aumenta a repulsão das partículas dificultando a aglomeração e a formação de agregados maiores, de maneira mais rápida, que facilitam a sedimentação. Deste modo a neutralização elimina tais cargas eletrostáticas superficiais, ou seja, contribui para diminuição do chamado potencial Zeta (CECCHET, 2007).

4.1.4 Coagulação

A coagulação é um processo que consiste em aproximar as partículas (aglutinação), possibilitando que estas se tornem maiores e sedimentem mais rapidamente. A coagulação tem como finalidade a formação de uma interface sólido-líquido ativa, em que outros sólidos e/ou óleos que estão no efluente sejam aglomerados (LIPTÁK,1996). Segundo METCALF & EDDY (2003), a coagulação corresponde à desestabilização da dispersão coloidal, obtida por redução das forças de repulsão entre as partículas que possuem carga negativa, por meio da adição de produtos químicos apropriados. Os produtos mais usados são sais de ferro e alumínio seguidos de agitação rápida, no intuito de homogeneizar a mistura.

A coagulação pode ser ainda explicada por ROSA (2003) *apud* Cecchet (2007), como modelo físico de dupla camada elétrica. A adição de um eletrólito inorgânico que faz a redução da espessura da dupla camada elétrica, reduzindo as forças repulsivas eletrostáticas entre as partículas. A coagulação ocorre quando a interação repulsiva entre as duplas camadas elétricas é suficientemente reduzida, o que permite a aproximação das partículas até que as forças de atração, de *Van der Waals,* predominem.

Podem ser utilizados para quebra das emulsões água-óleo, métodos físicos, químicos e elétricos. Os processos químicos de desemulsificação incluem, entre outros, o uso de processos de acidificação e coagulação. O processo de acidificação é mais efetivo que o de coagulação, entretanto é muito mais caro e o efluente final deve ser neutralizado após a separação. A coagulação feita com sais de alumínio e ou ferro ocorrede acordo com as equações 1 e 2.

$$Fe_2 (SO_4)_3 + 6\ H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3 + 3\ H_2SO_4 \quad (1)$$

$$Al_2 (SO_4)_3 + 6\ H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3\ H_2SO_4 \quad (2)$$

Dependendo da origem do óleo, e quantidade de substâncias surfactantes, o efluente final apresenta concentração de óleo variável de 1 a 50mgL^{-1}.

4.1.5 Floculação

No processo de floculação são utilizados agentes poliméricos para que ocorra a união de coágulos, formando flocos maiores, assim, facilitando a separação sólido - liquido. Nesta etapa é importante o controle de agitação, de modo que haja contato entre os coágulos sem diminuir a interação entre eles e o agente floculante.

No Quadro 2 são apresentados diferentes produtos comumente utilizados como coagulante ou floculante no tratamento de efluentes.

Quadro 2 Produtos comumente utilizados no tratamento físico-químico de efluentes

Coagulante e Floculante	Função
$Ca(OH)_2$	Normalmente utilizado como controlador de pH, porém, os íons cálcio atuam também como agente coagulante
Polímeros Aniônicos e Não iônicos	Geração de "pontes" entre, as partículas já coaguladas e a cadeia do polímero, gerando flocos maiores em diâmetro
Polímeros Catiônicos	Neutralização de cargas elétricas superficiais que envolvem os sólidos suspensos e aumento no tamanho dos flocos via formação de "pontes".Usualmente utilizado no tratamento de lodo.
Policátions	Polieletrólitos catiônicos de baixo peso molecular, com função de neutralizar cargas elétricas superficiais e aumentar o tamanho dos flocos.
$Al_2(SO_4)_3$	Cátions polivalentes, com função de neutralização de cargas elétricas das partículas suspensas e os hidróxidos metálicos (Ex.:$Al_2(OH)_3$), ao adsorverem os particulados, geram uma coagulação.
Policloreto de Aluminio	
$FeCl_3$ - Cloreto Férrico	
$FeSO_4$ - Sulfato Ferosso	
Produtos à Base de Taninos	Coagulantes naturais, oferece beneficios à qualidade do lodo formado, devido menor concentração de metais.

Adaptado de Kurita (2007)

Na Figura 5 é apresentado um modelo esquemático dos processos de coagulação e floculação.

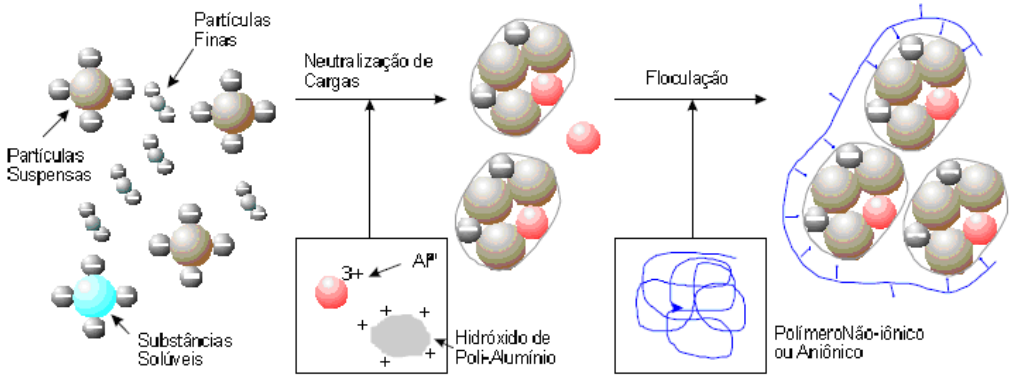

Figura 5 Representação dos processos de coagulação e floculação (Kurita, 2007)

4.1.6 Sedimentação

A sedimentação é o fenômeno físico no qual, em decorrência da ação da gravidade, partículas suspensas apresentam movimento descendente em meio líquido. A ocorrência da sedimentação das partículas suspensas propicia clarificação do meio líquido, ou seja, a separação das fases líquida e sólida. A sedimentação é utilizada com o duplo objetivo de produzir um efluente clarificado, com lodo suficientemente adensado. No tratamento de efluentes industriais, pode ser aplicada para remoção de areia, sólidos em suspensão, flocos derivados de processos biológicos, físicos e químicos (GUIMARÃES, 2007).

De acordo com METCALF E EDDY (2003), em função da concentração de sólidos, e da forma de interação entre as partículas, os seguintes tipos de sedimentação podem ocorrer:

- Sedimentação discreta: refere-se ao comportamento de partículas em suspensão com baixa concentração de sólidos, sem que haja interação significativa de uma partícula em relação às outras em sua vizinhança. Ocorre principalmente em caixas de areia.

- Sedimentação floculenta: ocorre em soluções nas quais, apesar de diluídas, as partículas aglomeram-se à medida que sedimentam. As características físicas do processo são alteradas, uma vez que o aumento do

tamanho pela formação dos flocos faz com que a sedimentação ocorra em taxas mais rápidas. Ocorre em decantadores primários, na parte superior dos decantadores secundários e na sedimentação com coagulação química.

- Sedimentação zonal: refere-se a suspensões de concentração intermediária de sólidos, onde forças inter-partículas são capazes de interferir na sedimentação de partículas vizinhas, formando um manto de lodo que sedimenta como uma unidade. Observa-se uma nítida interface de separação entre as fases sólida e líquida, e o nível da interface se move para baixo como resultado da sedimentação da manta de lodo. Ocorre principalmente em decantadores secundários.

- Sedimentação por compressão: caso a concentração de sólidos seja elevada, a sedimentação pode ocorrer apenas pela compressão da estrutura das partículas. A compressão ocorre devido ao peso das partículas, umas sobre as outras, peso esse que aumenta gradativamente à medida em que os sólidos do líquido sobrenadante continuam a se adensar. Com a compressão, parte da água é removida da matriz do floco, reduzindo seu volume. Esse é o princípio do funcionamento de adensadores por gravidade, ocorrendo também no fundo de decantadores secundários.

4.1.7 Flotação

Os equipamentos de flotação tendem a ser eficientes na remoção de óleo disperso, uma vez que a capacidade de flutuação é aumentada pela anexação de pequenas bolhas de ar à lenta ascensão dos glóbulos de óleo. Agentes coagulantes são comumente usados para promover a aglomeração de matéria contendo óleo em flocos maiores, que possam ser removidos facilmente (ABNT/1998).

Os equipamentos de flotação são precedidos de técnicas de separação que removem a maior parte do óleo livre e as partículas sólidas encharcadas de óleo. Isto reduz despesas com o volume de ar necessário e também com floculantes químicos

usados para promover a aglomeração de matéria contendo óleo, em flocos maiores. No método, comercialmente mais usado, de se produzir bolhas, o ar é dissolvido no tanque separador à pressão de duas a quatro atmosferas (ABNT/1998).

Dentro do tanque separador há um escape de pressão, resultando na formação de grande quantidade de bolhas de ar, que arrastam as partículas de óleo e matéria em suspensão para a superfície, de onde são retiradas. Empregada junto a floculação química acelera a flotação e melhora a aparência dos efluentes. O equipamento de flotação de ar é efetivo na produção de efluente com concentração de óleo variável de 1 mgL^{-1} a $20mgL^{-1}$ (ABNT/1998).

4.1.8 Separadores Centrifugadores

Os separadores centrifugadores também usam da vantagem da diferença de gravidade específica entre óleo e água. Nesta técnica, a fase aquosa mais densa é movida para a região mais externa do fluido em rotação. Os materiais oleosos mais leves, próximos ao vórtex, são subseqüentemente removidos. Desejando-se remover emulsões, a geometria do sistema de tratamento requer mecanismos de coleta, a serem projetados, para remover pequena coluna de óleo na linha central. Para aproveitar as forças centrífugas, o benefício máximo deste equipamento se localiza nas regiões mais externas. Por esta razão, este equipamento tem uso limitado na remoção de emulsões de óleo em água. (ABNT/1998)

Os centrifugadores são efetivos na remoção de sólidos encharcados de óleo, com concentração de óleos e graxas variável de $50mgL^{-1}$ a $70mgL^{-1}$(ABNT/1998).

4.2 Tratamento Biológico

Os sistemas de tratamento biológicos são considerados como tratamentos secundários, sendo que em casos de níveis de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) muito elevados, são os principal procedimento para tratamento de águas e de efluentes industriais.

Os processos biológicos possuem a finalidade de reproduzir em escala de tempo e área os fenômenos de autodepuração que ocorrem na natureza. Assim, os tratamentos biológicos dos efluentes industriais e de esgotos sanitários, têm como objetivo remoção da matéria orgânica dissolvida e em suspensão, através da transformação desta em sólidos sedimentáveis (flocos biológicos) ou gases. Além da remoção da matéria orgânica biodegradável dissolvida ou coloidal, também podem ser removidos nutrientes como nitrogênio e/ou fósforo (GIORDANO, 2006). O processo de tratamento biológico pode ser dividido em aeróbios e anaeróbios.

4.2.1 Processos Anaeróbios

Nos tratamentos biológicos anaeróbios, são utilizadas bactérias anaeróbias para realizarem a decomposição da matéria orgânica presente no efluente a ser tratado. Faz-se necessária introdução do esgoto ou lodo biológico em um tanque fechado sob condições anaeróbias (reator anaeróbio), o tempo de retenção no tanque pode variar de alguns dias a semanas. É destacado que os procedimentos anaeróbios são recomendados para o tratamento de efluentes de concentrações muito elevadas de matéria orgânica (KURITA, 2009).

Entre os processos biológicos anaeróbios, existem, como exemplo, os biorreatores, sendo o mais conhecido o reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo, o reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). O UASB é um reator de grande potencial de carga, tendo como principal característica a presença de um separador trifásico interno ao reator, que permite a separação das fases líquida-sólida-gasosa da água residuária, otimizando o tratamento.

O UASB permite a operação em elevados tempos de residência celular, sendo assim o reator pode acomodar elevadas cargas orgânicas volumétricas, com período de tempo de detenção hidráulico curto, ou seja, de algumas horas. O reator também possui a característica de promover adequada mistura e agitação hidráulica e conseqüentemente maior contato da biomassa com o efluente, promovido pelo fluxo

hidráulico ascendente e pelos gases gerados nas reações de processamento da matéria orgânica (CAMPOS, 1999).

O Quadro 3 apresenta algumas vantagens e desvantagens do tratamento anaeróbio de efluentes.

Quadro 3 Vantagens e desvantagens do tratamento anaeróbio de efluentes

Vantagens	Desvantagens
Baixa produtividade de sólidos, cerca de 5 a 10 vezes inferior a que ocorre nos processos aeróbios	As bactérias anaeróbias são susceptíveis a inibição por um grande número de compostos
Baixa demanda de área	A partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semeadura adaptado
Baixos custos de implantação, da ordem de R$20 a 40 *per captita*	Alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária
Produção de metano, um gás combustível de elevado teor calorífico	A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e ainda precisam ser mais estudadas
Possibilidade de preservação da biomassa, sem a alimentação do reator, por vários meses.	Possibilidade de geração de maus odores. Porém controláveis
Tolerância à elevada cargas orgânicas	Possibilidade de geração de efluentes com aspecto desagradável
Aplicabilidade em pequena e grande escala	Remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória
Baixo consumo de nutrientes	

Fonte: CHERNICHARO (1997)

Na Figura 6 é apresentado um fluxograma do reator UASB, onde o efluente à ser tratado é introduzido uniformemente no fundo do reator e atravessa as camadas de leito, Os defletores de gás direcionam as bolhas de biogás para a saída na extremidade superior do reator, enquanto que o líquido e os sólidos em suspensão são dirigidos para o compartimento da zona de decantação, na qual os sólidos se sedimentam retornando para o fundo do reator. O separador trifásico tem as funções de separar e descartar o biogás do reator, permitir que o lodo biológico retorne à região de digestão e também servir como barreira para as expansões mais rápidas do manto de lodo.

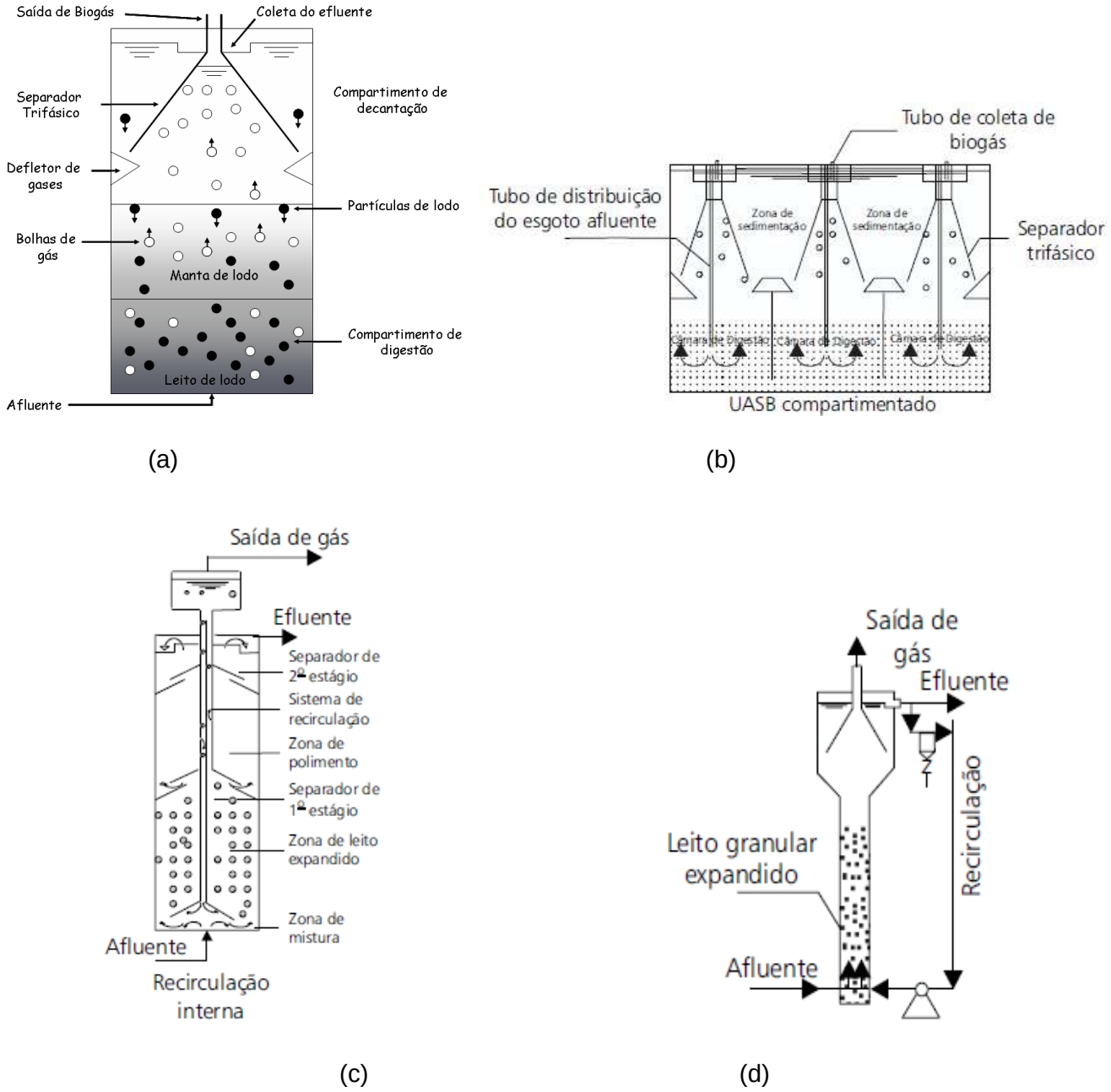

Figura 6 Representação esquemática do reatores UASB; (a) BIOTHANE; (b) UASB compartimentado; (c) UASB com recirculação interna e (d) UASB com leito granular expandido (adaptado de CAMPOS (1999))

4.2.2 Tratamento Aeróbio

No tratamento biológico aeróbio os microrganismos, mediante processos oxidativos, degradam a matéria orgânica, utilizando-as como fonte de energia e

carbono, sendo o processo de lodo ativado um dos mais usados e com maiores porcentagens de eficiências de remoção de matéria orgânica.

O processo de lodos ativados é fundamentado no fornecimento de oxigênio (ar atmosférico ou oxigeno puro), para que os microrganismos degradem a matéria orgânica dissolvida e em suspensão, fazendo com que seja transformada em gás carbônico, água e flocos biológicos formados por microrganismos característicos do processo. Tal característica é utilizada para a separação da biomassa, ou seja, os flocos biológicos dos efluentes tratados (fase líquida), assim os flocos biológicos que são formados normalmente apresentam boa sedimentabilidade.

O excesso de lodo é ocasionado com o crescimento do lodo biológico proveniente da contínua alimentação do sistema pela entrada de efluentes (matéria orgânica), assim quando isto ocorre, podendo haver concentrações acima do previsto para o sistema operacional, devendo o excesso não previsto ser descartado. (GIORDANO, 2006).

O processo possui eficiência relacionada com a relação de carga orgânica afluente (diariamente) e a massa de microrganismos contida no reator (sólidos em suspensão voláteis). Existem diversas variantes que são utilizadas largamente em todo o mundo, sendo basicamente: lodo ativado convencional, aeração prolongada, valo de oxidação, lodo ativado por batelada, lagoa aerada aeróbia e lagoa aerada facultativa.

Essas variantes são basicamente definidas pelas diferenças entre: relação quantidade de alimento/quantidade de microrganismo; disponibilidade de oxigênio; forma de alimentação dos reatores; concentrações de biomassa nos reatores; forma de retenção da biomassa nos reatores (GIORDANO, 2006).

Um agravante no procedimento é que a presença de óleos ou gorduras de quaisquer origens na mistura afluente ao reator pode significar a intoxicação do lodo biológico, reduzindo assim a atividade do sistema.

Segundo DORSA (2004), os sistemas de tratamento de efluentes mais utilizados para indústrias de extração de óleo de soja são os tratamentos biológicos de lodos ativados de aeração prolongada, devido três motivos: a fonte de contaminação principal por proteínas que, embora sejam totalmente biodegradáveis, são moléculas complexas que exigem tempos de retenção hidráulica longos para que sejam degradadas; a vazão é baixa (normalmente abaixo de 3,0 m^3/h) e as fábricas de extração localizam-se, geralmente, próximas às áreas de cultivo, sendo que existem áreas relativamente grandes que podem ser inutilizadas para que lagoas sejam implantadas.

O sistema de lodos ativados consiste em uma complexa associação de microrganismos composta por bactérias, protozoários, fungos e micrometazoários que oxidam os compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos efluentes (BENTO, 2005). A comunidade estabelecida nesse sistema é dinâmica e fundamental ao tratamento, sendo que cada espécie tem sua importância para o bom funcionamento do sistema (SOLNIK *et al.,* 2008).

A estrutura dessa comunidade apresenta forte relação com as condições operacionais e com a qualidade e quantidade de efluente que alimenta o processo, de modo que o controle de parâmetros do processo, tais como o lodo, é capaz de fornecer informações sobre o desempenho da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). Mudanças nas condições ambientais provenientes da composição do afluente do reator, quantidade insuficiente de oxigênio dissolvido ou mesmo da operação da estação, podem levar a alterações na comunidade do lodo, influenciando os processos de biodegradação e, portanto, reduzindo a qualidade do efluente tratado (CURTIS *et al.*, 2009).

Recomenda-se concentração de oxigênio dissolvido no tanque de aeração de aproximadamente 2,0 mgL^{-1} para o bom desempenho do sistema na remoção da matéria orgânica (METCALF E EDDY, 2003).

Os microrganismos, através de mecanismos de produção de exopolímeros, formam flocos biológicos mais densos do que a massa líquida, podendo assim ser separados mais facilmente. A fração da matéria orgânica transformada em sólidos situa-se na faixa de 6 a 60%, dependendo de diversos fatores, tais como, o processo adotado e a relação alimento/microrganismos (A/M). A outra parte da matéria orgânica é transformada em gases, notadamente o gás carbônico.

Para obter um tratamento mais eficiente de um determinado efluente pode ser considerado como solução mais adequada, a utilização de processos combinados anaeróbios seguidos de aeróbios para que se obtenha mais eficiência do sistema de tratamento. Assim os métodos de tratamento podem ser utilizados de maneira complementar, suprindo as deficiências que os métodos possuem quando utilizados isoladamente.

4.2.3 Adensamento do Lodo

4.2.3.1 Leitos de secagem

A desidratação do lodo pode ser realizada por processos naturais ou artificiais. Esta Norma abrange apenas o processo natural de leito de que deve ser empregado apenas para lodo estabilizado (ABNT, 1992).

A área total do leito de secagem deve ser subdividida em pelo menos duas câmaras. A distância máxima de transporte manual do lodo seco no interior do leito de secagem não deve superar 10 m. A área de leito de secagem deve ser calculada a partir de:

a) produção de lodo;

b) teor de sólidos no lodo aplicado;

c) período de secagem para obtenção do teor de sólidos desejado;

d) altura de lodo sobre o leito de secagem.

A descarga de lodo no leito de secagem não deve exceder a carga de sólidos em suspensão totais de 15 Kgm^{-2} de área de secagem, em cada ciclo de operação. O

fundo do leito de secagem deve promover a remoção do líquido intersticial, através de material drenante constituído por:

a) uma camada de areia com espessura de 7,5 cm a 15 cm, com diâmetro efetivo de 0,3 mm a 1,2 mm e coeficiente de uniformidade igual ou inferior a 5;

b) sob a camada de areia, três camadas de brita, sendo a inferior de pedra de mão ou brita 4 (camada suporte), a intermediária de brita 3 e 4 com espessura de 20 cm a 30 cm e a superior de brita 1 e 2 com espessura de 10 cm a 15 cm; não deve ser permitido o emprego de mantas geotêxteis;

c) sobre a camada de areia devem ser colocados tijolos recozidos ou outros elementos de material resistente à operação de remoção do lodo seco, com juntas de 2 cm a 3 cm tomadas com areia da mesma granulometria da usada na camada de areia; a área total de drenagem, assim formada, não deve ser inferior a 15% da área total do leito de secagem;

d) o fundo do leito de secagem deve ser plano e impermeável, com inclinação mínima de 1% no sentido de um coletor principal de escoamento do líquido drenado. Alternativamente pode ter tubos drenos ou material similar de diâmetro mínimo de 100 mm, dispostos na camada suporte e distantes entre si não mais que 3 m.

O dispositivo de entrada do lodo no leito de secagem deve permitir descarga em queda livre sobre placa de proteção da superfície da camada de areia. A altura livre das paredes do leito de secagem, acima da camada de areia, deve ser de 0,5 m a 1,0 m. No caso de emprego de processos mecanizados de desidratação do lodo, o líquido separado deve retornar ao processo de tratamento da fase líquida, e o dimensionamento deve ser considerada a carga correspondente.

Portanto, a desidratação é a etapa em que acontece a redução do volume do lodo. Como o lodo contém quantidade muito grande de água, deve-se realizar a redução do seu volume. Ocorre nos Adensadores e nos Flotadores. O adensamento é

o processo para aumentar o teor de sólidos do lodo e, conseqüentemente, reduzir o seu volume. Desta forma, as unidades subseqüentes, tais como a digestão, desidratação e secagem, beneficiam-se desta redução. Dentre os métodos mais comuns, há o adensamento por gravidade e por flotação.

O adensamento por gravidade do lodo tem por princípio de funcionamento a sedimentação por zona, sistema similar aos decantadores convencionais. O lodo adensado é retirado do fundo do tanque.

No adensamento por flotação, o ar é introduzido na solução através de uma câmara de alta pressão. Quando a solução é despressurizada, o ar dissolvido forma micro-bolhas que flotam, arrastando consigo os flocos de lodo que são removidos na superfície.

4.2.3.2 Digestão Anaeróbia

Na digestão anaeróbia ocorre a estabilização de substâncias instáveis e da matéria orgânica presente no lodo fresco. A digestão é realizada para: destruir ou reduzir os microrganismos patogênicos; estabilizar total ou parcialmente as substâncias instáveis e a matéria orgânica presentes no lodo fresco; reduzir o volume do lodo através dos fenômenos de liquefação, gaseificação e adensamento; dotar o lodo de características favoráveis à redução de umidade e permitir a sua utilização, quando estabilizado convenientemente, como fonte de húmus ou condicionador de solo para fins agrícolas.

A estabilização de substâncias instáveis e da matéria orgânica presente no lodo fresco também pode ser realizada através da adição de produtos químicos. Esse processo é denominado estabilização química do lodo.

4.2.3.3 Condicionamento Químico do Lodo

Nesta etapa ocorre a estabilização do lodo pelo uso de produtos químicos como: cloreto férrico, cal, sulfato de alumínio e polímeros orgânicos.

O condicionamento químico, usado antes dos sistemas de desidratação mecânica, tais como filtração, centrifugação, dentre outros, resulta na coagulação de sólidos e liberação da água adsorvida.

4.2.3.4 Desidratação do lodo

Etapa na qual é feita a remoção de umidade do lodo, com o uso de: centrífuga, filtro prensa ou tri-decanter.

As características de cada tipo de equipamento são apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4- Características de equipamentos utilizados na desidratação de lodo

Tipo de desidratação	Umidade do lodo (%)	Taxa de recuperação de SS (%)	Vantagens	Desvantagens
Centrífuga	75 - 85	95 - 99	Fácil controle operacional e reduzida área de instalação.	Obtenção de um lodo tratado com alta umidade, alto ruído operacional e alto consumo de eletricidade.
Tri-Decanter	75 - 85	95 - 99	Fácil controle operacional e reduzida área de instalação. Retirada de óleo.	Obtenção de um lodo tratado com alta umidade, alto ruído operacional e alto consumo de eletricidade.
Filtro prensa	55 - 70	95 - 99	Obtenção de lodo com baixa umidade.	Alto custo de instalação, difícil controle operacional e alta concentração de SS inorgânico no lodo.

A escolha do equipamento depende das características do lodo a ser tratado, das vantagens e desvantagens de cada equipamento e do custo.

4.2.3.5 Secagem térmica do lodo

A secagem térmica do lodo é um processo de redução de umidade através de evaporação de água para a atmosfera com aplicação de energia térmica, podendo-se

obter teores de sólidos da ordem de 90% a 95%. Com isso, o volume final do lodo é reduzido significativamente.

4.3 Processos oxidativos avançados

Processos de oxidação avançada (POAs) são utilizados para oxidar total ou parcialmente compostos orgânicos de baixa biodegradabilidade, em muitos casos, uma oxidação parcial é suficiente devido à quebra de moléculas complexas, possibilitando maior eficiência de remoção de matéria orgânica no tratamento biológico (METCALF e EDDY, 2003).

Estes POAs originam espécies reativas com grande poder oxidante, através da transformação de espécies químicas ou mediante a utilização de energia das mais variadas fontes.

Segundo Stasinakis (2008), o principal mecanismo dos POA é a geração de radicais livres hidroxila (HO•) altamente reativos. Estes radicais são eficazes na destruição de produtos químicos orgânicos porque são eletrófilos e reativos. Os mesmos reagem de forma rápida e não seletiva com quase todos os compostos orgânicos ricos em elétrons.

No Quadro 5 são apresentados potenciais de oxidação de alguns agentes oxidantes, seu potencial de oxidação eletroquímico e sua relação com o cloro. Observa-se que, depois do flúor, o radical hidroxila (OH•) é o oxidante mais energético (METCALF e EDDY, 2003)

Quadro 5 Potencial de Oxidação de alguns agentes oxidantes

Agente Oxidante	Potencial de Oxidação Eletroquímico (POE), (Volts)	Relação POE com o Cloro
Flúor	3,06	2,25
Radical Hidroxila	2,80	2,05
Oxigênio Atômico	2,42	1,78
Ozônio	2,08	1,52
Peróxido de Hidrogênio	1,78	1,30
Hipoclorito	1,49	1,10
Cloro	1,36	1,00
Dióxido de Cloro	1,27	0,93
Oxigênio Molecular	1,23	0,90

Adaptado de METCALF e EDDY (2003)

Vários métodos estão disponíveis para a geração de radicais $^{\cdot}OH$, estes, podem utilizar energia luminosa (fotoquímicos) ou utilizar outras fontes de energia (não-fotoquímicos), como apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 Métodos para geração dos radicais $^{\cdot}OH$

Não-fotoquímicos	Fotoquímicos
Ozonização (O_3)	O_3 + UV
(O_3/H_2O_2)	H_2O_2 + UV
Ozônio + catalisador (O_3 + CAT)	O_3/H_2O_2/UV
Fenton ($H_2O_2 + Fe^{2+}$)	UV/TiO_2

Adaptado de METCALF e EDDY (2003)

O ozônio é a forma triatômica do oxigênio. É um gás incolor de odor pungente que, em fase aquosa se decompõe rapidamente a espécies radicalares e oxigênio, o que é uma grande vantagem porque não gera subprodutos. É um poderoso agente oxidante, capaz de participar de um grande número de reações com compostos orgânicos e inorgânicos.

O ozônio é um gás instável e deve ser gerado no local onde será usado. O método de geração mais utilizado é por efeito corona. O maior custo operacional para o processo de oxidação por ozônio é o custo da eletricidade para sua geração. O requerimento energético para a síntese de ozônio usando ar como fonte de oxigênio varia de 22 a 33 $kWh.kgO_3^{-1}$. Se o ozônio for produzido a partir de oxigênio puro esse valor varia de 12 a 18 $kWh.kgO_3^{-1}$, mas o custo do oxigênio deve ser considerado (MORAIS, 2006). A formação do ozônio é uma reação endotérmica como descritona equação 3:

$$3\ O_2 \leftrightarrow 2\ O_3 \quad +284{,}5\ kJmol^{-1} \text{ a } 1\ atm \qquad \text{(Equação 3)}$$

A ozonização envolve dois mecanismos de reação, o ataque direto do ozônio e o ataque através dos radicais $^{\cdot}OH$ formados na decomposição do ozônio. A capacidade oxidante do ozônio é muito menor que a do radical $^{\cdot}OH$, cuja formação é favorecida em pH>10 (GOGATE *et al.*, 2004).

5 Material e Métodos

5.1 Área de estudo

O Complexo industrial estudado localiza-se na cidade de Pirapozinho, no estado de São Paulo, com uma estrutura de 8 fábricas do setor de produtos alimentícios e biodiesel. Atualmente, estão em operação 5 fábricas, sendo: refinaria de óleo vegetal, processamento de glicerina, lavador de autos, fábrica de ácido esteárico e fábrica de margarina.

Na Figura 7 é apresentada uma vista aérea do complexo industrial.

Figura 7 Vista aérea do complexo industrial

A estação de tratamento de efluentes (ETE) foi projetada há 3 décadas. Este projeto baseou-se em parâmetros de descontaminação de águas residuárias com elevada concentração de matéria orgânica e óleos e graxas. É ilustrado na Figura 8, o fluxograma dos processos adotados na ETE.

As amostras foram coletadas a cada hora, durante 24 horas, uma vez por semana, durante 9 semanas, na estação de tratamento de efluentes nos pontos PT1 (entrada da ETE), PT2 (Saída do separador água/óleo), PT3 (Saída do tratamento fisico-químico), PT4 (Saída da lagoa facultativa) , PT5 (efluente tratado final), e TA

(tanque de aeração), como descrito na Figura 8 e, na canaleta de saída das fábricas de refino de óleo vegetal e ácido esteárico.

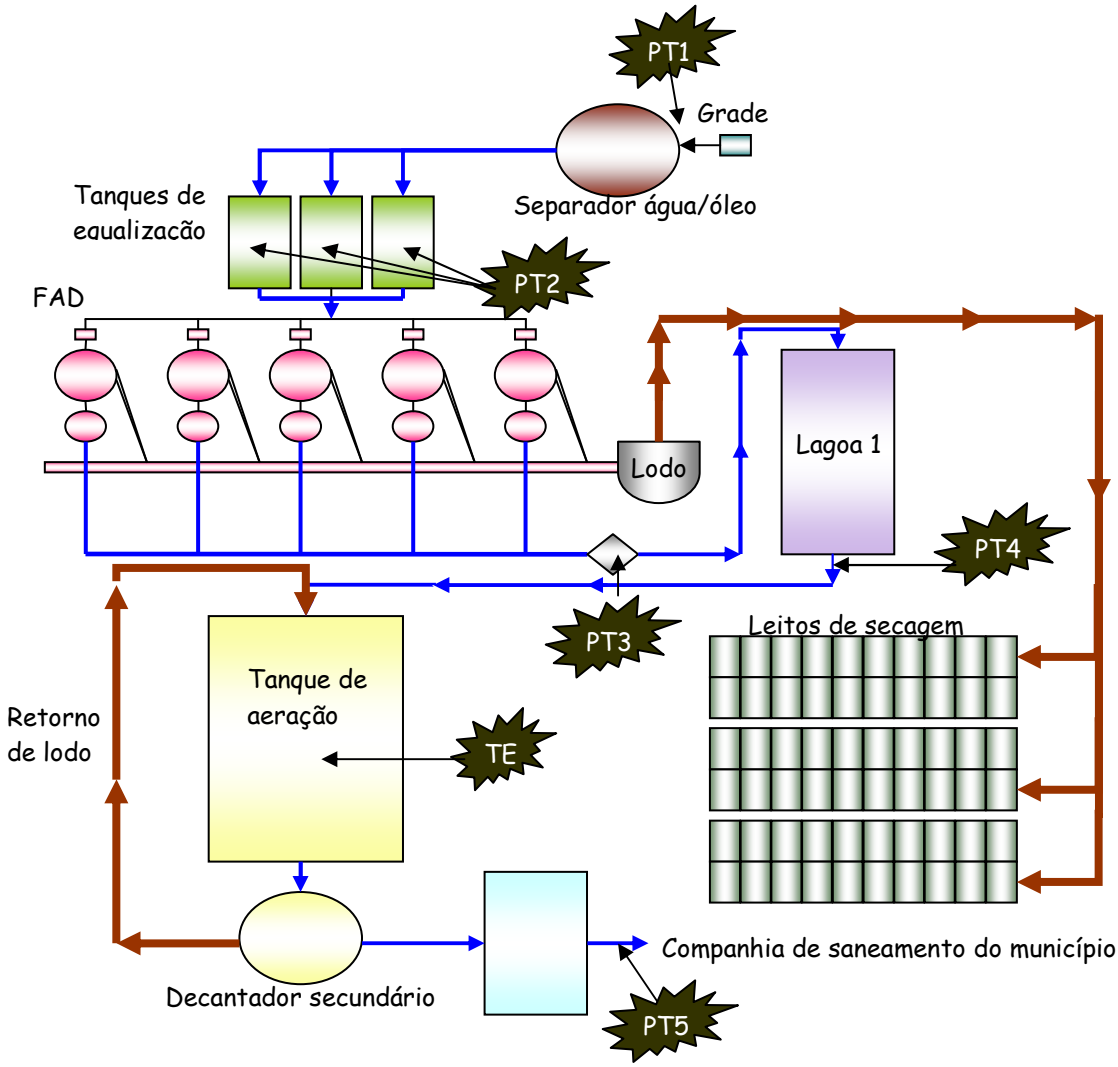

Figura 8 Fluxograma da ETE e pontos de coleta de amostras

Os parâmetros analisados foram: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Óleos e Graxas (OG), Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), Sólidos Sedimentáveis (SSedim.), Potencial Higrogeniônico (pH), Vazão, Temperatura (T), Oxigênio Dissolvido (OD), Alcalinidade Total (Alc), Nitrogênio Kjeldahl Total (Nt) e Fósforo Total (Pt). Os procedimentos de análise foram realizados conforme o *Standard Methods* (Eaton et al., 2005).

6 Resultados e discussões

6.1 Análise dos Processos Unitários e Equipamentos Adotados

Peneiras

O sistema de remoção de sólidos adotado pela empresa consiste em uma chapa metálica de 1 m^2 de área, com orifícios de 1 cm de diâmetro. A limpeza desta peneira é diária e realizada manualmente. Uma das dificuldades operacionais deste sistema é a inundação do canal de entrada à montante da grade em dias de chuva, pois a galeria para captação de agua da chuva esta subdimensionada e ao transbordar, a água é encaminhada para a ETE. Este fato é agravado devido ao processamento de ácido esteárico que gera um efluente rico em sólidos suspensos e sedimentáveis. A inundação e o sistema de peneiramento é apresentado na Figura 9.

Figura 9 Sistema de gradeamento

Separador água/óleo

O separador água/óleo circular, com 15 m de diâmetro, área superficial de 176 m^2, volume de 350 m^3, é operado com tempo de detenção de 21 horas para vazão média de 400 $m^3 dia^{-1}$, durante 24 horas por dia. A limpeza so separador é mecanizada, utilizando um raspador superficial e bombas hidráulicas de rotor aberto

que depositam o óleo separado em 2 tanques de 30 m^3 cada. O óleo armazenado é reaproveitado no processo como combustível para as caldeiras. Um dos problemas na operação deste separador acontece quando a temperatura do efluente atinge valores acima de 40℃, pois a fração oleosa é solubilizada dificultando a separação por flotação, diminuindo a eficiência das posteriores operações unitárias (Figura 10).

Figura 10 Separador água/óleo.

Equalização

A equalização e o ajuste de pH do efluente bruto são realizadas em três tanques com volume de 400 m^3 cada. A agitação é realizada por injeção de ar e o tempo de detenção é de 24 h para vazão média de 400 $m^3 dia^{-1}$. O pH do efluente no tanque de equalização é medido com a utilização de um pHmetro instalado na tubulação, que possibilita a dosagem de coagulante no tratamento fisíco-químico em faixa de pH favorável a coagulação.

Figura 11 Tanque de Equalização.

Flotadores por ar dissolvido

O tratamento físico-químico é constituído de 5 flotadores por ar dissolvido, cada um com tanque circular de mistura rápida de 1,8 m de diâmetro e 2 m de altura, tanque de floculação de 2,5 m de diâmetro e 2,4 m de altura, tanque de água clarificada/tratada de 1,4 m de diâmetro e 1,84 m de altura, com vazão máxima de 27 m^3h^{-1} cada e vazão de operação de 9 m^3h^{-1}. O ar é injetado utilizando 3 compressores, operando com 2 a 3 $kgcm^{-2}$ de pressão. Este equipamento trabalha com vazão reduzida pela incapacidade de produção de ar pelos compressores.

A razão entre o volume de ar e a massa de sólidos (A/S) é de 0,006, o que indica falta no volume de ar gerado pelos compressores e/ou mal dimensionamento dos vasos de pressão, pois segundo Metcalf e Eddy (2003) esta razão deve estar na faixa de 0,005 a 0,06. A taxa de aplicação superficial é de $5{,}1m^3m^{-2}.h^{-1}$, e a área superficial de 3,13 m^2.

Três destes equipamentos estão atualmente inoperantes. Nesta etapa do processo são adicionados produtos químicos como o coagulante orgânico à base de tanino, soda cáustica e um auxiliar de floculação aniônico em pó à base de poliacrilamida.

É apresentado na Figura 12 a disposição dos flotadores por ar dissolvido.

Figura 12 Flotador por ar dissolvido

Lagoa Facultativa (Lagoa 1)

O início do tratamento biológico, acontece em uma lagoa com 22 m de comprimento, 18 m de largura e 2,5 m de profundidade, totalizando volume de aproximadamento 1000 m^3. A lagoa foi impermeabilizada com geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) de 2 mm de espessura, localizada após o tratamento físico-químico, denominada pela empresa como lagoa 1 (Figura 13).

Figura 13 Lagoa Facultativa (Lagoa 1)

Processo de Lodos Ativados

O processo de lodos ativados constitue-se em um tanque de aeração com 58 metros de comprimento, 38 m de largura, 3,8 m de profundidade e taludes laterais de 45°, totalizando volume de 6000 m^3. A aeração realizada com 6 aeradores com motores de alta rotação e 30 cv, superficiais com fluxo de ar perpendicular à lamina de água, e capacidade de transferência de 297 KgO_2h^{-1}. É utilizado um decantador secundário circular com 9 m de diâmetro e 4,5 m de profundidade, com aproximadamente 280 m^3 de volume, e uma bomba para retorno de lodo com vazão máxima de 30 m^3h^{-1} (Figura 14 e Figura 15).

Figura 14 Tanque de Aeração

Figura 15 Decantador secundário

Lagoa Aerada (Lagoa 2)

Após o processo de lodos ativados, o efluente é retido em uma lagoa com 22 m de comprimento, 18 m de largura e 2,5 m de profundidade, totalizando volume de 1000 m^3, impermeabilizada com geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) de 2 mm de espessura. A aeração é feita com um aerador superficial com motor de alta rotação de 30 cv e capacidade transferência de 22 KgO_2h^{-1}. O efluente tratado é enviado para a rede de esgoto da cidade de Pirapozinho por bomba com vazão de 40 m^3h^{-1} (Figura 16.)

Figura 16 Lagoa 2

Leitos de Secagem de lodo

Existem três conjuntos de 20 leitos de secagem, com 4 m de largura, 5 m de comprimento, 0,8 m de altura, com uma camada de 0,3 m de areia e tijolos, área superficial de 20 m^2 e volume útil de aproximadamente 10 m^3 de lodo, cada leito (Figura 17).

Devido à falta de manutenção, no fundo do leito de secagem não há remoção do líquido intersticial devido ao entupimento do coletor principal de escoamento. Os leitos de secagem não foram projetados segundo a (ABNT,1992) pois, sob a camada de areia não existe três camadas de brita, não há placa de proteção da superfície da

camada de areia e a altura livre das paredes do leito de secagem, acima da camada de areia, não são de 0,5 m a 1,0 m, são de 0,25m.

Desde a elaboração e implantação do projeto inicial em 1979, não foram feitas as manutenções neste sistema de deságüe de lodo, ocasionando problemas em sua operação, como a quebra das paredes que divide os leitos e, vazamentos nas laterais de concreto.

Figura 17 Leitos de Secagem

6.2 Caracterização do efluente bruto nas fábricas

É apresentado na Figura 18 uma foto aérea da industria com a localização da refinaria de óleo vegetal e da fabrica de ácido esteárico.

Figura 18 Localização das fábricas e estação de tratamento

No Quadro 8 é apresentado uma caracterização quanto a continuidade na geração de efluentes nas fábricas, com o objetivo de selecionar as fontes de efluentes contínuas.

Quadro 7 Caracterização da continuidade na geração de efluentes nas fábricas

Fábricas	Geração de efluente
Margarina	Descontínua
Ácido esteárico	Contínua
Refinaria de óleo	Contínua
Processamento de glicerina	Descontínua
Lavador de autos	Descontínua

É apresentado nas Figura 20 o fluxograma dos processos de refino de óleo vegetal e fabricação de ácido esteárico respectivamente.

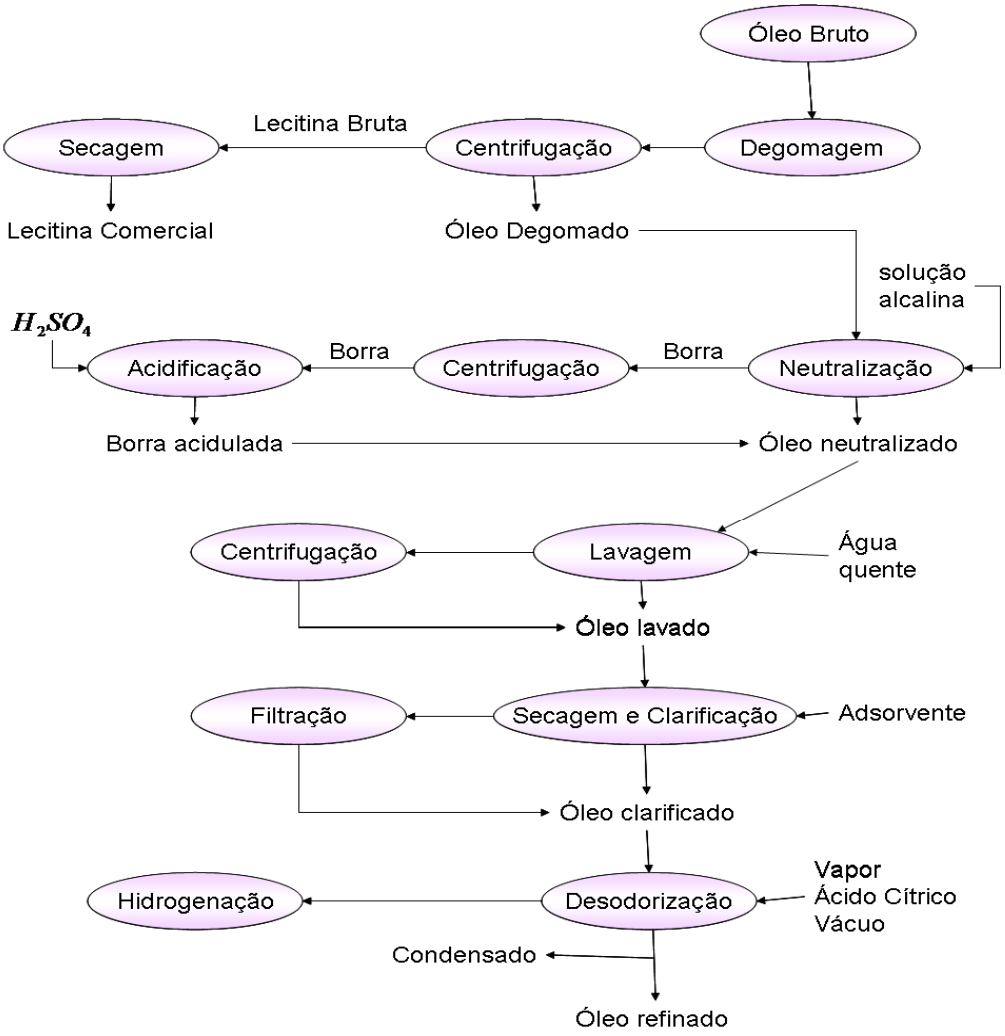

Figura 19 Fluxograma do processo de refino de óleo vegetal bruto

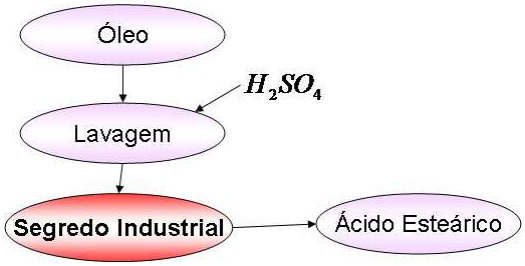

Figura 20 Fluxograma do processo de fabricação de ácido esteárico

Na Figura 21 é apresentado a variação de DBO nas fábricas com geração de efluentes continuamente, ou seja, as fábricas de ácido esteárico e refinaria de óleo vegetal, nos meses de maio à julho de 2010. Os valores encontrados variam entre

3.831 mgL^{-1} e 31.224 mgL^{-1} na fábrica de ácido esteárico, e, entre 10.484 mgL^{-1} e 18.836 mgL^{-1} na refinaria de óleo vegetal.

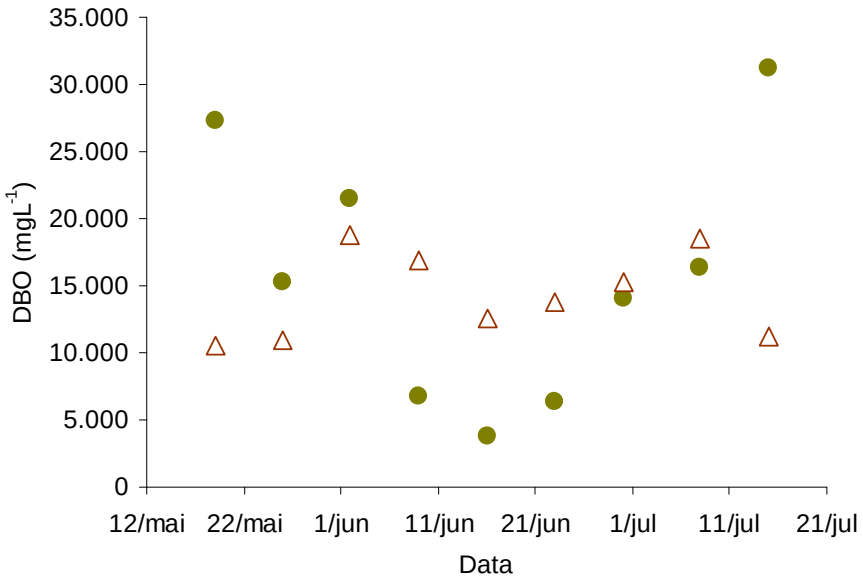

Figura 21 Concentração de matéria orgânica em termos de DBO na fábrica de ácido esteárico e refinaria de óleo vegetal.

Fábrica de ácido esteárico Refinaria de óleo vegetal

A Figura 22 apresenta a variação de óleos e graxas nas fábricas nos meses monitorados. A oscilação de OG na fábrica de ácido esteárico encontrada foi de 300 mgL^{-1} à 7.347 mgL^{-1}, e, na fábrica de refino de óleo vegetal, os valores encontrados oscilam entre 5.086 mgL^{-1} à 10.748 mgL^{-1}.

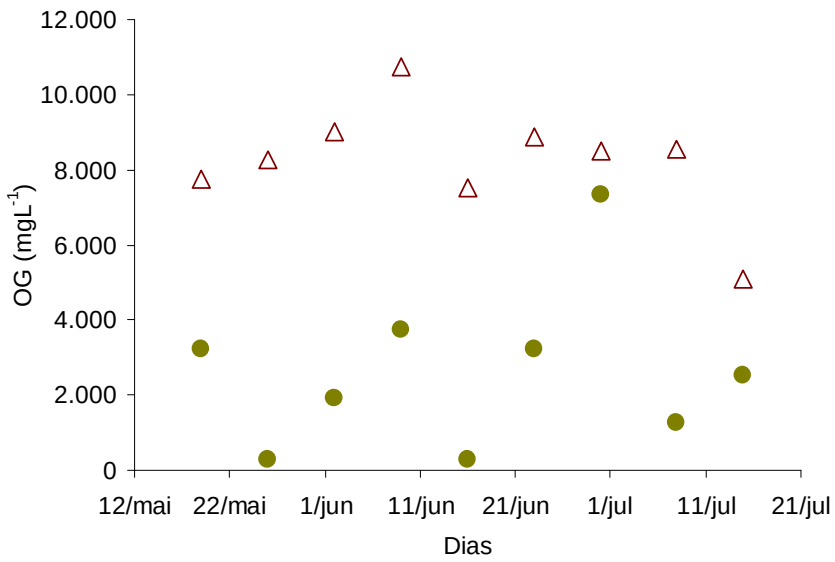

Figura 22 Concentração de OG na fábrica de ácido esteárico e refinaria de óleo vegetal

● Fábrica de ácido esteárico △ Refinaria de óleo vegetal

.

A Figura 23 apresenta a variação de DQO em relação aos dias monitorados. A variação de DQO encontrada foi de 17.400 mgL^{-1} à 42.000 mgL^{-1} na refinaria de óleo vegetal, e, 7.500 mgL^{-1} à 44.800 mgL^{-1} na fábrica de ácido esteárico.

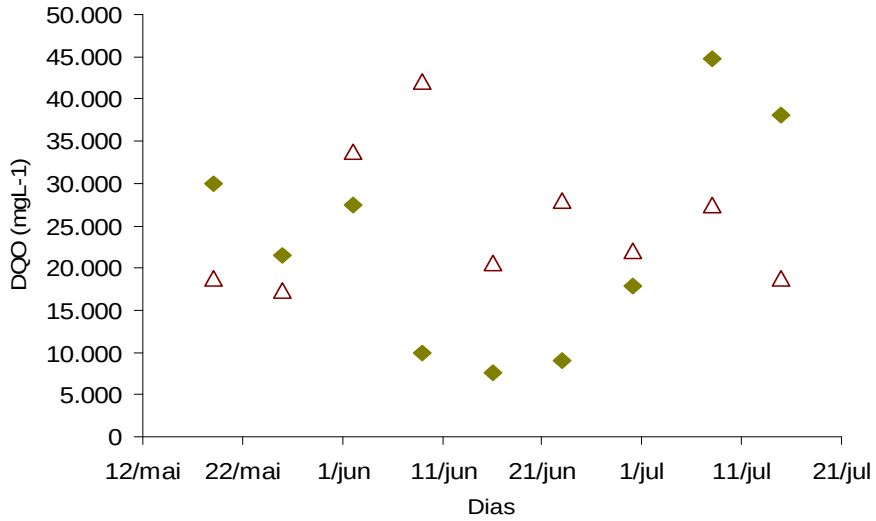

Figura 23 Concentração de matéria orgânica em termos de DQO na fábrica de ácido esteárico e refinaria de óleo vegetal

● Fábrica de ácido esteárico △ Refinaria de óleo vegetal

.

A concentração de sólidos totais obtidos nos efluentes gerados nas fábricas foi de 5.035 mgL^{-1} à 22.985 mgL^{-1} na refinaria de óleo vegetal e 4.188 mgL^{-1} à 36.156mgL^{-1} na fábrica de ácido esteárico (Figura 24).

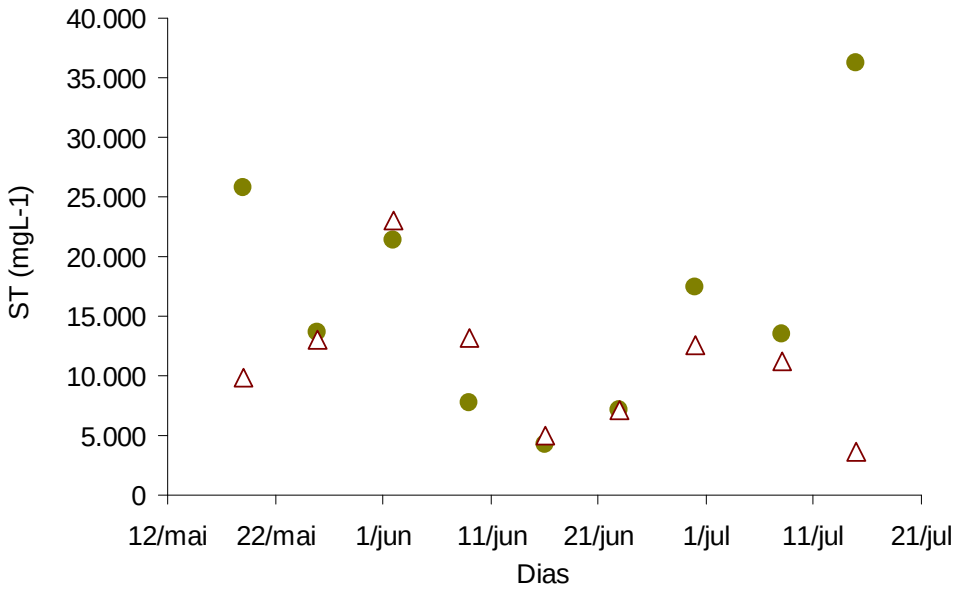

Figura 24 Concentração de ST na fábrica de ácido esteárico e refinaria de óleo vegetal

Fábrica de ácido esteárico Refinaria de óleo vegetal

.

Com o objetivo de diminuir o número de análises necessárias para o monitoramento contínuo na ETE, procurou-se correlacionar os parâmetros analisados. Na Figura 25 é apresentado um gráfico da correlação linear entre DQO e DBO. Pode-se constatar que existe correlação entre estas variáveis nas fábricas nos dias monitorados.

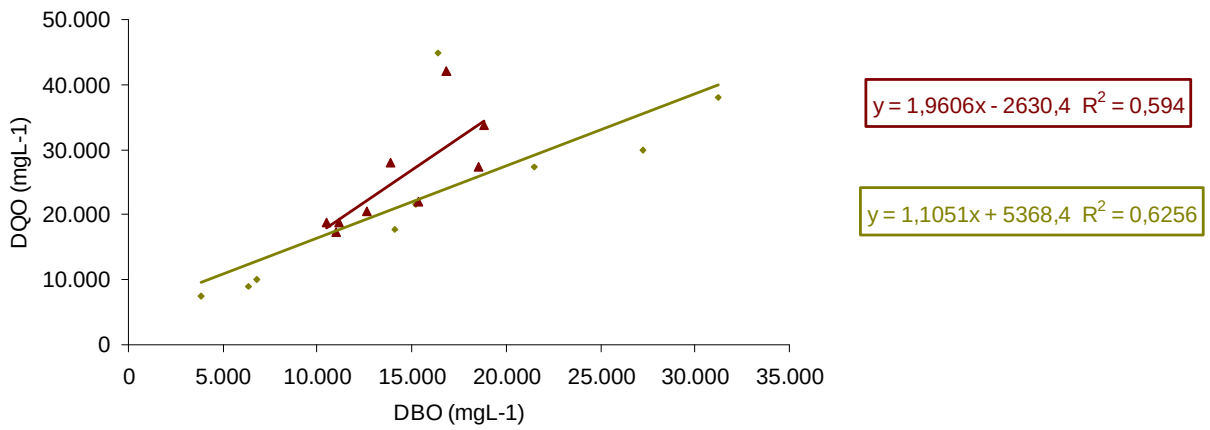

Figura 25 Correlação linear entre DQO e DBO na fábrica de ácido esteárico e refinaria de óleo vegetal

● Fábrica de ácido esteárico △ Refinaria de óleo vegetal

.

Na Figura 26 é apresentado a correlação entre DQO e OG. A correlação entre estas variáveis para a refinaria de óleo vegetal foi melhor do que para a fábrica de ácido esteárico, devido ao maior valor do coeficiente de determinação R^2 que é uma medida do poder explicativo do modelo utilizado que, considerando sua variação de 0 a 1, quanto mais próximo de 1, melhor o ajuste dos dados ao modelo proposto.

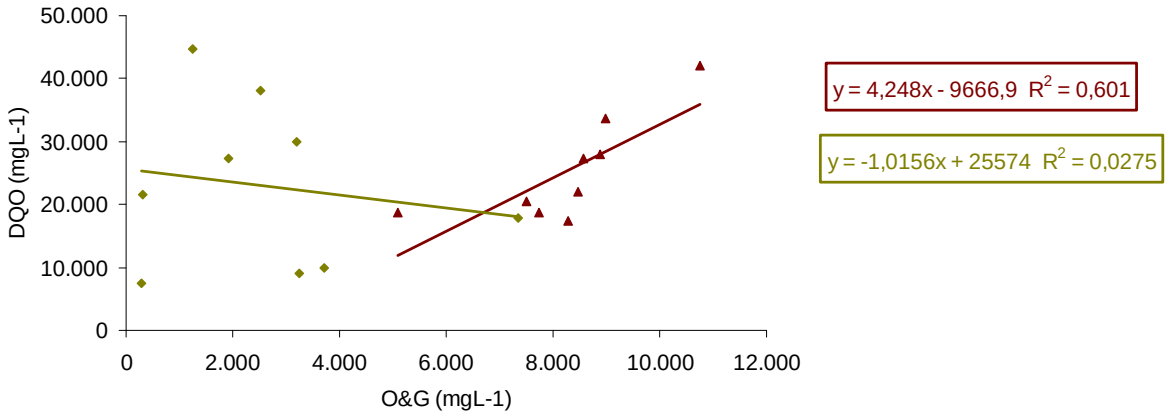

Figura 26 Correlação linear entre DQO e O&G na fábrica de ácido esteárico e refinaria de óleo vegetal

● Fábrica de ácido esteárico △ Refinaria de óleo vegetal

.

Na Figura 27 é apresentado a correlação linear entre DQO e sólidos totais. Verifica-se uma melhor correlação para as variáveis na fábrica de ácido esteárico do que para a refinaria de óleo vegetal.

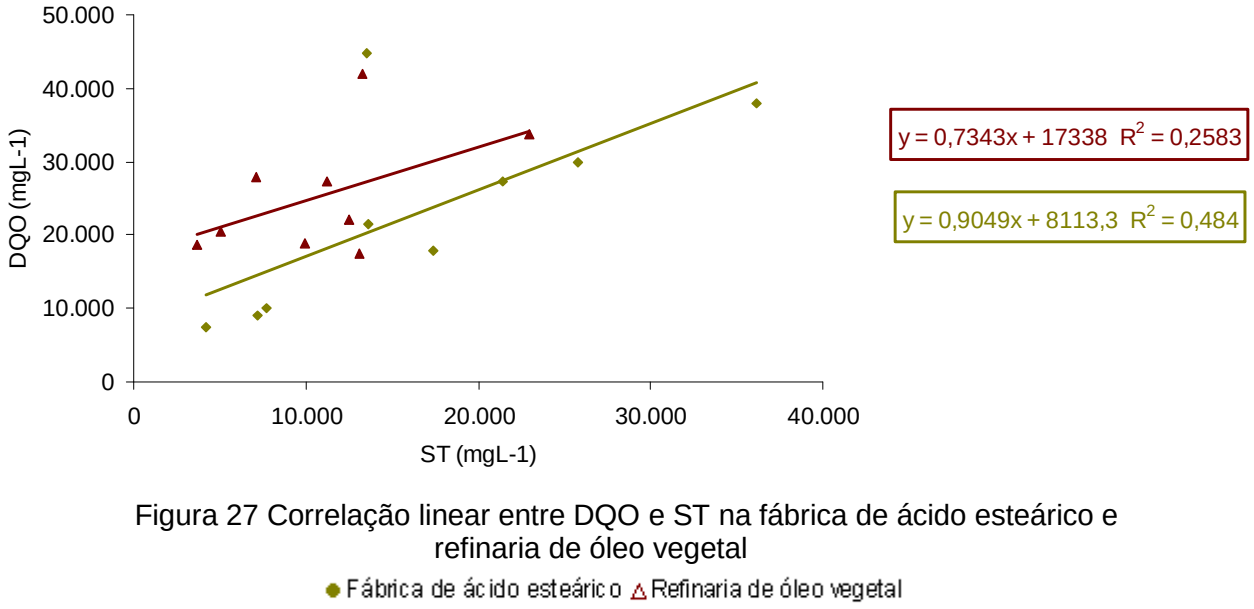

Figura 27 Correlação linear entre DQO e ST na fábrica de ácido esteárico e refinaria de óleo vegetal

.

6.3 Caracterização dos Efluentes nos Pontos de Monitoramento

Um resumo das médias e desvios padrão dos resultados obtidos na caracterização dos efluentes nas etapas de tratamento estão dispostos no Quadro 9.

Quadro 8 Média dos parâmetros analisados na ETE

Parâmetros	Pontos de coleta					
	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	TA
Vazão ($m^3.H^{-1}$)	20±5	-	15 ± 3	-	15 ± 5	-
pH	-	-	5 ± 1	5 ± 1	8 ± 0	7 ± 0
DBO_5 ($mgO_{2..}L^{-1}$)	15880 ± 8.377	7680 ± 3.209	6954 ± 2330	6025 ± 1435	1141 ± 421	-
DQO ($mgO_{2..}L^{-1}$)	-	12878 ± 3.176	10522 ± 2510	9333 ± 1811	1334 ± 510	3086 ±1262
Alcalinidade ($mEq.L^{-1}$)	-	-	430 ± 296	450 ± 0	-	709 ± 187
ST ($mg.L^{-1}$)	-	13213 ± 9.860	-	-	4095 ± 249	8782 ± 851
SST ($mg.L^{-1}$)	-	-	351 ± 271	205 ± 218	432 ± 537	1537± 2077
SSV ($mg.L^{-1}$)	-	-	265 ± 264	141 ± 158	351 ± 479	818 ± 540
Ssedim. ($mL.L^{-1}$)	-	29 ± 60	<0,10	-	0,3 ± 0,1	285 ± 311
NKT (mg $N.L^{-1}$)	-	14 ± 5	8 ± 2	6 ± 2	34 ± 21	-
P_t (mg $P.L^{-1}$)	-	42 ± 38	21 ± 25	19 ± 17	12 ± 1	-
OG ($g.L^{-1}$)	14291 ± 27.306	588 ± 579	11 ± 10	15 ± 11	18 ± 14	23 ± 30

* média de 9 amostras ± desvio padrão

Na Figura 28 é apresentado a média da distribuição da concentração de OD no tanque de aeração com uso de 6 aeradores com capacidade de 25 cv e transferência de 22 kgO_2h^{-1}. A concentração média de 0,30 mgL^{-1} está abaixo da concentração minima exigida de 2 mgL^{-1} para este sistema de tratamento, portanto, para aumentar a concentração de oxigênio dissolvido devem ser instalados novos aeradores.

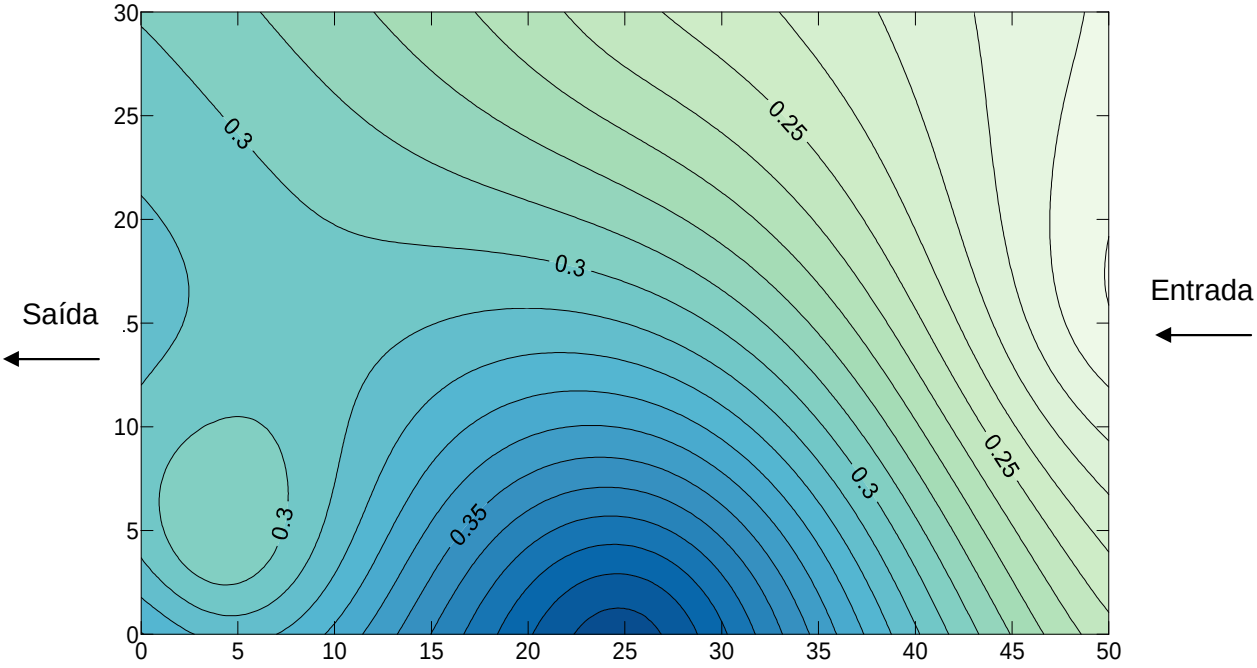

Figura 28 Distribuição de OD em mg.L-1 no tanque de aeração antes da instalação dos novos aeradores.

Os valores de concentração para OG são apresentados na Figura 29. A concentração de OG no ponto PT1 que representa o efluente bruto, oscila entre 14602 mgL^{-1} a 85686 mgL^{-1}, e entre 1,2 mgL^{-1} e 2,4 mgL^{-1} no efluente tratado. Na Figura 30 é apresentado os valores de concentração de DBO. Observa-se também oscilação acentuada nos valores para DBO no ponto PT1 que no período de analise variou de 6044 mgL^{-1} a 29608 mgL^{-1}. Após o ponto PT2 observa-se DBO na faixa de 304 mgL^{-1} a 1539 mgL^{-1} o que representa uma redução na oscilação, entretanto tem-se ainda um desvio de 1235 mgL^{-1}.

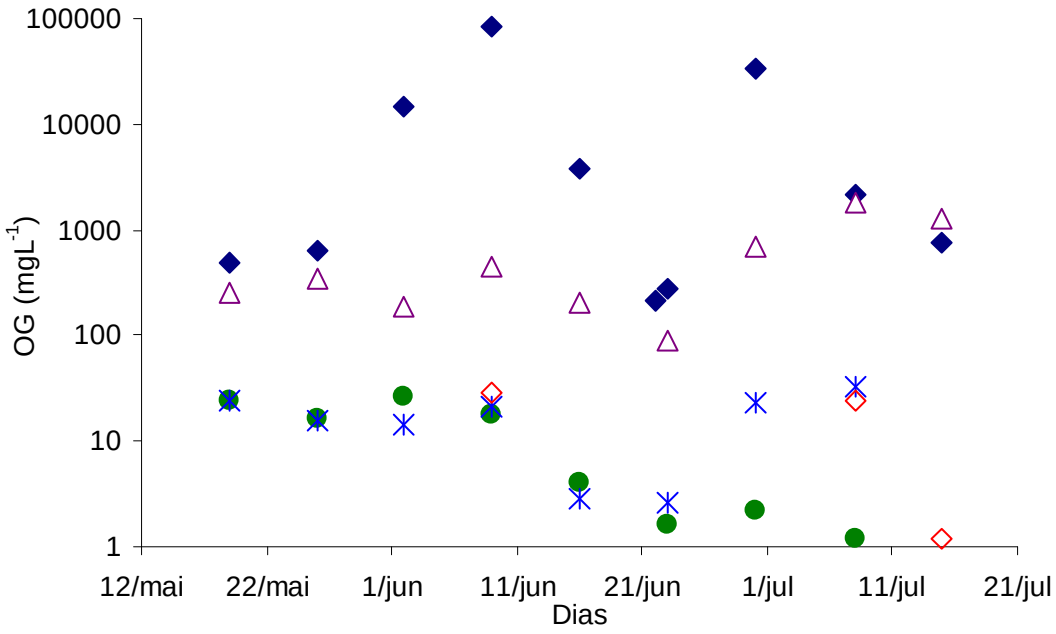

Figura 29 Concentração de OG no pontos de monitoramento na ETE.

◆ PT1 (Entrada da ETE) △ PT2 (Saída Separador Água-Óleo
● PT3 (Saída Flotador) ✳ PT4 (Lagoa 1)
◇ PT5 (Efluente Tratado Final)

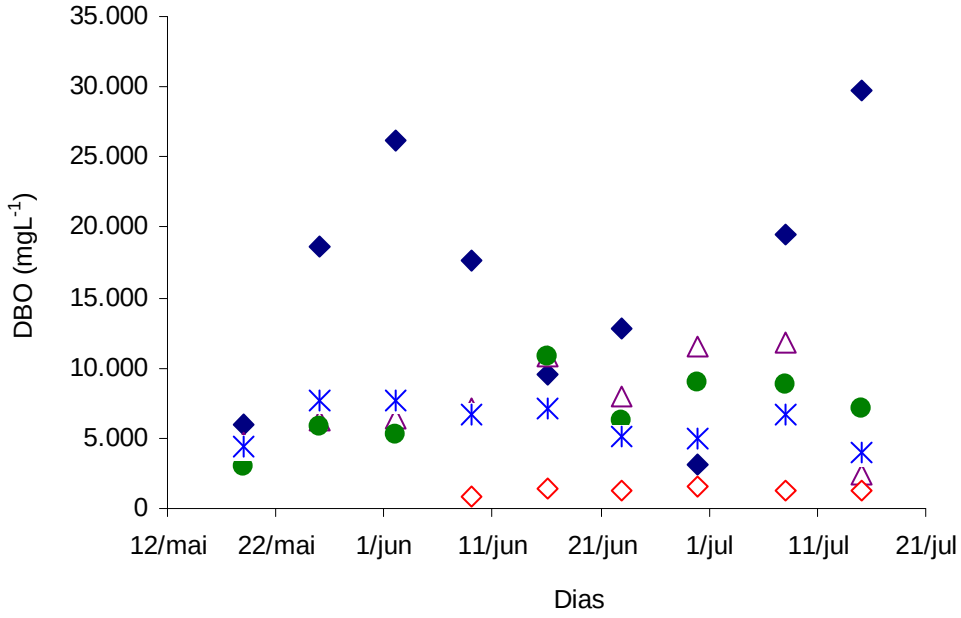

Figura 30 Concentração de matéria orgânica em termos de DBO nos pontos de monitoramento na ETE.

◆ PT1 (Entrada da ETE) △ PT2 (Saída Separador Água-Óleo
● PT3 (Saída Flotador) ✳ PT4 (Lagoa 1)
◇ PT5 (Efluente Tratado Final)

Na Figura 31 é apresentado os valores de DQO para os pontos de monitoramento após o ponto PT2. Teste de correlação linear entre as variáveis DBO, DQO e OG, foram realizados para o efluente após o ponto PT2.

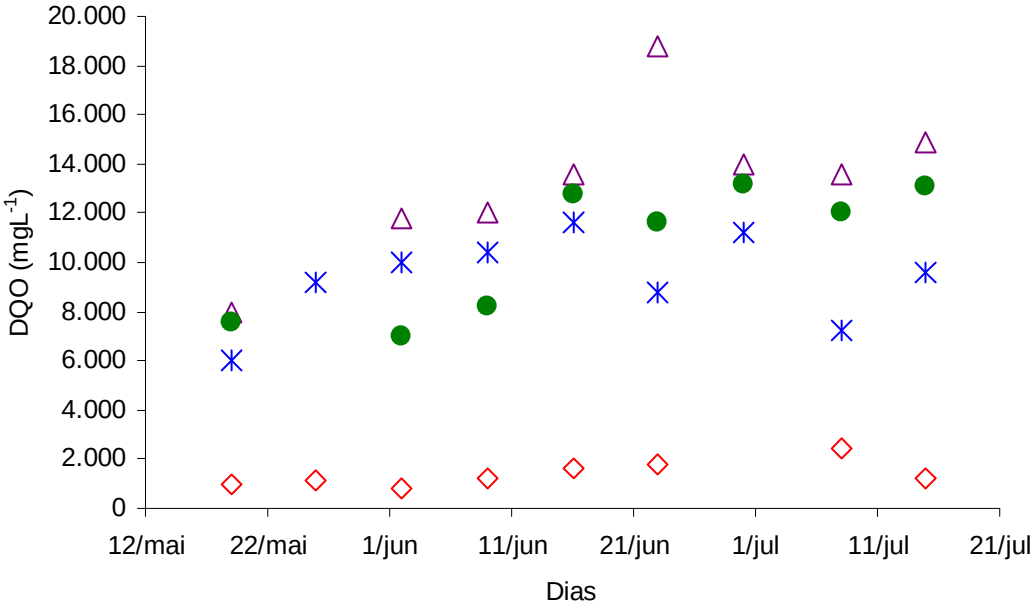

Figura 31 Concentração de matéria orgânica em termos de DQO nos pontos de monitoramento na ETE.

PT3 (Saída Flotador) PT2 (Saída Separador Água-Óleo
PT5 (Efluente Tratado Final) PT4 (Lagoa 1)

Na Figura 32 é apresentada a correlação entre DQO e DBO. A melhor correlação linear encontrada é para o efluente na saída do flotador PT3, sendo que para os demais pontos não se pode afirmar que exista uma correlação.

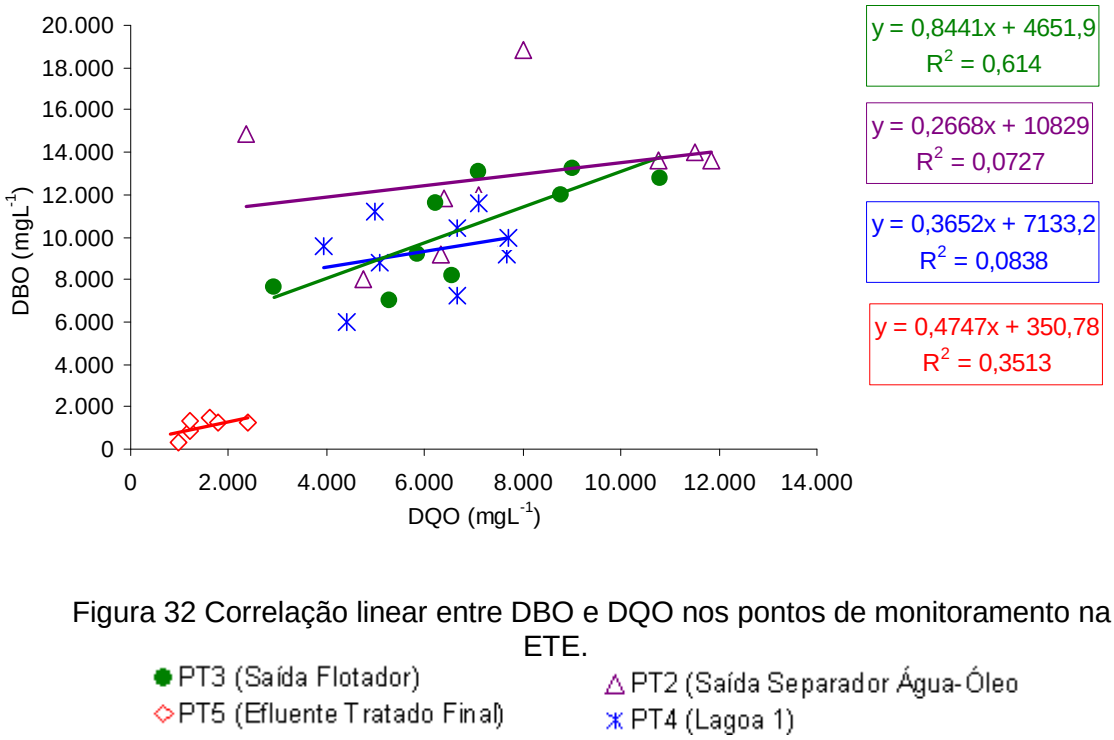

Figura 32 Correlação linear entre DBO e DQO nos pontos de monitoramento na ETE.

Na Figura 33 é apresentada a correlação entre DQO e OG, pode se afirmar que existe correlação entre estas variáveis para os pontos PT3 e PT5 que representam a saída do flotador e efluente final, respectivamente. Embora o coeficiente de correlação entre DQO e OG na saída do flotador é alto seu significado químico é questionável.

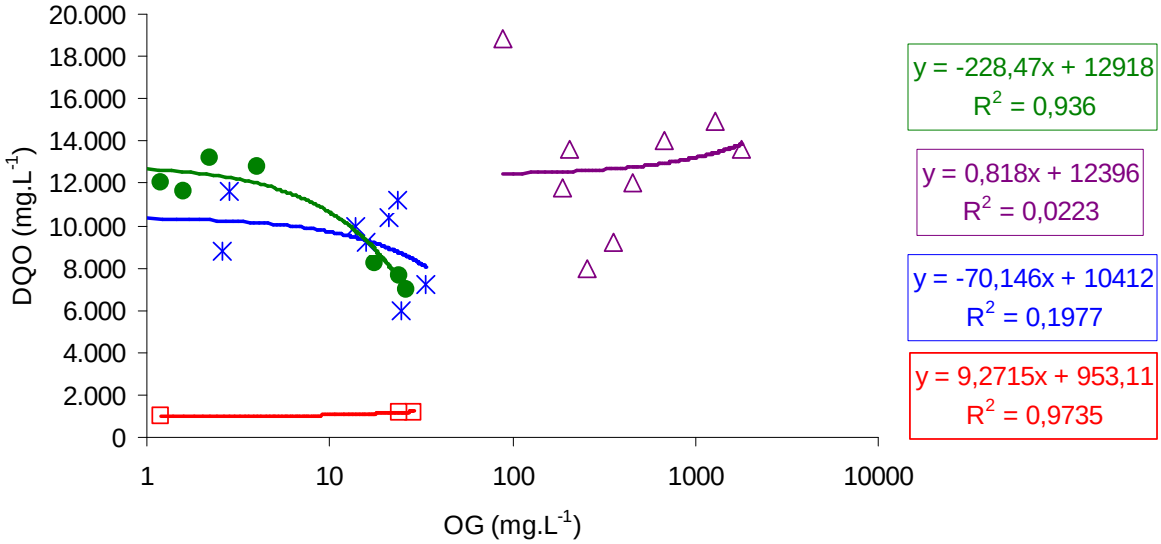

Figura 33 Correlação entre DQO e OG nos pontos de monitoramento na ETE.

PT3 (Saída Flotador) PT2 (Saída Separador Água-Óleo
PT5 (Efluente Tratado Final) PT4 (Lagoa 1)

Na Figura 34 é apresentada a correlação entre DBO e OG. Observa-se correlação entre estas variáveis para os pontos PT3 e PT5 que representam a saída do flotador e efluente final, respectivamente. Observa-se também relação oposta àquela esperada para relação entre DBO e OG para o ponto PT3.

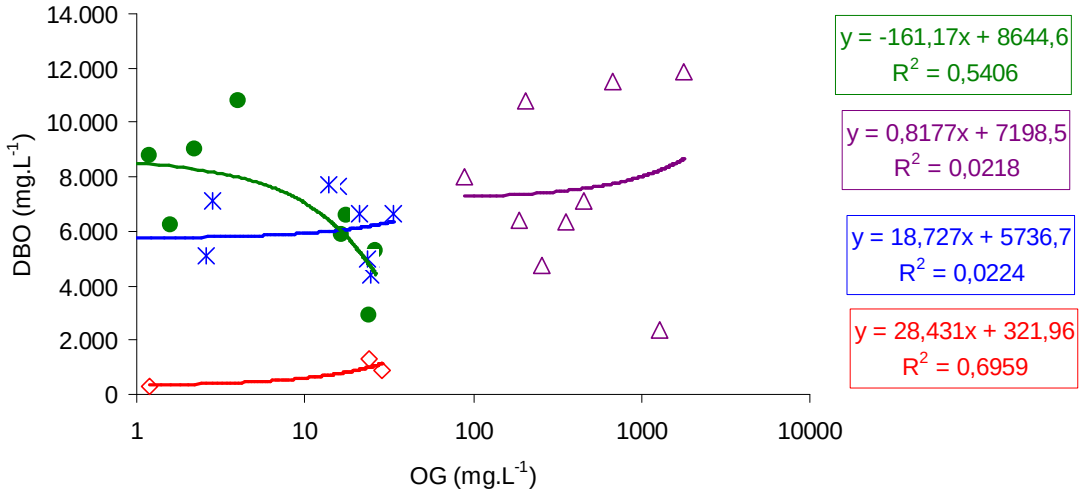

Figura 34 Correlação entre DBO e OG nos pontos de monitoramento na ETE.

PT3 (Saída Flotador) PT2 (Saída Separador Água-Óleo
PT5 (Efluente Tratado Final) PT4 (Lagoa 1)

Na Figura 35 é apresentada à eficiência de remoção de DBO nos processos na ETE. Verifica-se maior remoção de DQO em porcentagem no processo de lodos ativados com valor médio de aproximadamente 82%. Na Figura 36 são apresentados os valores de remoção de DQO nos processos da ETE. Verifica-se novamente que o processo de lodos ativados tem melhor desempenho com remoção média de 85%. Na Figura 37 é apresentada a remoção de OG, verifica-se que os flotadores tem papel importante na remoção de OG com remoção média de 97%.

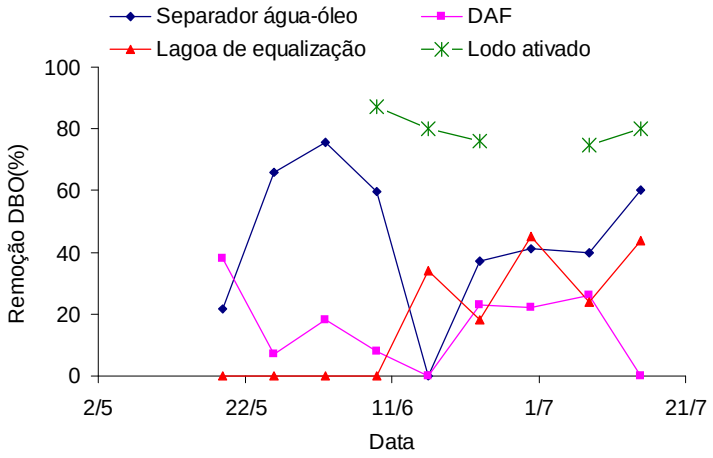

Figura 35 Remoção de matéria orgânica em termos de DBO nos processos adotados na estação de tratamento de efluentes.

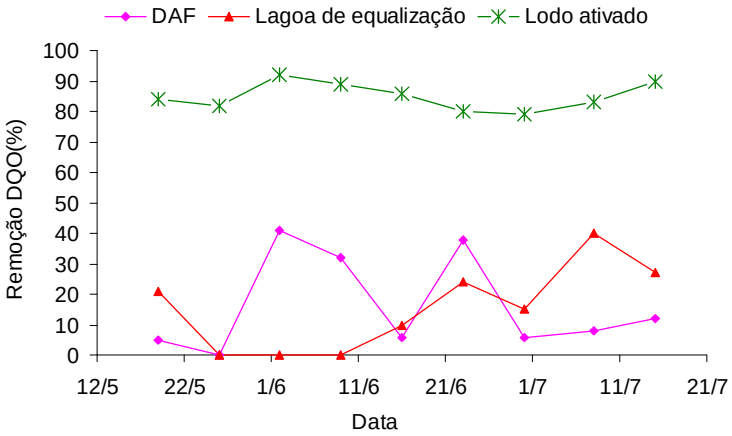

Figura 36 Remoção de matéria orgânica em termos de DQO nos processos adotados na estação de tratamento de efluentes.

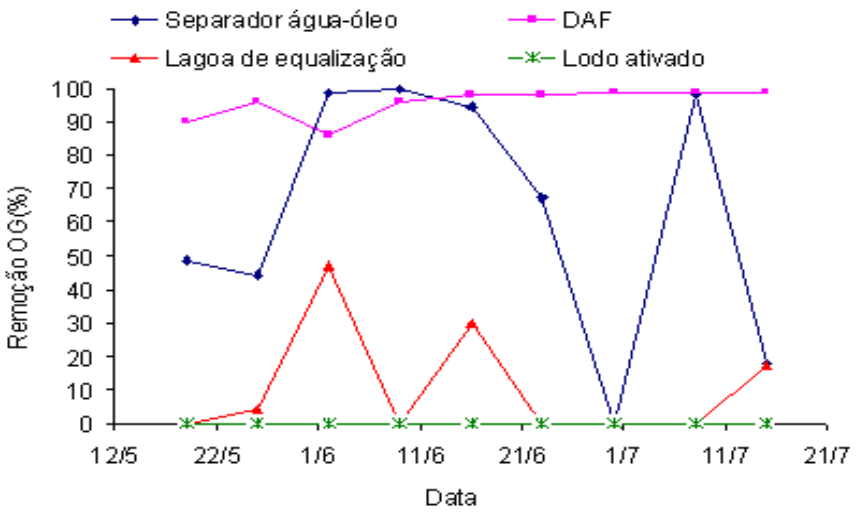

Figura 37 Remoção de OG nos processos adotados na estação de tratamento de efluentes.

6.4 Proposta para adequação do processo de tratamento

Após análise dos resultados obtidos com o monitoramento dos efluentes gerados nas fábricas, bem como nos processos de tratamento, foram propostas algumas adequações à empresa para melhorar a qualidade do efluente e a eficiência na remoção de matéria orgânica nos processos físico-químicos e biológicos utilizados, como segue:

- Conscientização dos colaboradores para redução na geração de resíduos na fonte geradora;
- Aquisição de um equipamento para deságüe de lodo;
- Construção de um tratamento anaeróbio antes do aeróbio;
- Reforma no sistema de tratamento físico-químico e ampliação da galeria de captação de água de chuva;
- Construção de um laboratório para promover melhor controle analítico na estação de tratamento de efluentes;
- Realização de testes com alguns processos oxidativos avançados;

Para a adequação do sistema, foi proposta a reforma dos 3 flotadores por ar dissolvido inoperantes, a troca da rosca e da calha integrante do sistema de transporte de lodo e realização de um acompanhamento analítico na dosagem de produtos químicos alcalinizantes, coagulantes e floculantes, usando aparelho *jar test,* para simular e prever a melhor dosagem possível, com vistas a redução de sólidos suspensos, DQO e DBO. Nas Figura 38 eFigura 39 são apresentadas a rosca e a calha utilizada e os flotadores antes da reforma.

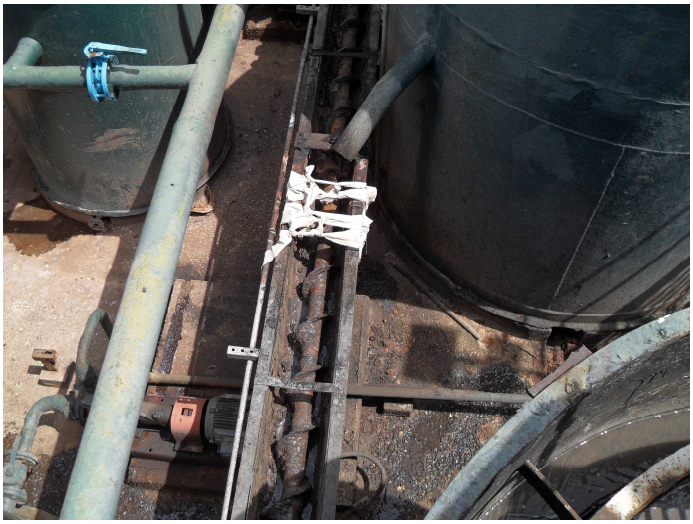

Figura 38 Calha de transporte de lodo primário

Figura 39 Flotadores antes da reforma

No Quadro 10 é apresentada a proposta de melhoria sugeridas para o sistema de lodos ativados. No anexo I encontra-se os cálculos que suportaram as sugestões aqui apresentadas.

Quadro 9 Parâmetros de controle no lodo ativado e proposta de adequação

Parâmetros	Valor atual	Valor Recomendado	Proposta de adequação
O.D.	0,3	≥ 2 mgL^{-1}	Novos aeradores
DBO:N:P	100/0,08/0,3	100/5/1	Dosagem de P e N
A/M	0,49	0,07 a 0,45 kg $DBO.d^{-1}$ $kg^{-1}S.Susp^{-1}$	Aumentar a taxa de retorno de lodo
Resíduo Sedimentável	285	250 a 500 mlL^{-1}	-
IVL	348	< 90 mLg^{-1}: excelente sedimentabilidade	-
		90 e 150 mLg^{-1}: boa sedimentabilidade	
		>150 mLg^{-1}:más condições de sedimentação	
Idade do Lodo	483 dias	10 a 30 dias	Aumentar o Descarte de lodo
Dosagem Tanino	250 mgL^{-1}	-	Jar Test diário
S.Susp Saída F-Q	351 mgL^{-1}	< 50 mgL^{-1}	Ajustar compressor FAD
			Monitorar a dosagem de coagulante
DQO E.Bruto	12878 mgL^{-1}	-	Conscientizar colaboradores
DBO E. Bruto	7680 mgL^{-1}	-	Conscientizar colaboradores
DQO E. Tratado	1334 mgL^{-1}	200 mgL^{-1} (exigido em contrato com a SABESP)	Testes com Processos Oxidativos Avançado - Ozônio
DBO E. Tratado	1141 mgL^{-1}	60 mgL^{-1} (exigido em contrato com a SABESP)	Anaerobiose antes do T. Aeróbio

Fonte:Solnik et al (2008),Sperling (2006),Giordano (2006),Chio et al (2008),Fávaro (2007),Almeida (2004),Cruz (2006), Curtis (2009), Metcaf e Eddy (2003), Liu e Lipták (1997), Droste (1997)

Com o aumento da quantidade de lodo a ser tratada, devido à necessidade de maior descarte do tanque de aeração, e, considerando a baixa eficiência de deságüe nos leitos de secagem existentes, propomos a aquisição de um tri-decanter para deságüe deste resíduo, aumentando assim, a eficiência e a capacidade de tratamento de acondicionamento do lodo gerado nos processos primário e secundário.

Para maior controle analítico do sistema de tratamento, bem como maior monitoramento na qualidade do efluente gerado nas fábricas operantes, foi proposto a montagem de um laboratório exclusivo para tais operações, e a contratação de um profissional qualificado para desempenhar este trabalho analítico e de conscientização dos colaboradores da empresa.

Um novo lay-out da estação de tratamento está descrito na Figura 40.

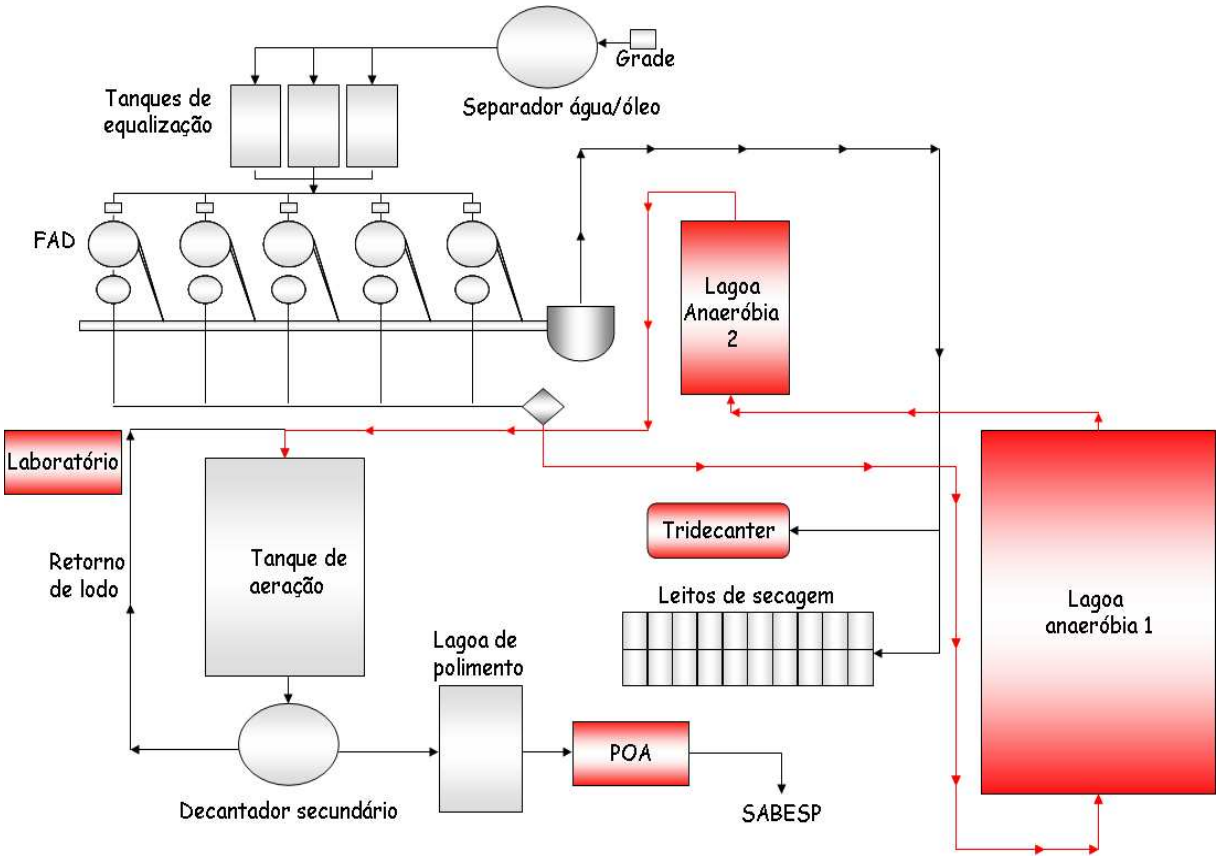

Figura 40 Novo lay-out proposto para a estação de tratamento de efluentes

Como os valores observados para OD encontravam-se reduzido, assim no mês de Fevereiro de 2010, foram instalados 6 novos aeradores superficiais angulares, com motor de 30 CV e capacidade de transferência de 27 $KgO_2.h^{-1}$ cada, mantendo a concentração de OD acima de 2.0 $mg.L^{-1}$, conforme ilustrado na Figura 41.

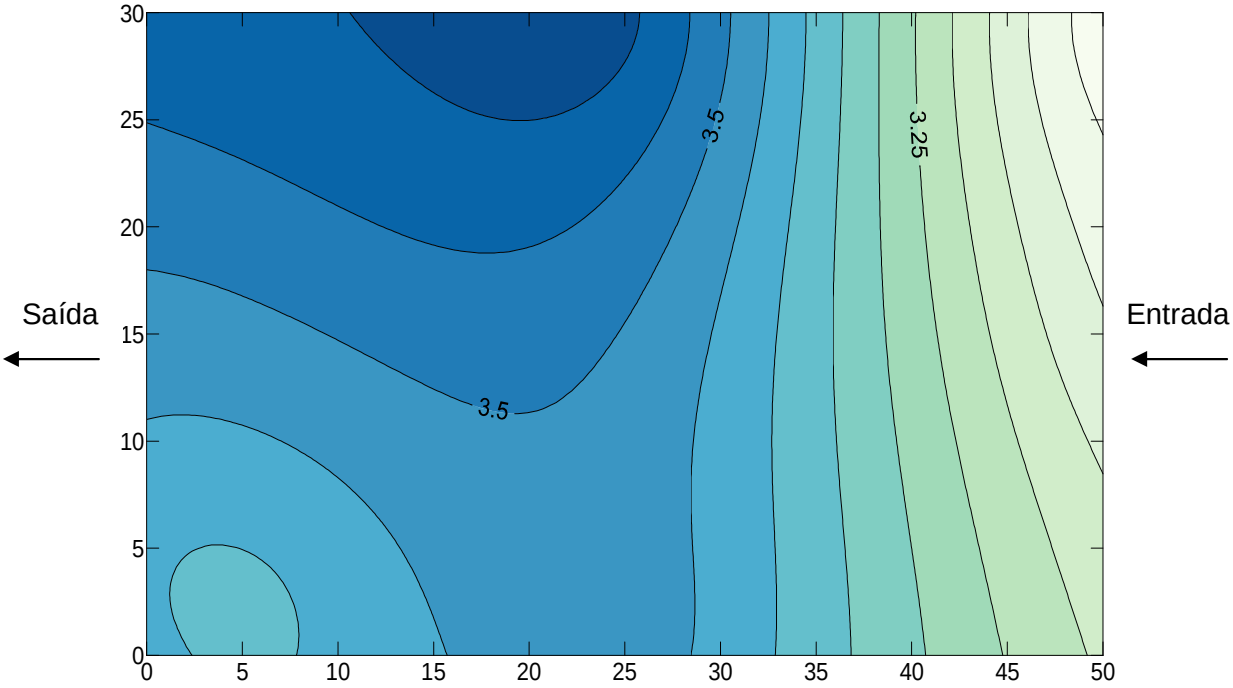

Figura 41 Distribuição de OD no tanque de aeração após a instalação dos novos aeradores.

Após esta adequação no sistema de aeração, verificou-se aumento na remoção de matéria orgânica no sistema de lodos ativados, em termos de DQO de 55% para 79% (Figura 42).

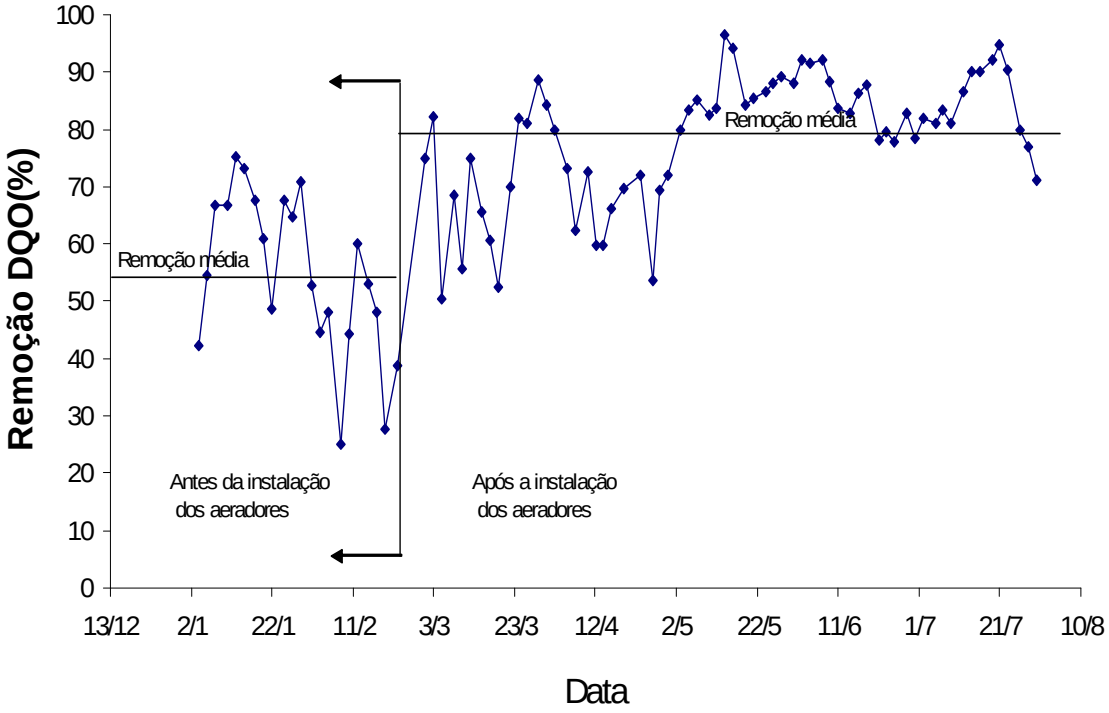

Figura 42 Eficiência de remoção de matéria orgânica em termos de DQO no sistema de lodos ativados antes e após instalação dos aeradores

7 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento do trabalho foi possível concluir que existe grande variação nas características dos efluentes gerados nas fábricas estudadas, sendo que a variação de DBO na fábrica de ácido esteárico nos meses de maio a julho de 2010 oscilaram entre 3.831 mgL^{-1}e 31.224 mgL^{-1}e a concentração de O&G oscilou entre 300 mgL^{-1} e 7.347 mgL^{-1}. Na fábrica de refino de óleo vegetal a variação de DQO encontrada foi de 17.400 mgL^{-1} à 42.000 mgL^{-1}.O efluente bruto também é caracterizado por oscilações acentuadas com valores de O&G entre 14602 mgL^{-1} a 85686 mgL^{-1}e DBO entre 6044 mgL^{-1} a 29608 mgL^{-1}.

Verificou-se um melhor desempenho do sistema referente à remoção de matéria orgânica expressa em DQO após a alteração na concentração de OD no tanque de aeração do sistema de lodo ativado, realizada com a instalação de novos aeradores, a remoção média aumentou de 55% para 79%, após instalação dos novos aeradores.

O sistema FAD para remoção de O&G apresentou-se mais estável do que o separador de água e óleo nas oscilações das cargas. Embora a remoção total de DQO e DBO na ETE é de aproximadamente 89% e 87%, respectivamente o efluente final ainda apresenta concentração de DQO de 1330 mgl^{-1} e DBO de 1140 mgl^{-1}.

8 BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Programa de Acreditacao de Laboratórios em Análises de Qualidade da Agua. Documento base (2004).

ALMEIDA, E., ASSALIN, M. R., ROSA, M. A., DURÁN, N., Tratamento de Efluentes Industriais Por Processos oxidativos na Presença de Ozônio. Química Nova. 2004.

AUBRUN, C., SAUTER, D., THEILLIOL, D., Hierarchical diagnostic procedure for a wastewater treatmento plant. American Control Conference, San Diego, California. 2009.

BENTO, A.P., et al. 2005. Caracterização da microfauna em ETE do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. Eng. Sanit. Ambiental, v. 10(4), 329-33.

CAMPOS, J. R. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 1999. cap. 10, p. 249-270, 435 p.

CECCHET, J. (2007). Avaliação do desempenho de Flotação por Ar Dissolvido no tratamento de Efluentes de Refinaria de Óleo de Soja. Dissertação de mestrado. Unioeste.

CHERNICHARO, C. A. de L. Reatores anaeróbios. Belo Horizonte: UFMG, p.246 (1997).

CHIO, L., REYES, F.L., Clarifying the Roles of Kinetics and Diffusion in Activated Sludge Filamentous Bulking. Biotechnology and Bioengineering. 2008.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB) http://www.cetesb.sp.gov.br/. Acesso em Agosto de 2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. CONAMA No 357: disposição sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelecimento das condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama. Acesso em: setembro de 2010.

CRUZ, J. G. H., SCHNEIDER, I. A. H., Aplicação de Coagulante Vegetal à Base de Tanino em Efluentes Industriais. Dissertação de Mestrado.Universidade Federal do Rio Grade do Sul. 2006.

CURTIS, T.P., MISKIN, O.E., HEAD, I.M., AKARSUBASI, A.T., Effect of Sludge Age on the Bacterial Diversity of Bench Scale Sequencing Batch Reactors. Enviroment Science technology. 2009.

DORSA,R., Tecnologia de Óleos Vegetais. 1 Edição. Campinas-SP. Editora Gráfica Ideal. P. 463. 2004.

FÁVARO, A. L., Manual de Lodos Ativados. Acgua Engenharia. 2007.

GIORDANO, G. Tratamento e Controle de Efluentes Industriais. Universidade Estadual do Rio de Janeiro. 2006.

GOGATE, P.R.; PANDIT, A.B. A review of imperative technologies for wastewater treatment: oxidation technologies at ambient conditions. Advances in Environmental Research, Amsterdã, v. 8, p. 501-551, 2004.

GURKAN, S., PAUW, D. J. W., WEIJERS, S., VANROLLEGHEM, P. A. An Efficient Approach to Automate the Manual trial and Error Calibration of Activated Sludge Models. Biotechnology and Bioengineering. 2007.

GUIMARÃES, G.C., Estudo do Adensamento e Desidratação dos Resíduos Gerados na ETA-Brasília. Dissertação de Mestrado. UnB.2007.

HAANDEL, A. C. van; LETTINGA, G. Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual de para regiões de clima quente. Campina Grande: Epgraf, 1994.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 4º ed. Rio de Janeiro, SEGRAC, 2005.

JUCHEN, C. R. Tratamento de residuos liquidos. Medianeira, 2001, 75p.

KURITA. Tratamento Químico para Estações de Tratamento de Água. Disponível em: www.kurita.com.br. Acesso em 11/09/2010.

LIPTÁK, B.G.; LIU, D.H.F., Environmental Engineers Handbook. Second Edition. Lewis Publishers.1996.

MACHADO, I. A., ROQUE, O. C. C., VEIGA, M., Tratamento Terciário de Efluentes de Estação de Tratamento por Lodo Ativado para Fins de Reuso como Água de Reposição em Torres de Resfriamento. Dissertação de Mestrado.ENSP. 2006.

MARTIN, J. M., ARTOLA, A., BALAGUER, M. D., RIGOLA, M., Enhancement of the activated sludge process by activated carbon produced from surplus biological sludge. Biotechnology Letters. 2002.

METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse.* 4. ed. New York, McGraw - Hill Book, 2003.

MORAIS, A.A., Uso de Ozônio como Pré e Pós-tratamento de Efluentes da Indústria de Celulose Kraft Branqueada. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa-MG. 2006.

NBR 14063 - 1998 - Óleos e Graxas - Tratamento em Efluentes de Mineração.

NBR 12209 – 1992 - Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitários

SOLNIK, W., ZADJA Z., Aeration System Control in Biological Waste Water Treatment Plants. Seventh Internacional Conference on Machine Learning. July, 2008.

SPERLING, M. V., Lodos Ativados, Volume 4, Editora Universidade Federal de Minas Gerais. 2006.

STASINAKIS,A.S. Use of Selected Advanced Oxidation Processes (AOPs) for Wastewater Treatment – a review. *Global NEST Journal*, v. 10, n. 3, p. 376-385, 2008.

WILLEY, R. (2001), Fats, oils, and greases: The minimization and treatment of wastewaters generated from oil refining and margarine production. Ecotoxicology and Enviromenmental Safety, v.50, p.127-133.

9. Anexos

Anexo I

Lodos Ativados

Cálculo dos parâmetros de projeto e de controle do processo de lodos ativados:

Carga de DBO:

2.410 Kg.dia^{-1}

Fator de carga resultante:

f = C_{DBO}/ (Q_d x SST)

f = 2.410 / (400 x 8,8) = ***0,68 kgDBOkgSS^{-1} . dia^{-1}***

Em que:

C_{DBO} = Carga de DBO aplicada por dia;

Q_d = Volume de efluente por dia;

SST = Sólidos suspensos totais no tanque de aeração (8782mgl^{-1})

Relação A/M (Alimento/Microorganismos):

Indica a proporção entre a Carga Orgânica alimentada ao tanque de aeração e a massa de microorganismos presentes no mesmo, expressa em kg DBO/d. kg SSV.

$$\frac{A}{M} = \frac{Q \cdot So}{V \cdot Xv}$$

Considerando que a estação trabalha com vazão média de 400m^3/dia de efluente, um reator aeróbio com 6000 m^3 de volume. Carga de DBO afluente de 6024 gm^{-3} e 818gm^{-3} de sólidos suspensos voláteis no reator aeróbio, têm-se:

$$\frac{A}{M} = \frac{400 \cdot 6024}{6000 \cdot 818} = \mathbf{\mathit{0,49\ kg\ DBO/kg\ SSV.d}}$$

Em que:

A = carga de alimentos fornecida;

M = massa de microrganismos é calculada por:

Q = vazão afluente (m^{3}d^{-1})

So = concentração de DBO afluente (mgL^{-1})

V = volume do reator aeróbio (m^3)

Xv = concentração de sólidos em suspensão voláteis (mgL^{-1})

SSV = sólidos suspensos voláteis

RS (resíduo sedimentável no tanque de aeração):

É o volume de lodo que se sedimenta em 1 hora, em cone Imhoff, do liquor do tanque de aeração, expresso em mlL^{-1};

RS = ***285mL.L^{-1}***

IVL (índice volumétrico de lodo):

representa o volume em ml ocupado por um grama de sólidos em suspensão, sendo obtido pela divisão do valor de RS ($mL.L^{-1}$) pelo de SSV (gL^{-1}), e é expresso em mLg^{-1}; indica qualitativamente os padrões de sedimentabilidade do lodo;

IVL = RS/SSV = 285/0,818 = ***348mL.g^{-1}***

IL (idade do lodo):

Representa o tempo médio que uma partícula de lodo permanece no sistema, e pode ser estimada grosseiramente dividindo-se a quantidade de lodo (seco) contida no tanque de aeração pela quantidade diária de lodo (seco) retirada do sistema como lodo em excesso; pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$IL\ (dias) = \frac{\text{Vol. do Tq. de Aeração } (m^3) \times SSVTA\ (gl^{-1})}{\text{Vazão de Lodo de retorno } (m^3d^{-1}) \times SSRL\ (gl^{-1})}$$

Em que:

SSVTA= Sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração;

SSRL = Sólidos suspensos no retorno de lodo.

Considerando a concentração de 1,015 g/L de sólidos suspensos no retorno de lodo, temos:

$$IL\ (dias) = \frac{6000m^3 \times 0{,}818g/l}{10m^3d^{-1} \times 1{,}015gl^{-1}} = \textbf{\textit{483 dias}}$$

Volume necessário do tanque de aeração:

Considerando-se o fator de carga f = 0,68 kgDBO. $kgSS^{-1}.dia^{-1}$, correspondente à relação (A/M) = 0,49 kgDBO / kgSSV.dia e a concentração de 8,8 $gSS.m^{-3}$ no tanque de aeração, correspondente à concentração de SSV de 0,818 $kg.m^{-3}$, tem-se o seguinte volume necessário de tanques de aeração:

V_{TA} = 2.410/ (0,818 x 0,68) = ***4.333 m³***

V_{TA} *atual* = ***6.000m³***

Tempo de detenção hidráulico resultante:

$t_d = V_{TA} / (Q_T /24)$

Em que:

V_{TA} = Volume total atual do tanque de aeração

Q_T = vazão de efluente diária

t_d = 6.000 / (400/24) = *360 horas* = ***15 dias***

Necessidade de oxigênio:

Considerando-se a necessidade de oxigênio igual a 2,0 $kgO_2.kgDBO_{apl.}^{-1}$, a necessidade de oxigênio será:

NEC_{O2} = (2,0 x 2.410) / 24 = **201 $kgO_2.h^{-1}$**

Potência necessária:

Será considerada a capacidade de transferência de oxigênio de 0,9 $kgO_2.Cv^{-1}h^{-1}$, nas condições de campo.

P_{NEC} = 201 / 0,9 = ***233 cv***

Decantador secundário:

Área superficial do decantador secundário (A_S):

$A_S = \Pi r^2 = 3,14 \times (4,5)^2 =$ ***63,6 m²***

Taxa de escoamento superficial (q_A):

$q_A = Q / A_S$

$q_A = 400 / 63,6 =$ ***6,3 $m^3 m^{-2} dia^{-1}$***

onde,

Q = volume diário ($m^3 dia^{-1}$) – sem incluir a vazão de retorno de lodo;

Taxa de aplicação de sólidos (G_A): (para $Q_T = 2m^3h^{-1}$)

$G_A = [(Q + Q_r) . X] / A_S = (17+2).3/63,6 =$ **0,90 $gSSTm^{-2}hora^{-1}$**

em que:
Q:Vazão média de esgoto (m^3h^{-1})
Q_r: Vazão de retorno de lodo (m^3h^{-1}))
X: Concentração de sólidos suspensos totais ($gSSTm^{-3}$)

De acordo com a NBR 12.209/90 a taxa de aplicação de sólidos no decantador secundário de processo de lodo ativado não deverá exceder a 144 $kgSST/m^2$.dia (6,0 $kgSST/m^2$.h). É usual o emprego de valores na faixa de **4,0 a 5,0 $gSST.m^{-2}.h^{-1}$.**

Vazão de retorno de lodo

A vazão de retorno de lodo será estimada considerando-se que o lodo estará sedimentado no fundo do decantador secundário a uma concentração de 4,0 kg/m^3. Fazendo-se um balanço de massa de sólidos em suspensão no decantador secundário, desprezando-se a perda com o efluente final, tem-se:

$$(Q + Q_r) . X = Q_T . X_r$$

Em que:

Q = Vazão diária do efluente;

Q_T = Vazão de retorno de lodo biológico;

X = Concentração de sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração;

Xr = Concentração de sólidos suspensos no retorno de lodo;

Dividindo-se por Q e fazendo-se $r = Q_r / Q$, tem-se:

$(1 + r) . X = r . X_r$

$(1 + r) . 0,818 = r . 4$

$r = 0,26$

$Q_r = 0,26 \times 400 =$ ***104 m³/dia***

Produção de excesso de lodo biológico:

$\Delta X = 0,65$ kg SS . Kg DBO^{-1}

$\Delta X = 0,65 \times 2.410 =$ ***1.567 kg SS dia⁻¹***

Tempo de Detenção hidráulico no decantador secundário:

$TDH = V_d \times 24 / V_t$

Em que:

Vd = Volume útil do decantador secundário (m^3)

Vt = Volume total de efluente por dia (m^3)

TDH = 280 x 24 / 400 = ***16,8 h***