

UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO

Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologia

Programa de Mestrado em Tecnologia Ambiental

OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE
DE INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE CARNES E
DERIVADOS

Ivo César de Lima

Ribeirão Preto

2008

Ivo César de Lima

**OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE
EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE
CARNES E DERIVADOS**

**Dissertação apresentada ao curso de Tecnologia
Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto
para obtenção do título de Mestre em Tecnologia
Ambiental.**

Orientador : Profa. Dra. Angela Di Bernardo
Dantas

Ribeirão Preto

2008

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento Técnico da
Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

L732o Lima, Ivo César de.
Otimização do sistema de tratamento de efluente de indústria de processamento de carnes e derivados / Ivo César de Lima. - - Ribeirão Preto, 2008.

77 f.: il. + anexos e apêndices.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Angela Di Bernardo Dantas.

Dissertação (mestrado) – Departamento de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto, 2008.

1. Indústria de processamento de carnes. 2. Tratamento de efluente. 3. Coagulação. 4. Flotação. 5. Frigoríficos. I. Título.

CDD: 664

IVO CÉSAR DE LIMA

OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE
DE INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE CARNES E
DERIVADOS

**Dissertação apresentada ao curso de Tecnologia
Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto
como requisito parcial para obtenção do Grau
de Mestre em Tecnologia Ambiental.**

APROVADA EM 04 DE ABRIL DE 2008

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Angela Di Bernardo Dantas
Universidade de Ribeirão Preto

Profa. Dra. Silvia Cláudia Semensato Povinelli
Escola de Engenharia de São Carlos / USP

Profa. Dra. Maristela Silva Martinez
Universidade de Ribeirão Preto

Ribeirão Preto

2008

AGRADECIMENTOS

A **DEUS**, que me deu a vida.

Aos meus pais, que cuidaram de mim com amor e me ensinaram a ser homem e a dar valor à vida.

A minha família que lutou junto comigo por este objetivo. Minha esposa Roberta e meu filho Arthur.

Aos meus irmãos que sempre me apoiaram. Em especial ao Itamar que apesar da distância que nos separa jamais esteve longe de mim.

Ao José Carlos da Silva, companheiro e amigo de uma longa caminhada estudantil.

Aos amigos do curso de mestrado, em especial ao Devanir pelo incentivo ao crescimento profissional.

Aos companheiros que me ajudaram nas análises laboratoriais. Alunos de iniciação científica da UNAERP em especial Mônica, José Renato e Thiago.

A minha orientadora Profa. Dra. Angela Di Bernardo Dantas pelo carinho dispensado a este estudo.

Ao Prof. Dr. Luiz Di Bernardo pelo apoio técnico e pela sua contribuição particular cedendo parte do equipamento para o estudo.

A minha co-orientadora Profa. Dra. Cristina Paschoalato pelas críticas, sugestões e orientações preciosíssimas para o desenvolvimento desta pesquisa.

A Cajuru Alimentos pelo incentivo e oportunidade de desenvolvimento tecnológico.

E a todos que direta e indiretamente, por mim torceram e apoiaram.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÃO E FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iv
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Considerações gerais	4
3.2 Sistemas de tratamento utilizados em frigoríficos	7
3.2.1 Considerações gerais	8
3.2.2 Remoção de sólidos grosseiros em suspensão	11
3.2.3 Remoção de sólidos sedimentáveis	11
3.2.4 Remoção de óleos, graxas e sólidos flutuantes	12
3.2.5 Precipitação química	13
3.2.6 Flotação	16
3.2.7 Remoção de nitrogênio e fósforo	22
3.2.8 Reatores	25
3.2.9 Filtros	27
3.2.9.1 Filtro Biológico	27
3.2.9.2 Filtro Biológico Anaeróbio.....	29

3.3 Legislação	30
4. MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 Fluxograma do trabalho	32
4.2 Equipamentos e produtos químicos	33
4.3 Métodos analíticos	34
4.4 Diagnóstico do sistema	35
4.5 Levantamento de dados de produção	35
4.6 Descrição do sistema	36
4.6.1 Verificação da eficiência do sistema de tratamento	38
4.6.2 Hidrograma de vazão	39
4.7 Ensaio de flotação em bancada	41
4.7.1 Coleta e caracterização do efluente	41
4.7.2 Ensaio para otimização do processo de coagulação	42
4.7.3 Ensaio para otimização do tempo de floculação	42
4.7.4 Ensaio para otimização da taxa de recirculação	43
4.7.5 Ensaio para otimização da velocidade de flotação	43
4.7.6 Ensaio final da otimização dos ensaios	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1 Levantamento de dados de produção	46
5.2 Diagnóstico	46
5.2.1 Características do efluente	46
5.2.2 Verificação da eficiência do sistema de tratamento	49
5.2.3 Hidrograma do sistema	51
5.3 Ensaio de bancada	53
5.3.1 Caracterização do efluente	53

5.3.2 Diagrama de coagulação	54
5.3.3 Tempo de floculação	57
5.3.4 Taxa de recirculação	58
5.3.5 Velocidade de flotação	59
5.3.6 Ensaio final	60
6. CONCLUSÕES	62
7. RECOMENDAÇÕES	63
8. BIBLIOGRAFIA	64
9. ANEXOS	68
10. APÊNDICES	73

LISTA DE ILUSTRAÇÕES E FIGURAS

1 – Organograma sintético do Ministério da Agricultura	5
2 – Peneira para remoção de sólidos	11
3 – Desarenador / Caixa de areia	12
4 – Separador de água e óleo	13
5 – Diagrama de Solubilidade do ferro III relacionado com o cloreto férrico PA	15
6 – Flotador de ar dissolvido em início de funcionamento	18
7 – Flotador de ar dissolvido Tecnosan	19
8 – Fenômeno de captura de partículas	20
9 – Fenômenos de colisão, adesão, nucleação e captura de partículas	21
10 – Transformação do Nitrogênio em processos biológicos	22
11 – Reator UASB	26
12 – Filtro biológico com leito de pedra	27
13 – Representação do processo de filtração biológica	28
14 – Componentes do filtro biológico	28
15 – Organograma do Ministério do Meio Ambiente	30
16 – Fluxograma das etapas do trabalho	32
17 – Floteste	34
18 – Flotador em funcionamento	37
19 – Esquema do sistema de tratamento	38
20 – Vertedor triangular com abertura de 30°	40
21 – Tanque de equalização	41
22 – Análise da característica diária de produção	46
23 – Hidrograma da estação de tratamento de efluente	52
24 – Hidrograma médio da estação de tratamento de efluente	53

25 – Turbidez do flotado em função da dosagem de cloreto férrico e do pH de Coagulação	55
26 – DQO do flotado em função da dosagem de cloreto férrico e do pH de Coagulação	55
27 – Turbidez do efluente após flotação	56
28 – Ensaio global de dosagem de cloreto férrico para coagulação	56
29 – Variação da remoção da turbidez e DQO em função do tempo de floculação	57
30 – Ensaio da variação do tempo de floculação	57
31 – Variação na remoção da turbidez e DQO em função da variação da taxa de Recirculação	58
32 – Ensaio de flotação com taxa de recirculação 150%	59
33 – Remoção da turbidez com variação no tempo de flotação	59
34 – Tempo de coleta da amostra após flotação	60
35 – Estudo otimizado – Coagulação, floculação e flotação	61

LISTA DE TABELAS

1 – Formas de Nitrogênio	23
2 – Precipitação do fósforo com cal, alumínio e ferro	24
3 – Parâmetros de análise, metodologia APHA	34
4 – Entrada diária de carga poluidora no sistema	47
5 – Variação horária de entrada de carga poluidora no sistema de tratamento	48
6 – Avaliação horária de remoção de carga poluidora nas fases do processo de tratamento	50
7 – Eficiência de remoção nas fases do sistema	51
8 – Caracterização do efluente industrial	54
9 – Comparação dos resultados do ensaio final e do ensaio de simulação do sistema de tratamento atual	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAFA	Digestor anaeróbio de fluxo ascendente
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio 5 dias a 20°C
DIPOA	Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
FAD	Flotador de ar dissolvido
MA	Ministério da Agricultura
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NAT	Nitrogênio amoniacal total
NBR	Norma brasileira
NIT	Nitrogênio inorgânico total
N org.	Nitrogênio orgânico
NT	Nitrogênio total
NTK	Nitrogênio total Kjeldahl
OG	Óleos e graxas
pH	Potencial hidrogeniônico
PVC	Policloreto de vinila
RAFA	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
RAFAALL	Reator anaeróbio de fluxo ascendente através de leito de lodo

RALF	Reator anaeróbio de leito fluidificado
RIISPOA	Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SIF	Serviço de Inspeção Federal
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SS	Sólidos Suspensos
ST	Sólidos totais
STD	Sólidos totais dissolvidos
STF	Sólidos totais fixos
STS	Sólidos totais em suspensão
STV	Sólidos totais voláteis
UASB	Upflow anaerobic sludge blanket

RESUMO

A indústria de processamento de carnes gera grande quantidade de efluentes líquidos com elevada concentração de poluentes. Previamente ao lançamento no meio ambiente, preconiza-se que estes efluentes sejam tratados para reduzir a carga poluente a níveis compatíveis com a legislação ambiental vigente. Com constantes variações na demanda de carne e derivados, e conseqüente alterações no processo produtivo industrial, esses efluentes adquirem características diferentes ao longo do tempo, necessitando de ajustes no sistema para recuperação da eficiência do tratamento. Neste sentido, a presente pesquisa objetivou diagnosticar e melhorar o sistema de tratamento de efluentes composto por flotor e filtro anaeróbio de uma indústria frigorífica não associada ao abate. Na primeira parte do trabalho foi feita avaliação do sistema existente medindo-se a eficiência de remoção de DQO e sólidos totais das etapas de tratamento. Em função da baixa eficiência do flotor constatada (remoção de 31% DQO), foram realizados ensaios de coagulação, floculação e flotação em bancada com a finalidade de verificar quais as condições que otimizariam a remoção de matéria orgânica nesta etapa do tratamento. Foram estudados as condições de coagulação com cloreto férrico (pH de coagulação e dosagem do coagulante), o tempo de floculação, a taxa de recirculação e a velocidade de flotação. No ensaio com os parâmetros otimizados foi obtida eficiência de 90% na remoção de DQO, de 99,8% na redução de turbidez e de 96% na remoção de fósforo. Os resultados obtidos no estudo demonstraram que a flotação somente resultou eficiente no tratamento do efluente de indústria frigorífica de processamento de carnes e derivados quando precedida das etapas de coagulação e floculação.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria de processamento de carnes, Tratamento de efluente, Coagulação, Flotação, Frigorífico.

ABSTRACT

The meat processing industry creates large amount of liquid effluent with high pollutant concentration. Previously to its delivering to the environment it is proclaimed it should be treated and brought to suitable levels for pollutant reduction, according to environmental legal requirements. Such effluents, under several variations on meat and derivatives demand and subsequently industrial productive processing changes, acquire different characteristics within the time, which will require adjustments in the recovering system of treatment effectiveness. Therefore this research aimed to find out and improve the treatment system of compound effluents by anaerobic floater and strainer of a frigorific industry, not related to slaughtering. Firstly it was performed an evaluation of the current system through the measurement of DQO and complete solid waste removal effectiveness during treatment steps. Due to low floater effectiveness (31%DQO removal) it was performed coagulation, flocculation and flotation trials in workbench with the purpose of verifying under which conditions the organic waste removal, in this treatment step, could be optimized. It was studied the coagulation condition with ferric chloride (coagulation pH and coagulant dose), flocculation timing, recirculation rate as well as flotation speed. During the trial under the optimized framework, it was achieved 90% DQO removal, 99.8% muddy reduction and 96% phosphorus removal. In this study, the achieved results reveal that flotation was only effective in the treatment of effluents from meat and derivatives processing frigorific industry when preceded of coagulation and flocculation steps.

KEY WORDS: Meat processing industry, Effluent treatment, Coagulation, Flotation, Frigorific.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de água pela indústria ocorre sob diversas formas: águas de lavagem do sistema (ambiente, utensílios e maquinários), incorporação ao produto, sistemas de geração de vapor, esgoto sanitário dos funcionários, refeitórios ou restaurantes, manutenção e sistemas de refrigeração. As diversas formas de uso tornam a água poluída pelos resíduos, originando os efluentes líquidos industriais, que devem ser portanto, devidamente tratados para amenizar, reduzir, ou eliminar o máximo possível da poluição gerada, antes de seu descarte nos corpos receptores de quaisquer natureza.

Os sistemas de tratamento de efluentes industriais nem sempre produzem a eficiência almejada devido a diversos fatores, principalmente, os operacionais. Em uma economia globalizada em que a abertura de mercado leva cada vez mais à facilidade de negócios no território nacional e internacional, as empresas se vêem constantemente na necessidade de lançar novos produtos, fazer alterações de linhas de produção e otimizar processos de fabricação. Isso influencia diretamente na geração de resíduos e/ou mudança em suas características.

A otimização de um processo industrial deveria abranger toda a estrutura empresarial. Entretanto, o que se tem observado é que na maioria das indústrias a visão de otimização focaliza a produção e produtividade, sem um estudo amplo do impacto geral das alterações no sistema industrial. Assim, algumas fases do processo (geralmente as indiretas), sofrem alterações, que somente serão percebidas quando problemas operacionais ocorrerem justamente por não se dar importância a tais mudanças no momento da otimização do processo produtivo.

Assim, este trabalho visou diagnosticar o processo de tratamento de efluentes de uma empresa do ramo alimentício de processamento de carnes e derivados, instalado em junho de

2001, quando 1/3 da produção era de produtos salgados (charque), caracterizando um efluente com alto teor de lipídios, cloretos e sódio. Depois de dois anos, tal produção foi totalmente interrompida, resultando em aumento da produção de carnes temperadas. Conseqüentemente, o lançamento de cloretos e sódio no sistema diminuiu e o lançamento de fosfatos aumentou. Essa carga poluidora cresceu com o aumento da produção. Portanto, o volume do efluente a ser tratado também, sem que houvesse reavaliação qualitativa da eficiência do sistema a fim de garantir sua eficiência.

Avaliou-se esta eficiência nos dias atuais e identificou-se falhas e perdas de eficiência no sistema devido ao aumento de produção pela demanda do mercado e, alterações nas características do efluente lançado no sistema desde a implantação do sistema de tratamento de efluente quando entrou em funcionamento em 2001. Foram propostas melhorias e adequações cabíveis e viáveis ao processo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo geral propor melhorias para o sistema de tratamento de efluente de uma indústria de processamento de carnes e derivados não associada ao abate quanto a eficiência na remoção de matéria orgânica.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- mapear o sistema de tratamento;
- traçar um hidrograma do sistema de vazão do efluente;
- catalogar dados de produção;
- avaliar a eficiência de remoção de carga poluidora nas fases do sistema;
- propor sugestões de melhoria e / ou adequação do sistema.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Considerações gerais

Frigorífico é o termo utilizado para câmara, depósito ou aparelho que mantém ou conserva o frio. No Brasil, utiliza-se normalmente este termo para indústrias alimentícias que conservam seus produtos sob refrigeração e/ou congelamento.

A evolução dos antigos matadouros a céu aberto mal cheirosos e cheios de predadores, a modernos abatedouros começou com a descoberta dos processos de refrigeração com amônia. A possibilidade de armazenar e transportar grandes quantidades de carne possibilitou retirar o abate da proximidade das cidades e levá-los para perto dos locais de produção. A evolução da Biologia com o estudo dos microorganismos causadores de doenças, levou a uma constante procura por mais higiene e limpeza. Hoje encontra-se em um ponto de venda, por exemplo, na Europa, carne da Austrália ou Argentina, frango do Brasil, bacon dos Estados Unidos. Isso só é possível pela evolução da indústria (WIKIPÉDIA, 2007).

Matadouros, abatedouros ou frigoríficos são denominações dadas a estabelecimentos industriais destinados ao abate e/ou industrialização de produtos de origem animal. No Brasil, o órgão fiscalizador é o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que dispõe de normas técnicas específicas a estes estabelecimentos fiscalizados através de suas diversas secretarias singulares, conforme Figura 1. Estas secretarias são desmembradas e organizadas no sistema do Ministério da Agricultura de forma a atender os diversos ramos de sua abrangência, em secretarias e departamentos, singulares ou coligados, federais ou de subordinação estadual e ainda departamentos específicos para produtos de sua responsabilidade destinados à exportação.

Os fiscais federais do Ministério da Agricultura são, em sua maioria, graduados em medicina veterinária ou correlata.

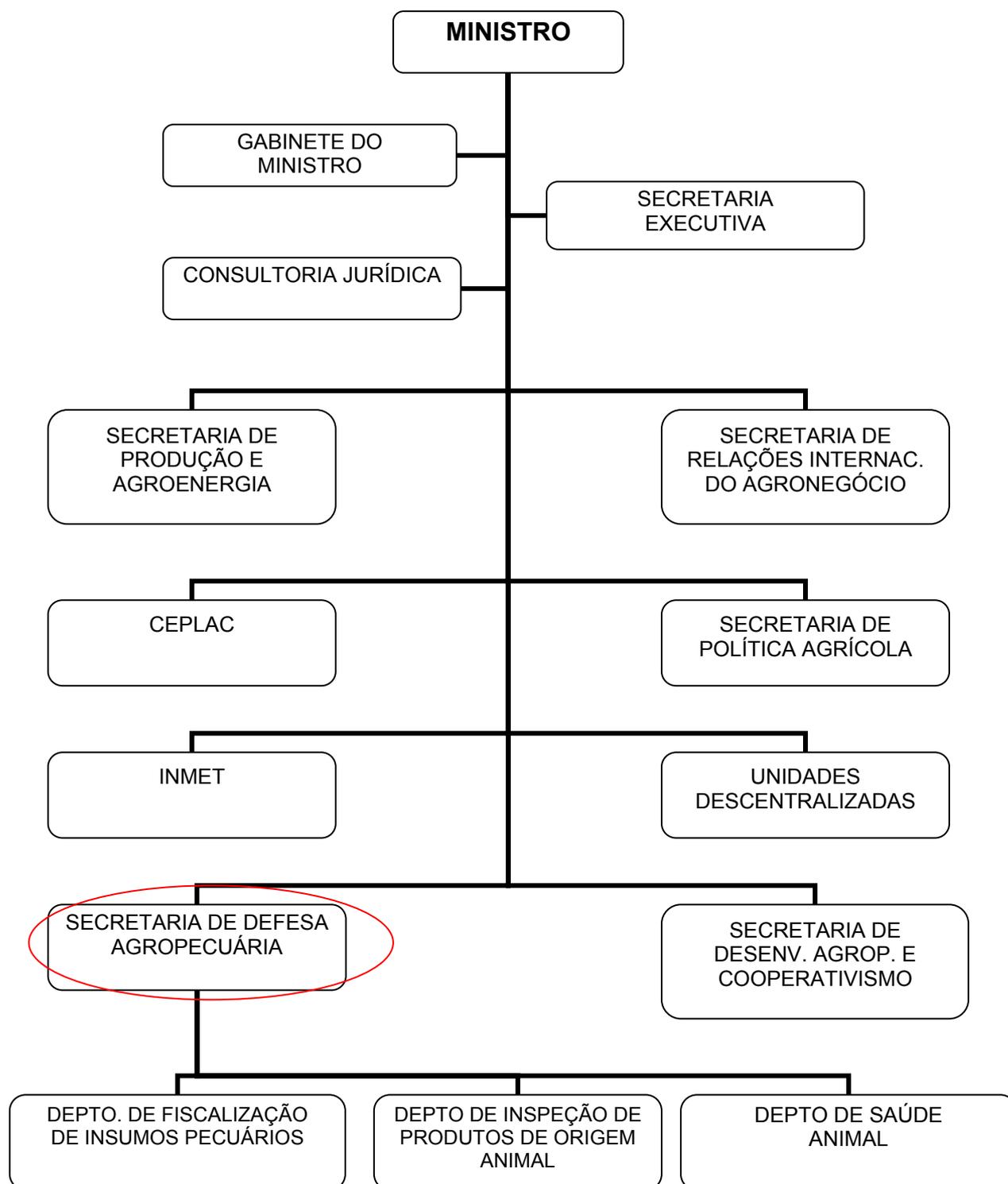


Figura 1 – Organograma sintético do Ministério da Agricultura
 Fonte: adaptado do organograma do Ministério da Agricultura (MAPA)

Segundo a legislação federal, lei nº 1283, de 18 de dezembro de 1950 do Ministério da Agricultura (MA), e com suas alterações e emendas de cunho tecnológico, a classificação de estabelecimentos de carne e derivados se estende a onze classes: 1-matadouros-frigoríficos; 2-matadouros; 3-matadouros de pequenos e médios animais; 4-charqueadas; 5-fábricas de conserva; 6-fábricas de produtos suínos; 7-fábrica de produtos gordurosos; 8-entrepósitos de carnes e derivados; 9-fábrica de produtos não comestíveis; 10-matadouros de aves e coelhos; 11-entrepósitos-frigoríficos (Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal - RIISPOA, Cap. I, art. 21).

Entende-se por *fábrica de conservas* o estabelecimento que industrializa a carne de variadas espécies de açougue, com ou sem sala de matança anexa, e em quaisquer dos casos seja dotado de instalações de frio industrial e aparelhagem adequada para o preparo de subprodutos não comestíveis (RIISPOA, Cap. I, art.21, § 5º).

Entende-se por *entrepósito de carnes e derivados* o estabelecimento destinado ao recebimento, guarda, conservação, acondicionamento e distribuição de carnes frescas ou frigorificadas das diversas espécies de animais de açougue, e outros produtos animais, dispondo ou não de dependências anexas para a industrialização, atendidas as exigências necessárias, a juízo do Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal (DIPOA). (RIISPOA, Cap I, art.21, § 7º).

As diversas classes de frigoríficos, segundo o Ministério da Agricultura, envolvem atividades que podem ser similares em alguns casos e em outros não, pois dependem da atividade produtiva executada individualmente pelo frigorífico para caracterização de sua água residuária. Assim, é seguro qualificar a água residuária por classe de frigoríficos, porém a quantificação da carga poluidora deve ser analisada caso a caso para que o processo da industrialização se torne mais eficiente.

3.2 Sistemas de tratamento utilizados em frigoríficos

Segundo Braile (1993), os processos de tratamento comumente usados na depuração dos despejos de matadouros e frigoríficos são:

- Processos anaeróbios;
- Sistemas de lagoas aeróbias;
- Lodos ativados e suas variações;
- Filtros biológicos de alta taxa;
- Discos biológicos rotativos (biodiscos).

Os *Processos anaeróbios* são bastante apropriados para depurar despejos provenientes de matadouros e frigoríficos, pois as altas cargas de DBO e sólidos em suspensão são requisitos básicos para o sucesso de um tratamento anaeróbio.

As *Lagoas aeróbias* são geralmente consideradas para tratamento, destacando-se dois tipos: lagoas aeradas mecanicamente e lagoas de estabilização. Elas são utilizadas com bons resultados operando com taxas entre 100 a 150 kg de DBO/ha.dia. Todavia, Braile (1993) alerta que após alguns anos de uso, ocorrem problemas de mau cheiro e eficiência na lagoa.

Lodos ativados é o processo mais eficiente e mais largamente utilizado nos matadouros e frigoríficos; no entanto, o sistema específico a ser escolhido dependerá do grau de tratamento desejado. Muitos matadouros utilizam lagoas anaeróbias para a redução da DBO, e um sistema de aeração ajusante das lagoas para remoção da DBO remanescente e nitrificação do nitrogênio amoniacal.

Os *Filtros biológicos de alta taxa* são filtros com recirculação cuja principal utilização em despejos de matadouros e frigoríficos é diminuir as cargas dos despejos e seus picos, suavizando as cargas de choque no sistema e propiciando uma redução inicial de DBO. Em muitos casos, esses dispositivos são usados antecedendo algum tipo de lodo ativado.

Biodiscos é um método empregado no tratamento de despejos de matadouros e frigoríficos. Consiste em discos rotativos que permitem a aderência dos organismos neles presentes, absorvendo o oxigênio do ar e inserindo-o ao meio, uma vez que parte do disco fica imersa e parte em contato com o ar. Braile (1993) sugere que esse processo seja utilizado como pré-tratamento para remoção de parte da DBO e equalização de fluxo em sistemas de lagoas anaeróbias ou em sistemas completamente aeróbios.

3.2.1 Considerações gerais

Quando se trata de processos de tratamento de efluentes líquidos, deve-se primeiramente caracterizar o efluente para que o processo definido seja eficiente e alcance o máximo de eficiência. Características peculiares demandam processos específicos, podendo haver ou não necessidade de processos preliminares. Porém, a demanda química e biológica de oxigênio (O_2) irá apontar o caminho a seguir para a definição do melhor processo de remoção da poluição, o qual se efetiva por meios físicos, químicos e biológicos.

Segundo Jordão (2005), processos físicos são processos onde há predominância dos fenômenos físicos de um sistema ou dispositivo de tratamento.

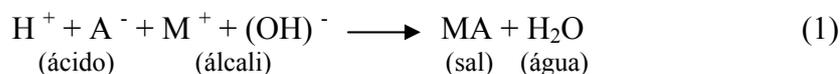
Esses fenômenos caracterizam-se pela remoção das substâncias que fisicamente são separáveis dos líquidos ou que não se encontram dissolvidas neles. Incluem-se, assim a remoção de sólidos grosseiros, de sólidos sedimentáveis (inclusive a remoção de areia que possa estar no efluente), de sólidos flutuantes (são tratamentos característicos, em nível preliminar, que objetivam a remoção de sólidos grosseiros) e o tratamento primário (visa à remoção de mais sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica).

Em função dessa remoção preliminar tem-se a remoção de sólidos grosseiros em suspensão, de sólidos sedimentáveis, de óleos e graxas, e sólidos flutuantes.

Os métodos de tratamento em que a remoção ou conversão de contaminantes é feita através da adição de compostos químicos ou por outras reações químicas são conhecidos como processos químicos de tratamento. Precipitação, adsorção, e desinfecção são os exemplos mais comuns de tratamentos de águas residuárias. A precipitação química tem sua aplicação para remoção do fósforo e aumento da remoção de sólidos suspensos por sedimentação primária. A adsorção aplica-se na remoção de compostos orgânicos não removidos pelos processos químicos convencionais e biológicos. A desinfecção aplica-se na destruição seletiva de microorganismos causadores de doenças, que pode ser combinada de várias formas: cloração, dióxido de cloro, luz ultravioleta, ozônio e outros sanitizantes (METCALF & EDDY, 1991).

Em tratamentos de despejos, os métodos químicos podem ser utilizados para removerem material coloidal, cor e turbidez, odor, ácidos, álcalis, metais pesados e óleos. A neutralização de despejos industriais pode ser necessária não só para se evitar o lançamento de águas ácidas ou alcalinas, como também por ser uma medida de proteção dos tratamentos biológicos. A legislação possui limites de pH não só para lançamentos diretos em corpos receptores, mas também para lançamentos em redes públicas coletoras de esgoto.

A reação fundamental de neutralização pode ser escrita conforme a equação 1:



Os sais formados podem ser solúveis ou insolúveis na água.

Em linhas gerais, os principais reagentes químicos utilizados para neutralização são:

- para despejos ácidos: cal, calcário, carbonato de sódio, soda cáustica, amônia e despejo alcalino.

- para despejos alcalinos: ácido sulfúrico, ácido clorídrico, dióxido de carbono, enxofre e despejo ácido.

O calcário ou calcário dolomítico são álcalis relativamente baratos. Todavia, são insolúveis em água e necessitam de contato direto com os despejos ácidos. A cal tem a tendência de formar lodos de sulfatos insolúveis, causando diminuição nas taxas de reação de neutralização. A soda cáustica que é o mais caro dos reagentes alcalinos, reage quase que instantaneamente e produz menos lodo. O ácido sulfúrico é o mais freqüente usado para neutralizar álcalis, o ácido clorídrico em comparação com o ácido sulfúrico é mais caro, corrosivo e volátil (BRAILE, 1993).

Os sistemas de tratamento biológico tiveram início histórico em meados do século XIX. Pesquisas registram como inventor das fossas sépticas Jean Louis Mouras que, em 1860, construiu um tanque de alvenaria onde eram coletados antes de serem encaminhados para um sumidouro, os esgotos, restos de cozinha e águas pluviais de uma pequena habitação em Veoul na França. O tanque, aberto 12 anos depois de sua construção, não apresentava acumulada grande quantidade de sólidos que foi previamente estimada em função da redução apresentada no efluente líquido do tanque (JORDÃO, 2005).

Posteriormente, com a finalidade de aumentar a eficiência dos esgotos nas fossas sépticas, foram desenvolvidos, em alguns países, modelos peculiares, especialmente na Inglaterra e Alemanha. Com o desenvolvimento tecnológico, a fossa séptica foi aperfeiçoada e deu origem a novos processos biológicos derivados e alternativos como reatores, filtros e sistemas de lagoas.

3.2.2 Remoção de sólidos grosseiros em suspensão

Crivos, grades, desintegradores e peneiras (ver Figura 2) são frequentemente utilizados para remoção dos sólidos, podendo também ser utilizadas peneiras rotativas para que os materiais com dimensões maiores sejam retidos e eliminados do efluente na fase do processo de tratamento. Na indústria frigorífica, geralmente ficam retidos nesta fase pedaços de carne, gordura, tripas dos animais abatidos e/ou processados e pequenos materiais que chegam ao sistema de tratamento por vias de lavagem de maquinários e pisos.



Figura 2 – Peneira para remoção de sólidos

3.2.3 Remoção de sólidos sedimentáveis

As caixas de areia e os decantadores ou desarenadores (ver Figura 3) são mecanismos de remoção das partículas com as maiores dimensões e densidades que constituem o efluente. As partículas de sedimentação mais lentas permanecem em suspensão, seguindo para as demais unidades do sistema de tratamento.



Figura 3 – Desarenador / Caixa de areia

3.2.4 Remoção de óleos, graxas e sólidos flutuantes

Os tanques de retenção de gordura (separador de água e óleo da Figura 4), tanques de flotação (flotadores por ar dissolvido), e decantadores com removedores de espuma são utilizados como tratamento primário para remoção de parte significativa dos sólidos em suspensão que passaram pelas grades, peneiras, caixas de areia e decantadores rápidos. Estes eliminam boa parte da fração orgânica, reduzindo a DBO do afluente ao tratamento secundário. Esses tanques de retenção de gordura podem ser retangulares ou circulares, de forma que o efluente passa vagarosamente por eles, permitindo que os sólidos ainda em suspensão, possuindo densidade maior que a do líquido circundante, sedimentem gradualmente, e que os materiais flutuantes (como óleos e graxas), tendo menor densidade, subam para a superfície dos tanques, podendo ser removidos para posterior tratamento ou disposição adequada.

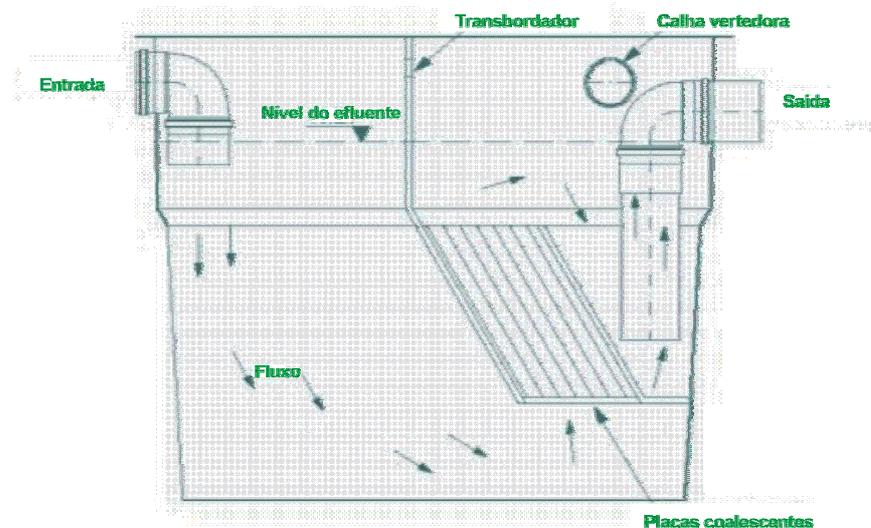


Figura 4 – Separador de água e óleo. (BIOFIBRA, 2007)

Tanques de precipitação química e filtros de areia podem também serem utilizados para remoção de material miúdo em suspensão, com boa eficiência de diminuição da DBO para tratamentos subseqüentes do processo.

3.2.5 Precipitação química

Para que as impurezas possam ser removidas, é preciso alterar algumas características da água e, conseqüentemente, das impurezas, por meio de coagulação, floculação, sedimentação/flotação e filtração (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

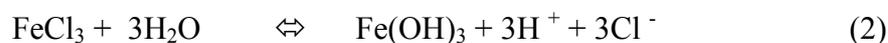
A coagulação, geralmente realizada por sais de alumínio e ferro, resulta de dois fenômenos: um químico, das reações do coagulante com a água, formando as espécies hidrolisadas que sofrerão ação da concentração do metal na mistura e do pH do meio; e outro físico que consiste no transporte destas espécies para que haja contato entre elas. Tal fenômeno é muito rápido e, nas estações de tratamento, é denominado de mistura rápida.

Segundo Di Bernardo & Dantas (2005), atualmente considera-se a coagulação como resultado individual ou combinado da ação de quatro mecanismos distintos: compressão da dupla camada elétrica; adsorção e neutralização; varredura e adsorção e formação de pontes.

As partículas coloidais apresentam cargas elétricas que produzem forças de repulsão. Ao desestabilizar essas cargas, as partículas coloidais se aglomeram progressivamente (os colóides presentes em águas geralmente possuem cargas negativas). A medida do potencial elétrico entre a superfície externa da camada compacta e o meio líquido em que se desenvolve é chamado de potencial zeta. Assim, coagular significa reduzir o potencial zeta a tal ponto que se consiga a união das partículas coloidais, produzindo flocos. A desestabilização de cargas é importante no mecanismo da varredura porque é o mais utilizado em processos de flotação, pois produzem flocos maiores e mais densos, facilitando a ação do sistema pela formação de precipitados do coagulante utilizado.

Através dos anos diferentes substâncias têm sido utilizadas como coagulantes. As mais comuns são: sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso e cal.

A reação do cloreto férrico dá-se inicialmente conforme a Equação 2. Na Figura 5 pode-se visualizar a região de melhor área de precipitação usualmente ocorrida em sistemas de tratamento de águas.



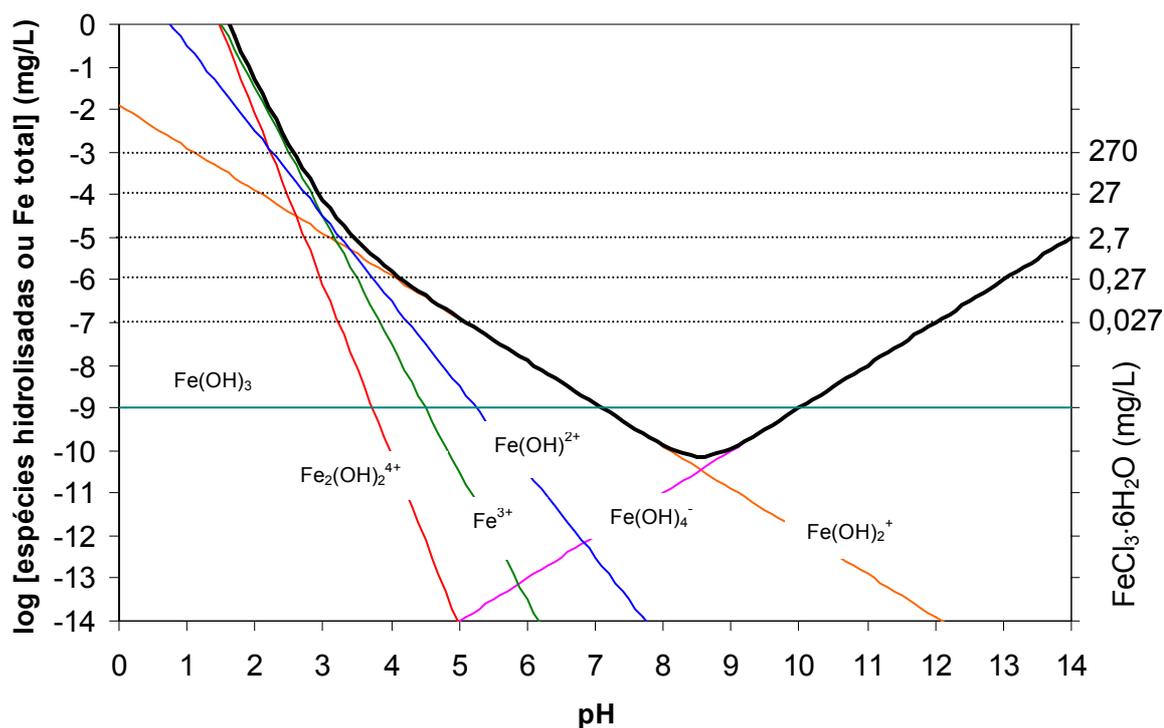


Figura 5 – Diagrama de solubilidade do ferro III relacionado com o cloreto férrico PA (DI BERNARDO et al., 2002)

A precipitação ocorre pelo hidróxido metálico formado que, em condições favoráveis, tendem a se agrupar e formar flocos, levando consigo os poluentes e tendendo ao fundo da câmara de decantação. A teoria da reação de precipitação química é bastante complexa. As reações tem sido apresentadas apenas em partes e não ocorrem necessariamente conforme indicadas (REYNOLDS & RICHARDS, 1995).

É possível, através de precipitação química, obter um efluente clarificado e substancialmente livre de matéria em suspensão ou em estado coloidal, reduzindo 80 a 90% do total de sólidos suspensos, 40 a 70% de DBO₅, 30 a 60% de DQO e 80 a 90% de remoção bacteriana através da precipitação química (METCALF & EDDY, 1991).

3.2.6 Flotação

A flotação caracteriza-se pela ascensão das partículas em suspensão, que foram coaguladas e floculadas em processos físico químicos, ou que simplesmente tenham alguma forma de agrupamento físico cujo tamanho seja suficiente para a aderência das microbolhas constituintes da água saturada com ar e sob pressão, a qual torna as partículas com menor massa específica do que o meio em que se encontram.

De modo geral, o efluente a ser tratado entra no flotador por tubulação, adicionado a uma quantidade pré-estabelecida (regulado por válvulas de esferas numa junção em Y do sistema) de efluente clarificado e com ar saturado sob pressão, oriundo da câmara de saturação (câmara onde ocorre a mistura e saturação do ar pressurizado ao efluente clarificado e recirculado do sistema), este processo é denominado de recirculação. Os flocos das partículas suspensas e o efluente de recirculação com ar saturado entram no flotador pela câmara de flotação, onde há distribuição uniforme na área superficial do flotador formando-se aí a manta de lodo sobrenadante.

A área superficial e o volume do flotador são calculados de maneira a reter o efluente com ar dissolvido, o tempo necessário para que as bolhas de ar consigam suspender a maior parte dos sólidos possíveis para a superfície do tanque, vencendo a força gravitacional sobre as partículas. Os raspadores mecânicos conduzem o material flotado para um compartimento de coleta, descartando o lodo do sistema.

O tempo de contato das microbolhas de ar e a permanência do efluente a ser flotado no interior do flotador, podem ser alterados controlando as vazões de entrada e saída do sistema. São parâmetros de projeto essenciais na construção de flotadores de ar dissolvido.

O processo de flotação apresenta várias vantagens tecnológicas de tratamento de águas residuárias com diferentes resultados e propósitos.

Reali et al. (2001) concluíram em seu trabalho que a flotação por ar dissolvido é uma alternativa eficiente para remoção de DQO e sólidos totais. Os autores operaram um sistema composto por reator UASB seguido de flotação. Utilizaram como coagulante o cloreto férrico e polímero catiônico como auxiliar de floculação. O resultado deste estudo mostrou que houve remoção de 75% de DQO, 47% de fosfato e 74% de sólidos solúveis totais após flotação, com dosagem de 65 mg/L de cloreto férrico, tempo de floculação de 15 minutos a um gradiente de floculação de 30 s^{-1} , e 7 mg/L de polímero catiônico. A flotação foi realizada utilizando uma taxa de aplicação de ar de 19 g/m^3 de efluente.

Silva et al. (2007) estudaram o efluente de um matadouro de bovinos com o objetivo de aumentar a capacidade de flotação de uma antiga unidade projetada. Concluiu em seus resultados que com o processo de flotação otimizado em bancada, foram obtidas eficiências de 78% de remoção de turbidez, 68% de remoção de óleos e graxas, e 53% de remoção de DQO. As condições estudadas neste trabalho foram: tempo de 1 min. para mistura rápida e gradiente de 250 s^{-1} , 5 min. de tempo de floculação e gradiente de 60 s^{-1} , e tempo de flotação de 5 min., coagulando com cloreto férrico na dosagem de 30 a 70 mg/L, e floculante a 2 mg/L. Silva destaca a necessidade de um tanque de equalização para garantir a eficiência do processo de remoção de poluição do efluente estudado, visto que a condição dinâmica de trabalho na indústria é prejudicial ao controle do processo de flotação com picos de vazão e carga poluidora durante o período de trabalho da indústria.

Schoenhals (2006) estudou a eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluentes de abatedouro avícola e concluiu que ele é altamente eficiente para remoção de parâmetros físico-químicos de águas residuárias de abatedouro avícola. Seus resultados atingiram 97% de remoção de turbidez, 90% de remoção de óleos e graxas, e 82% de remoção de DQO total, utilizando coagulantes comerciais (SF-PIX, CF-PIX, SF-LEMA e

PAC) e com taxa de aplicação de ar de $0,2 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ na câmara de flotação com o tempo de detenção na câmara de 110 s.

Giordano (2001) comenta que defeitos na construção de flotadores devem ser evitados para diminuir falhas operacionais no sistema. A presença de bolhas grosseiras de ar não dissolvido pode causar ineficiência no arraste e quebra de floculado. A relação de ar dissolvido e sólidos em suspensão não satisfeita pode ocasionar sedimentação e arraste de lodo. Tempo de retenção reduzido ou turbulência na câmara de flotação causa arraste de lodo e óleos e tempo de retenção excessivo na câmara de flotação também pode ocasionar sedimentação e arraste de lodo.

O efluente clarificado e a parte que será utilizada na recirculação são retiradas do sistema na parte mais inferior possível, onde há a porção mais clarificada do efluente, em virtude da condução dos sólidos pelas bolhas de ar dissolvidas. A Figura 6 mostra o início do funcionamento de um flotador de ar dissolvido.



Figura 6 – Flotador de ar dissolvido em início de funcionamento

Os desenhos estruturais de um flotador variam conforme o fabricante, porém, os parâmetros de projeto devem ser respeitados de forma a evitar problemas de operação como alguns descritos acima e comentados por Giordano (2001). Vazão de entrada no flotador,

recirculação, câmara de saturação de ar, pressão do ar na entrada da câmara de saturação, câmara de flotação, raspagem do lodo, saída do efluente clarificado são parâmetros que definem a eficiência ou ineficiência de um flotador por ar dissolvido.

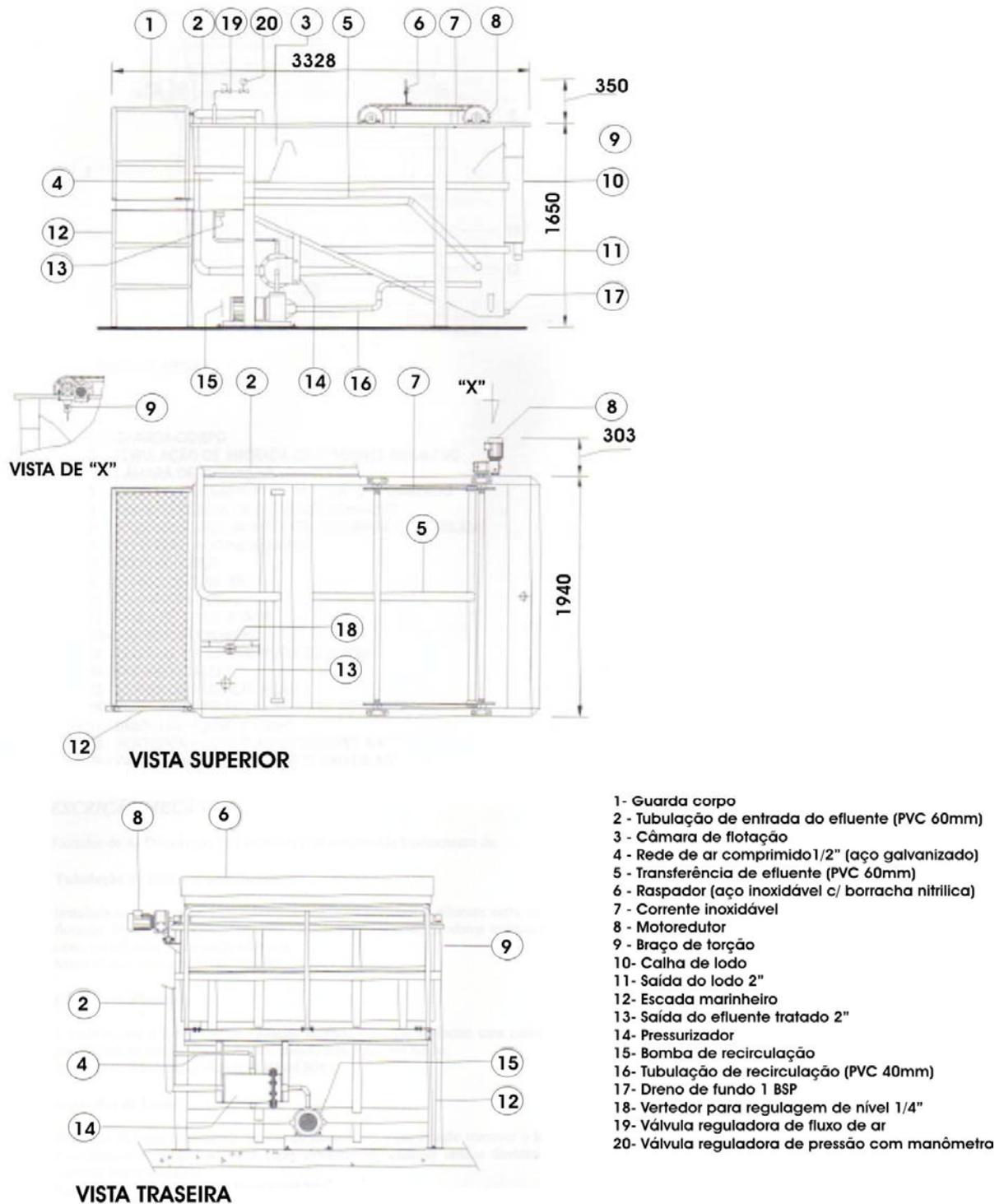


Figura 7 – Flotador de ar dissolvido (TECNOSAN MFAD-05, 2001)

A principal vantagem da flotação sobre a sedimentação é que as partículas finas e menores que sedimentam vagorosamente no sistema podem ser removidas por completo em um curto espaço de tempo. Uma vez as partículas terem sido flotadas para a superfície, elas podem ser coletadas por raspagem (METCALF & EDDY, 1991).

Segundo Rubio & Matiolo (2003), a flotação depende das características superficiais/interfaciais do sistema partículas e bolhas. A flotação de partículas em suspensão é, portanto, um fenômeno cinético composto por diversas etapas ou micro-fenômenos.

Durante o processo de flotação, os fenômenos que envolvem a hidrodinâmica do sistema, como a adesão das bolhas às partículas e seu movimento devem ocorrer de modo que haja a maior interação possível no sistema bolha de ar/partícula. Como demonstra a Figura 8, a captura das partículas floculadas depende de fatores para sua interação, em que o diâmetro da bolha (d_b) e o diâmetro da partícula (d_p) são relações primordiais para a eficiência do fenômeno colisão/adesão.

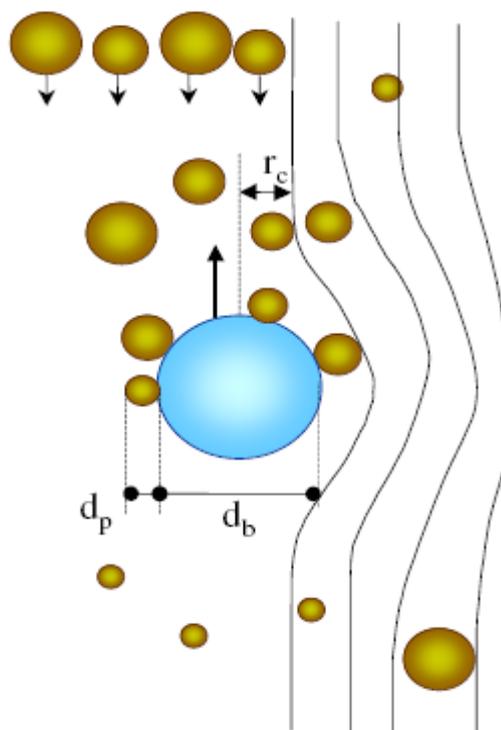


Figura 8 – Fenômeno de captura (colisão+adesão) de partículas de diâmetro d_p , por bolhas de diâmetro d_b dentro de um raio crítico r_c (RUBIO & MATIOLO, 2003)

Portanto, a captura das partículas flotadas aumenta com a diminuição do tamanho das bolhas e com o aumento do tamanho das partículas, que depende do fluxo da área superficial das bolhas disponível, de parâmetros hidrodinâmicos (peso no campo gravitacional, pressão hidrostática e capilaridade, tensão, compressão e forças de cisalhamento), fatores termodinâmicos associados à interação hidrofóbica entre as bolhas e partículas e de fatores cinéticos como a energia mínima de colisão para destruir a camada líquida da água que antecede a adesão (Figura 9).

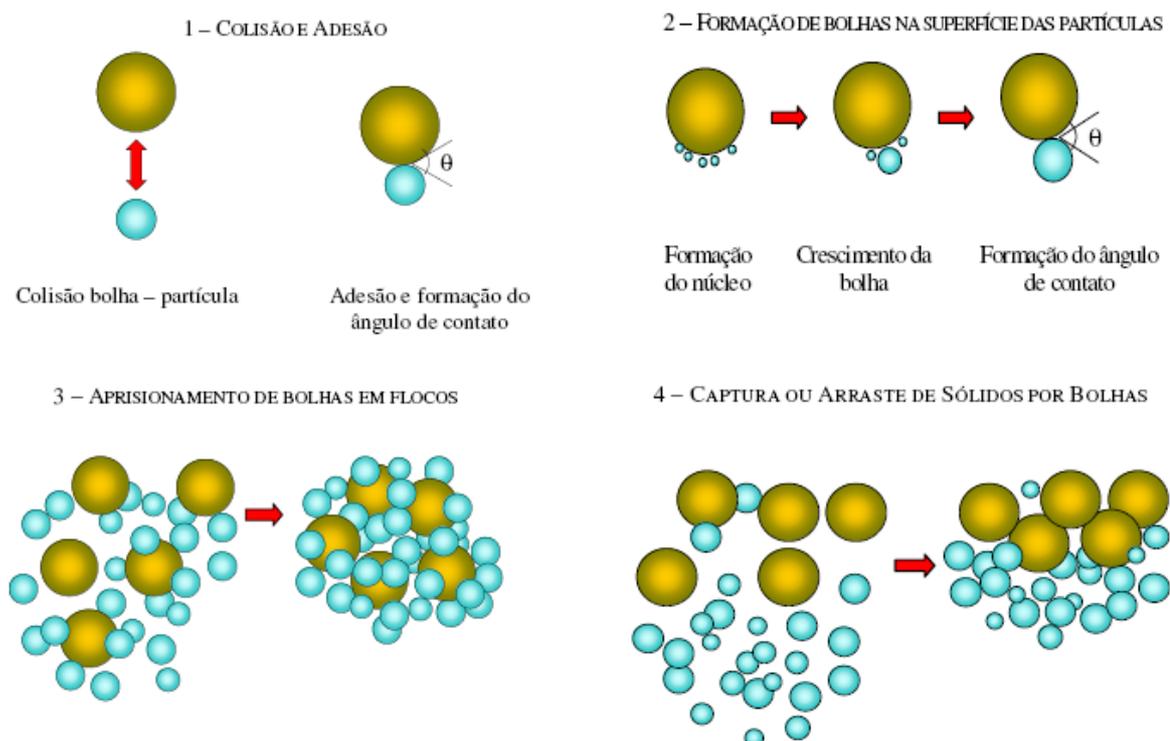


Figura 9 – Fenômenos de colisão(1), adesão(2), nucleação(3) e captura de partículas e agregados por microbolhas (RUBIO et al apud SENA, 2005)

A câmara de compressão onde haverá a incorporação do ar comprimido ao meio líquido formando a recirculação do sistema, deve levar a produção de bolhas com o menor diâmetro possível, devido à maior probabilidade de bolhas de diâmetros menores aderirem à superfície do sólido, visto que bolhas relativamente grandes tendem a, dificilmente, aderirem

a sua superfície, ocorrendo muitas vezes, a destruição dos flocos pré-formados na agregação das partículas coaguladas.

3.2.7 Remoção de nitrogênio e fósforo

O nitrogênio está presente no efluente industrial da indústria frigorífica em grande escala, pois a matéria orgânica proteica é abundante nesse elemento químico.

Nos esgotos pode-se encontrar o nitrogênio nas formas orgânico, amoniacal, nitrito, nitrato ou gás nitrogênio (Figura 10). Ele é importante para o tratamento de efluente industrial, cuja presença é necessária em processos biológicos, principalmente nos processos aeróbios.

Segundo Jordão (2005), no caso do processo de lodos ativados, requer-se uma relação ótima de 100:50:1 (DBO:N:P).

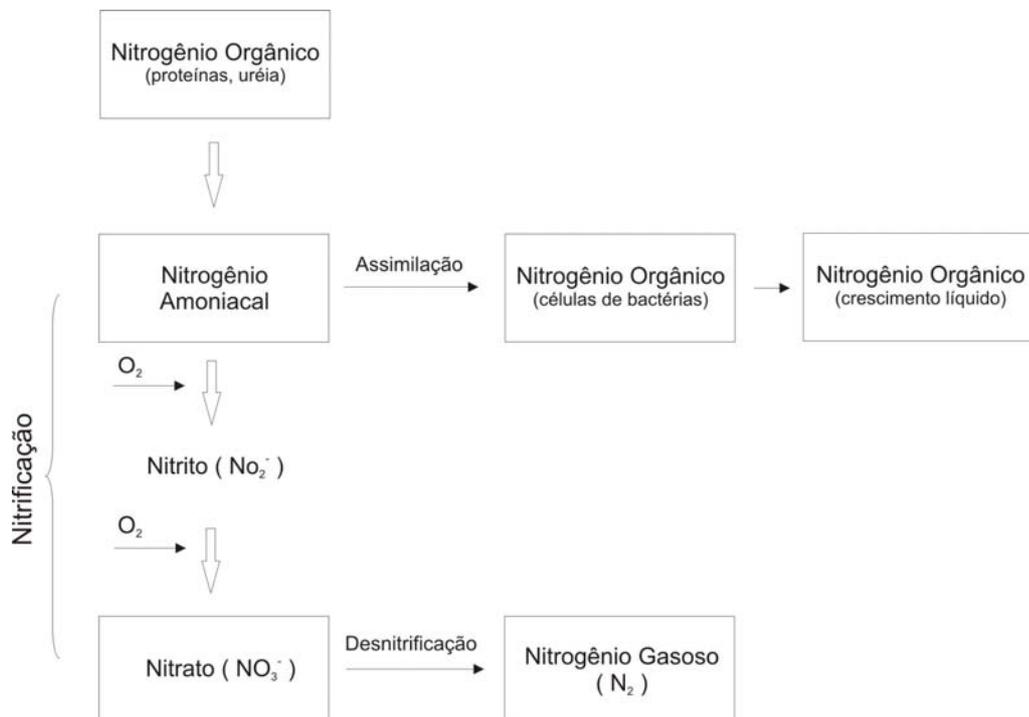


Figura 10 – Transformação do Nitrogênio em processos biológicos (JORDÃO, 2005)

No entanto, o desbalanceamento dos elementos no processo pode acarretar problemas ao sistema e ocasionar aumento excessivo de algas, desestabilizando o processo de depuração. Se o nitrogênio for lançado em corpos receptores sob forma amoniacal, é tóxico a vida aquática principalmente aos peixes. Daí, a necessidade de seu controle e remoção no processo de tratamento do efluente. A Tabela 1 mostra as formas de nitrogênio encontradas em águas residuárias.

Tabela 1 – Formas de Nitrogênio

Forma de Nitrogênio	Abreviação	Definição
Gás Amônia(*)	NH ₃	NH ₃
Íon Amônia(*)	NH ₄ ⁺	NH ₄ ⁺
Nitrogênio Amoniacal Total	NAT	NH ₃ + NH ₄ ⁺
Nitrito	NO ₂ ⁻	NO ₂
Nitrato	NO ₃ ⁻	NO ₃
Nitrogênio Inorgânico Total	NIT	NH ₃ + NH ₄ ⁺ + NH ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻
Nitrogênio Total Kjeldahl (**)	NTK	N orgânico + NH ₃ + NH ₄ ⁺
Nitrogênio Orgânico	N Org.	NTK – (NH ₃ + NH ₄ ⁺)
Nitrogênio Total	NT	N orgânico NH ₃ + NH ₄ ⁺ + NH ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻

(*) Predominância de uma ou outra forma de acordo com o pH.

(**) ou Nitrogênio Kjeldahl

Fonte: JORDÃO (2005)

O fósforo, presente nos efluentes sob forma orgânica e inorgânica, é elemento indispensável no tratamento biológico, pois promove a estabilização da matéria orgânica presente nos esgotos sanitários e industriais.

Segundo Von Sperling (1996a), na água o fósforo se apresenta principalmente nas seguintes formas: ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico.

Os ortofosfatos são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico.

Os polifosfatos são moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo.

Transformam-se em ortofosfatos pelo mecanismo de hidrólise.

O fósforo orgânico é normalmente de menor importância nos esgotos domésticos típicos, mas pode ser importante em águas residuárias industriais e lodos oriundos de tratamento de esgotos.

Segundo Von Sperling (1996b), O fósforo é um nutriente essencial para o crescimento de algas, podendo por isso, em certas condições, favorecer a fenômenos de eutrofização em lagos e represas, bem como em filtros biológicos.

A remoção do fósforo dá-se a partir de processos biológicos ou químicos.

Segundo Metcalf & Eddy (1991), muitos dos processos biológicos para a remoção do fósforo são uma combinação no sistema de lodos ativados, de zonas anaeróbicas, anóxicas e aeróbicas.

A adição de certos compostos químicos nas águas residuárias produz sais insolúveis ou de baixa solubilidade quando combinados com fosfatos (Tabela 2). Os principais compostos químicos usados são alumínio, cloreto férrico, sulfato férrico e cal.

Polímeros também têm sido usados efetivamente em conjunto com os coagulantes, a fim de se obterem flocos maiores, destacando-se: polímeros aniônicos e não aniônicos, polímeros catiônicos e policátions.

Tabela 2 – Precipitação do fósforo com cal, alumínio e ferro

Reação	Espécies químicas no lodo
Cal	
$5 \text{Ca}^{+2} + 3 \text{PO}_4^{-3} + \text{OH}^- \Leftrightarrow \text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$	$\text{Ca}_5 (\text{PO}_4)_3 (\text{OH})$
$\text{Mg}^{+2} + 2 \text{OH}^- \Leftrightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2$	$\text{Mg}(\text{OH})_2$
$\text{Ca}^{+2} + \text{CO}_3^{-2} \Leftrightarrow \text{CaCO}_3$	CaCO_3
Alumínio	
$\text{Al}^{+3} + \text{PO}_4^{-3} \Leftrightarrow \text{AlPO}_4$	AlPO_4
$\text{Al}^{+3} + 3 \text{OH}^- \Leftrightarrow \text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{Al}(\text{OH})_3$
Ferro	
$\text{Fe}^{+3} + \text{PO}_4^{-3} \Leftrightarrow \text{FePO}_4$	FePO_4
$\text{Fe}^{+3} + 3 \text{OH}^- \Leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$

Fonte: METCAF & EDDY (1991)

3.2.8 Reatores

Os digestores anaeróbios têm sido utilizados largamente no tratamento de resíduos sólidos, em culturas agrícolas e em muitas outras atividades humanas. No tratamento de esgotos e efluentes industriais tem-se notado um enorme crescimento na utilização da tecnologia anaeróbia.

Segundo Chernicharo (1997), nos sistemas aeróbios ocorre apenas cerca de 40 a 50% de degradação biológica com conseqüente conversão em CO₂ e uma enorme incorporação da matéria orgânica como biomassa microbiana. Nos sistemas anaeróbios, verifica-se que a maior parte do material orgânico biodegradável é convertido em biogás (cerca de 70 a 90%). Este biogás é removido da fase líquida do reator e deixa o sistema através de coletores (ver Figura 11). Apenas uma pequena parte do material orgânico é convertido em biomassa microbiana.

No Brasil são utilizadas várias terminologias para a identificação de reatores anaeróbios, como: DAFA (Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente); RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente); RALF (Reator Anaeróbio de Leito Fluidificado); RAFAALL (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente Através de Leito de Lodo).

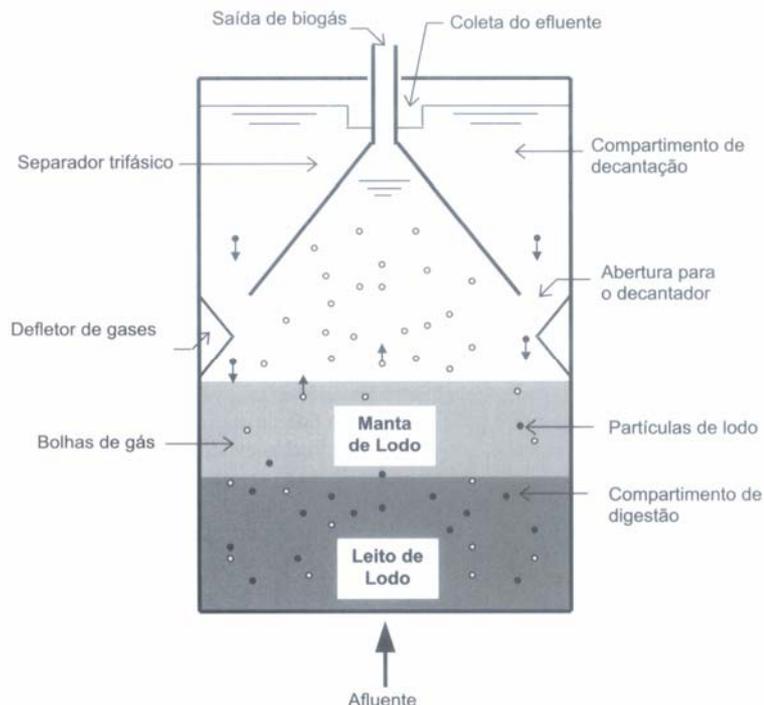


Figura 11 – Reator UASB (JORDÃO, 2005)

Segundo Jordão (2005), um reator anaeróbio contém as seguintes características:

- câmara de digestão – localiza-se na parte inferior do reator, é o compartimento de digestão onde está situada a manta ou leito de lodo;
- separador de fases – Caracteriza em uma zona de sedimentação e uma câmara de coleta de gases, separando a fase sólida, da manta de lodo, da líquida e gasosa;
- zona de transição – entre a câmara de digestão e a zona de sedimentação superior;
- zona de sedimentação – parte do reator onde ocorre a sedimentação dos sólidos e flocos;
- zona de acumulação de gás – Parte onde é coletado o gás produzido no reator.

Segundo Jordão (2005) tempos de 6 a 9 horas são aplicados a reatores com esgoto doméstico. Um bom projeto de um reator anaeróbio costuma ter eficiência de remoção de 65% de DQO e 70% de remoção de DBO.

3.2.9 Filtros

3.2.9.1 Filtro Biológico

Segundo Jordão (2005, p. 461) “inicialmente, as unidades do filtro biológico eram construídas por tanques, cheios de pedregulhos, onde os esgotos eram retidos por algum tempo, estabelecendo-se um ciclo operacional de enchimento e esvaziamento”. Porém, com a evolução dos modelos de filtros biológicos, hoje em dia usa-se modelos de fluxo contínuo, eliminando as manobras do funcionamento intermitente.

O mecanismo de funcionamento dos filtros é caracterizado pela alimentação e percolação contínua do esgoto através de meio suporte (ver Figura 12). A continuidade da passagem nos interstícios promove o crescimento e a aderência da massa biológica na superfície do meio suporte. As condições aeróbicas necessárias à reação bioquímica aeróbia exigem ampla ventilação através dos interstícios. Nessas condições, a massa biológica agregada ao meio suporte retém a matéria orgânica contida no esgoto através do fenômeno de adsorção (ver Figura 13).



Figura 12 – Filtro biológico com leito de pedra (JORDÃO, 2005)

Condições favoráveis à adsorção da matéria orgânica pelas bactérias aeróbias e anaeróbias e a preservação de um ambiente úmido e ventilado garantem a oxidação dos compostos.

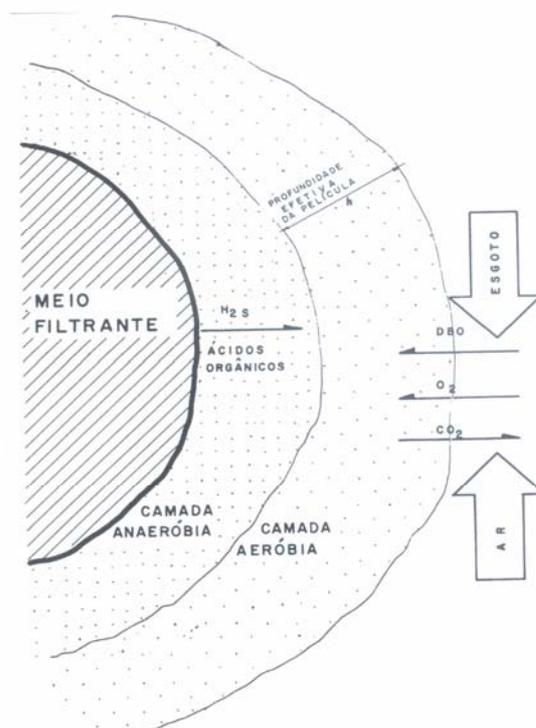


Figura 13 – Representação do processo de filtração Biológica (JORDÃO, 2005)

Na Figura 14 é apresentada o desenho estrutural de um reator biológico.

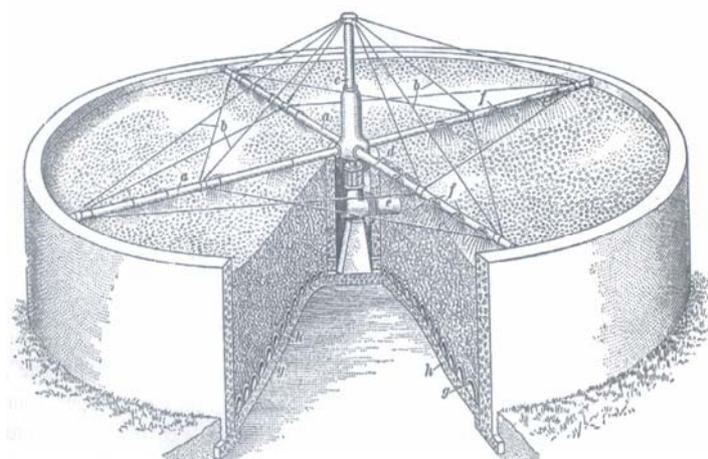


Figura 14 – Componentes do filtro biológico (JORDÃO, 2005)
a)-braço do distribuidor; b)-tirantes de sustentação; c)-coluna de alimentação; d)-engrenagem; e)-tubulação afluyente; f)-distribuição do esgoto; g)-dreno do afluyente e h)-haste

3.2.9.2 Filtro Biológico Anaeróbio

O filtro anaeróbio ascendente é basicamente uma unidade de contato, na qual os esgotos passam através de uma massa de sólidos biológicos contida dentro do reator. A biomassa no reator pode se apresentar de três formas: na forma de uma fina camada de biofilme aderidos à superfície do material suporte; na forma de biomassa dispersa, retida nos interstícios do material suporte; na forma de flocos ou grânulos retidos no fundo falso, abaixo do material suporte (CHERNICHARO, 1997).

Os filtros anaeróbios podem ser construídos de forma cilíndrica ou retangular, com tanques variando de largura de 6 a 26 m, e altura de 3 até cerca de 13 m. Seus volumes têm variado de 10 a 10.000 m³, e os meios suporte ocupam de 50 a 70% da altura dos tanques.

A norma Brasileira NBR 7229/82 estabelece diretrizes para construção de filtros anaeróbios para pós-tratamento de fossas sépticas. Para efluentes industriais os filtros devem ser dimensionados e projetados a partir de estudos específicos, levando em consideração todas as variantes do processo para conseguir a eficiência máxima do projeto e adequação a legislação.

Young (1991) apud Chernicharo (1997) reuniu dados operacionais de diversos filtros anaeróbios e correlacionou-os estatisticamente, objetivando a determinação de parâmetros que mais influenciavam a performance do sistema. Dentre os parâmetros analisados nos testes de regressão linear de variáveis múltiplas foram escolhidos: tempo de detenção hidráulica, concentração do esgoto, área superficial do meio suporte, declividade das placas corrugadas do meio suporte e carga orgânica.

Os estudos estatísticos indicaram que o tempo de detenção hidráulica foi o que mais influenciou para se chegar a eficiência de remoção de DQO do sistema, tanto para reatores empacotados com meio sintético quanto para reatores com pedras.

A velocidade superficial, além do tempo de detenção hidráulica, é geralmente na ordem de 2 m/h para evitar arraste ou perda de sólidos no efluente. Processos físicos ou físico-químicos podem ser utilizados pós-filtro antes do descarte ou disposição final do efluente.

Estudos têm sido contemplados com boa eficiência utilizando flotores de ar dissolvido FAD ou filtros de areia para a disposição final. Tonetti (2004), utilizou filtros de areia como pós-tratamento de filtro anaeróbio em esgoto doméstico, com eficiência de remoção de até 90% na DBO ascendente.

3.3 Legislação

A política nacional de proteção do meio ambiente é competência do Ministério do Meio Ambiente (MMA), com suas secretarias, colegiados e autarquias que desempenham funções distintas e específicas dentro do SISNAMA. A Figura 15 mostra o organograma do MMA.

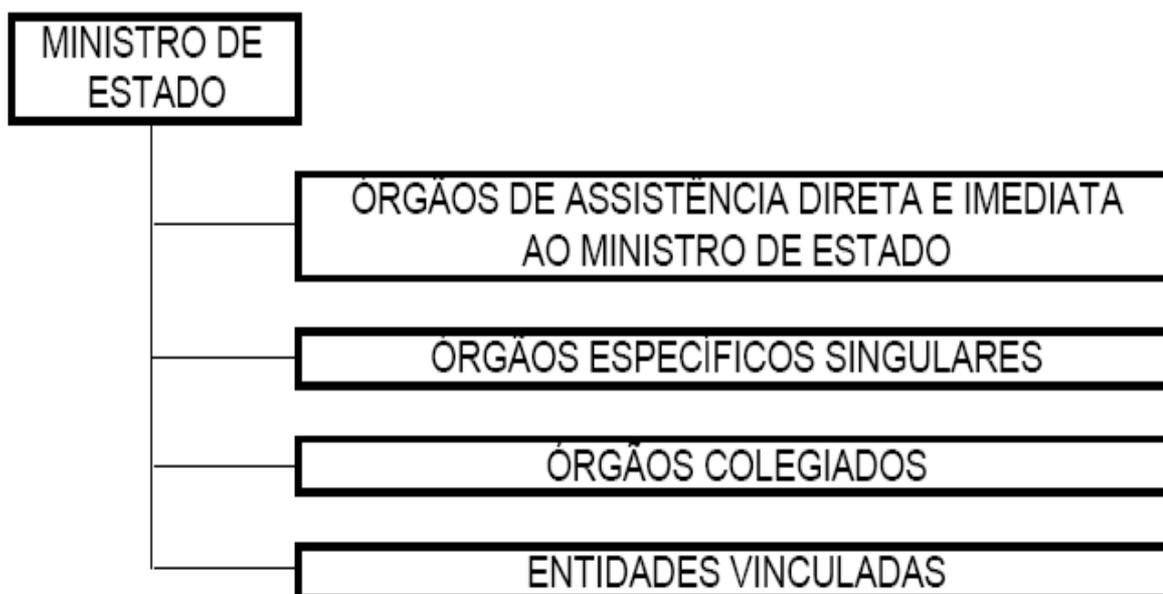


Figura 15 - Organograma do Ministério do Meio Ambiente
Fonte: adaptado do Ministério do Meio Ambiente

Sobre a legislação ambiental relacionada à qualidade das águas destacam-se: Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997, que institui a política nacional de recursos hídricos; Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 357 de 17 de março de 2005, que dispõe a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes e dá outras providências; Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, e Decreto Estadual nº 8.468 de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e controle da poluição do meio ambiente no estado de São Paulo.

O Decreto Estadual nº 8468 de 8 de setembro de 1976 dá competência a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), na qualidade de órgão delegado pelo governo do estado de São Paulo, para a aplicação das leis e dispõe sobre a prevenção e controle do meio ambiente, classificando e responsabilizando os emissores quanto ao lançamento efluentes industriais no meio ambiente.

A seção II, do capítulo II (anexo I) do Decreto Estadual nº 8468 de 8 de setembro de 1976 trata padrões de emissão relativas ao lançamento de efluentes industriais a redes coletoras públicas que tenham condições de receber tais efluentes e normatiza estes lançamentos para que não haja prejuízos ao sistema e risco ao meio ambiente.

Cabe ao emissor direto a responsabilidade do descarte, e ao emissor indireto a corresponsabilidade no que lhe couber concernente à contaminação lançada na rede.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Nos itens a seguir serão apresentados o fluxograma de trabalho, os equipamentos e produtos químicos, os métodos analíticos, o levantamento de dados de produção, o diagnóstico do sistema e os ensaios de flotação em bancada.

4.1 Fluxograma do Trabalho

O trabalho foi desenvolvido em 3 etapas: levantamento de dados; diagnóstico do sistema de tratamento e ensaios de bancada, conforme Figura 16.

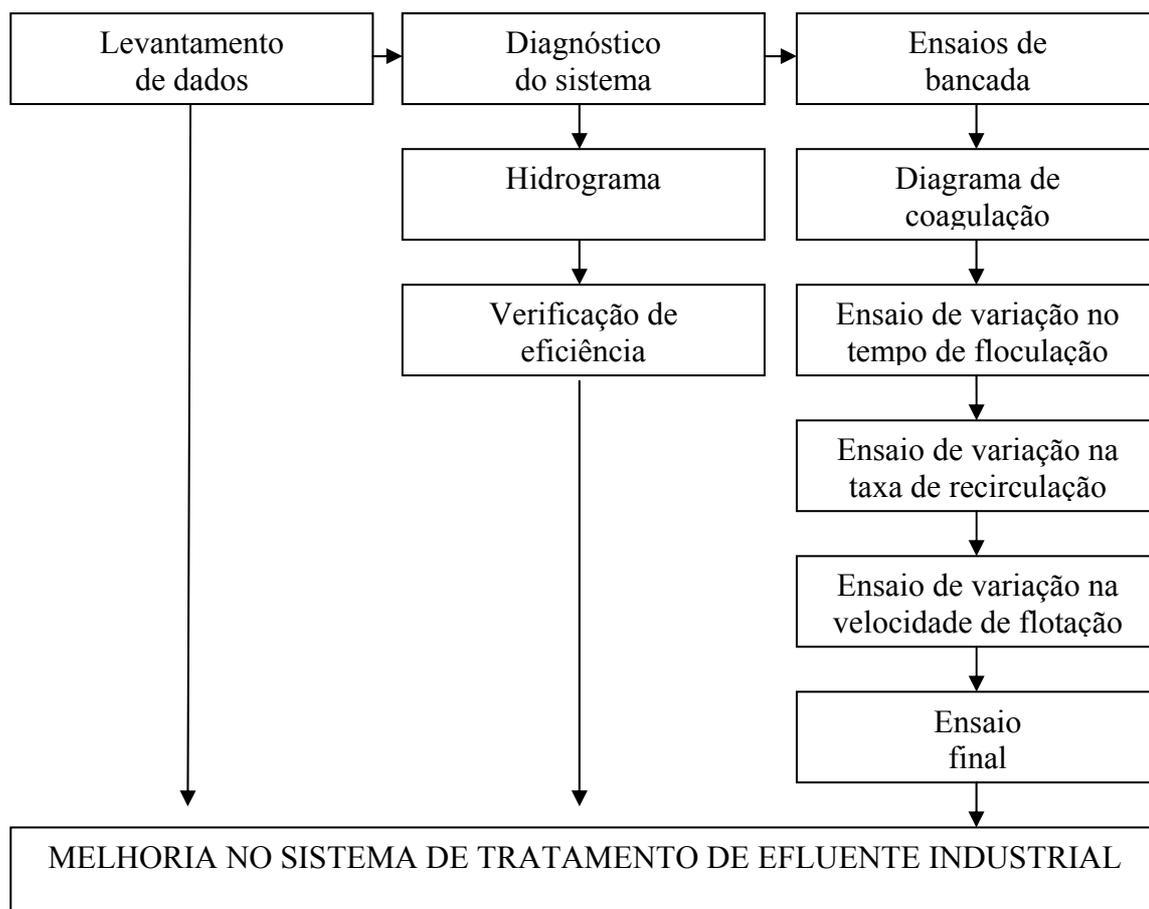


Figura 16 - Fluxograma das etapas do trabalho

4.2 Equipamentos e Produtos Químicos

Os equipamentos e produtos químicos utilizados neste trabalho foram:

- Hidróxido de sódio (97%), solução preparada a 20% p/v;
- Cloreto Férrico PA, solução a 50 g/L;
- Turbidímetro marca Hach, modelo 2100P;
- Potenciostato com eletrodo de vidro combinado marca Orion modelo 230 A;
- Aparelho de extração de óleos e graxas Soxhlet;
- Espectrofotômetro Hach modelo DR-2000;
- Reator para DQO Hach;
- Estufa de secagem Fanem;
- Forno mufla Fanem;
- Estufa para incubação de DBO fanem;
- FLOTESTE – ÉTICA composto por 3 jarros em acrílico (Figura 17).



Figura 17 – Floteste 1) Mangueira de entrada de ar comprimido 2) Regulador de pressão 3) Equalização de pressão na câmara de saturação 4) Manômetro 5) Válvula de alívio de pressão 6) Registro de entrada de ar comprimido na câmara de saturação 7) Mangueira de saída de água de recirculação 8) Câmara de saturação 9) Agitadores 10) Cubas 11) Coletor de amostras 12) Mangueira de descarte de água de recirculação 13) Recipientes para coleta de amostras.

4.3 Métodos Analíticos

Os métodos analíticos foram realizados de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21ª edição (2005)*. Os parâmetros seguem conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros de análise, metodologia APHA

Parâmetros	Unidade	Metodologia APHA
pH	Adimensional	Potenciometria
Turbidez	uT(NTU)	Neftelométrico
Sólidos	mg/L	Gravimetria
Óleos e graxas	mg/L	Gravimétrico com extração em N-Hexano
Fósforo	mg/L	Espectrofotometria
Nitrogênio	Mg/L	Kjedahl
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	mg/L O ₂	Espectrofotometria
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	mg/L O ₂	Potenciométrico

4.4 Diagnóstico do Sistema

O diagnóstico do sistema foi proposto para avaliar a eficiência do tratamento do efluente nas diferentes etapas: entrada no sistema, tanque de equalização, flotor e filtro anaeróbio. São os pontos principais de análise do sistema.

O efluente no tanque de equalização foi coletado por método de amostra simples, localizado após o gradeamento e caixa de areia. Para o diagnóstico do sistema, as amostras coletadas em horários específicos foram acondicionadas em tambores plásticos com capacidade de 60 litros com tampa, mantidos a temperatura ambiente até o dia seguinte e transportados até o local de análise laboratorial para os ensaios de caracterização, conforme o tempo de coleta.

4.5 Levantamento de Dados de Produção

A indústria produz basicamente 3 classes de produto industrializado: cortes de carnes in natura, cortes de carnes temperadas e embutidos frescos ou cozidos, que lançam resíduos no sistema, além do esgoto sanitário.

Os cortes de carne geram resíduo sólido de restos de carnes e sangue que caem no chão e vão para o sistema na hora da lavagem; as carnes temperadas geram resíduos de salmoura contendo grandes concentrações de sais, gordura e suco celular dissolvido; e, os embutidos geram resíduo sólido de gordura e proteína (sangue) e sais provenientes do processamento de temperos.

Foi feito um levantamento de dados de produção da empresa, pela característica do grupo de produto produzido para tentar classificar o resíduo gerado e lançado no sistema durante um ano. O objetivo foi verificar a possibilidade da ocorrência de linearidade de

produção dos grupos de produtos geradores de poluição no período de setembro de 2006 a agosto de 2007.

4.6 Descrição do sistema

O sistema é composto por fossa séptica de câmara dupla com capacidade volumétrica de 3 m³ e tempo de detenção hidráulica estimado em 48 a 72 horas. A fossa séptica recebe apenas carga dos banheiros e vestiários da unidade fabril, cujo efluente é lançado no sistema de tratamento.

O efluente industrial e o esgoto sanitário são recebidos numa caixa de 0,1 m³ com duas peneiras estáticas seqüenciais com orifícios de 6 e 4 mm de diâmetro. Em seguida, seguem no sistema por tubulação de PVC de 6” e passam por uma caixa de passagem e entram numa canaleta de 20 cm de largura com dupla passagem e peneiras estáticas com orifícios de 3 mm de diâmetro, para seguirem às caixas de areia com peneiras contendo orifícios de 2mm de diâmetro em sua saída. O efluente total passa então por uma calha Parshall de 2” de garganta, antes de entrar nos tanques de equalização e decantação em série, com capacidade útil de 16,6 m³ cada. Os tanques têm controladores de nível automático que são ligados direto ao sistema que aciona o flotor de ar dissolvido (ver Figura 18). O flotor foi projetado para uma vazão máxima de 5 m³/h, tendo seu pressurizador alimentado por ar comprimido a 3 bar de pressão contínua, com 100% de recirculação e raspadores mecânicos de superfície. O lodo raspado na superfície é recolhido em bombonas plásticas, e depois de ter sido drenado é descartado no aterro sanitário municipal. O efluente após a flotação segue para o filtro anaeróbio com leito de pedra e volume útil de 105 m³, que recebe uma vazão média de 35 m³.dia⁻¹ de efluente flotado, atingindo tempo de detenção hidráulica médio no filtro de 3 dias.

Na saída do filtro, o efluente é recolhido em um tanque de saída com bomba automática, acionada por controlador de nível, que lança o efluente tratado na rede municipal de esgoto.



Figura 18 - Flotador em funcionamento

A Figura 19 mostra o croqui do sistema de tratamento da indústria de processamento de carnes não associada ao abate.

O sistema entrou em funcionamento em 2001. Foi projetado inicialmente para receber cargas de poluição de uma produção que se dividia na época em 50% para produtos salgados e 50% para os demais produtos produzidos.

O lay-out do sistema de tratamento construído foi suficiente na época, para amenizar o impacto na recepção de cloretos e sódio no sistema, devido à lavagem de carnes salgadas em determinados horários de produção.

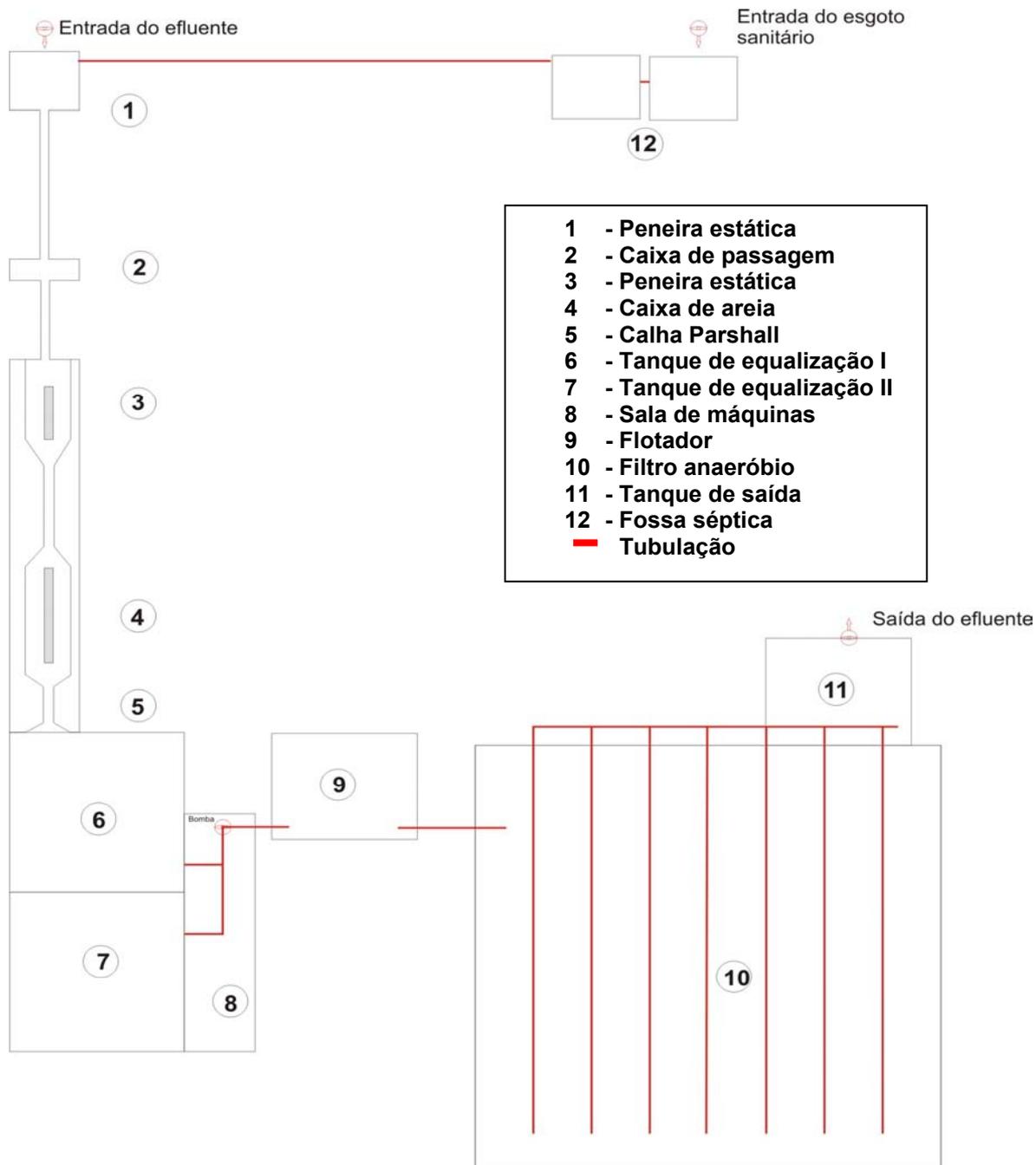


Figura 19 – Esquema do sistema de tratamento

4.6.1 Verificação da eficiência do sistema de tratamento

A partir do conhecimento das cargas poluidoras nas etapas dos processos de tratamento do efluente, foi feita uma avaliação representativa nos 6 dias da semana para a

entrada diária de poluição nos parâmetros de DQO, série de sólidos e fosfato, a fim de conhecer a característica do efluente em estudo.

Foi avaliado durante cinco dias de produção, em intervalos de duas horas durante o período de funcionamento diário da indústria, a carga de entrada de poluição no sistema. As amostras foram coletadas e acondicionadas em bombonas plásticas com capacidade de 60 litros, conservadas sob refrigeração de até 4°C até o transporte para o laboratório de análises. Os parâmetros analisados foram pH e DQO.

Também foi avaliada por cinco dias de produção, as etapas do funcionamento do sistema a partir da entrada, em intervalos de duas horas, para verificação da carga poluidora média de entrada no sistema nos seus diferentes pontos e em horários distintos de produção e limpeza da indústria. Os parâmetros escolhidos para avaliação foi o pH e a DQO.

Os dados desta última avaliação foram agrupados, para visualizar uma eficiência média de remoção nas fases do tratamento, a fim de avaliar a eficiência da remoção da carga poluidora destes pontos.

4.6.2 Hidrograma de vazão

Foi medida a vazão do sistema para verificação da carga diária a ser tratada. Pelo fato da calha Parshall existente no sistema de tratamento (garganta de 2") não possibilitar as leituras de vazão do efluente (vazão máxima do efluente não atinge o nível mínimo para leitura de vazão na calha), foi construído um vertedor triangular para medição da vazão, que permitiu sua medição durante o período de estudo. O vertedor foi construído em chapa de aço inox de 2 mm, com abertura de 30° para medição da vazão.

A figura 20 mostra o vertedor triangular na entrada da calha Parshall, que antecede o tanque de equalização (ver Figura 21), com espaço suficiente para queda livre do líquido

vertido, a partir do qual foram feitas as medições com leitura direta da altura da lâmina d'água em régua, instalada na parede da câmara de entrada a 30 cm do vertedor.

As leituras foram feitas a cada 30 minutos durante todo o dia de trabalho. O cálculo da vazão foi feito conforme a Equação 13:

$$Q = 1,4 \times (\text{Tg } \Theta/2) \times h^{5/2} \quad (13)$$

Θ = ângulo de abertura do vertedor.

h = Altura da lâmina que passa pelo vertedor.



Figura 20 – Vertedor triangular com abertura de 30°

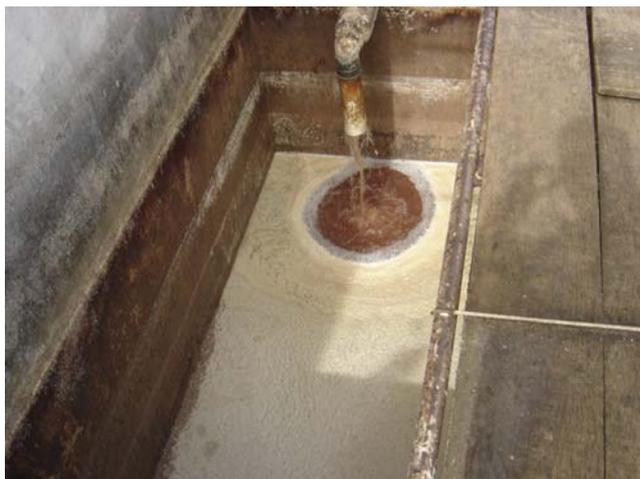


Figura 21 - Tanque de equalização

4.7 Ensaios de Flotação em Bancada

Os ensaios foram realizados em equipamentos floteste, conforme descrição nos itens a seguir.

Estes ensaios foram realizados com parâmetros pré-fixados de mistura rápida e floculação em base a experiência técnica do prof. Dr. Luiz DiBernardo, colaborador deste projeto de estudo.

4.7.1 Coleta e caracterização do efluente

A coleta do efluente foi feita no tanque de equalização. Foram coletados 100 litros de amostra. O efluente foi caracterizado de acordo com os seguintes parâmetros: pH, DQO, DBO, turbidez, fósforo, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.

4.7.2 Ensaios para otimização do processo de coagulação

Os ensaios de coagulação, floculação e flotação foram realizados variando-se a dosagem de cloreto férrico e o pH de coagulação por meio da adição de hidróxido de sódio.

As condições foram:

- Coagulante: Cloreto férrico com dosagens entre 1 e 3 g/L;
- Alcalinizante: Hidróxido de sódio com dosagens entre 0 e 1200 mg/L;
- Mistura rápida: $T_{mr} = 60$ s e $G_{mr} = 320$ s⁻¹;
- Floculação: $T_{fc} = 3$ min. e $G_f = 40$ s⁻¹;
- Flotação: $T_{ft} = 100$ s, taxa de recirculação = 100% e água pressurizada a 4 bar por 10 min. na câmara de saturação;
- Parâmetros de controle: pH de coagulação, DQO e turbidez do flotado.

4.7.3 Ensaios para otimização do tempo de floculação

Com a dosagem de cloreto férrico e o pH de coagulação escolhido nos ensaios do item 4.6.2, foram realizados os ensaios de coagulação/floculação e flotação variando-se o tempo de floculação. As condições dos ensaios foram:

- Coagulante: Cloreto férrico com dosagem fixada no item 4.6.2 em g/L;
- Alcalinizante: Hidróxido de sódio com dosagem fixada no item 4.6.2 em mg/L;
- Mistura rápida: $T_{mr} = 60$ s e $G_{mr} = 320$ s⁻¹;
- Floculação: $T_{fc} = 3, 6, 9$ e 12 min. e $G_f = 40$ s⁻¹;
- Flotação: $T_{ft} = 100$ s, taxa de recirculação = 100% e água pressurizada a 4 bar por 10 min. na câmara de saturação;
- Parâmetros de controle: DQO e turbidez do flotado.

4.7.4 Ensaios para otimização da taxa de recirculação

Foram realizados ensaios de coagulação/floculação/flotação, variando-se a taxa de recirculação. As condições do ensaio foram:

- Coagulante: Cloreto férrico com dosagem fixada no item 4.6.2 em g/L;
- Alcalinizante: Hidróxido de sódio dosagem fixada no item 4.6.2 em mg/L;
- Mistura rápida: $T_{mr} = 60$ s e $G_{mr} = 320$ s⁻¹;
- Floculação: $T_{fc} =$ fixado no item 4.6.3 e $G_f = 40$ s⁻¹;
- Flotação: $T_{ft} = 100$ s, taxa de recirculação = 75%, 100%, 125% e 150%. Água pressurizada a 4 bar por 10 min. na câmara de saturação;
- Parâmetros de controle: DQO e turbidez do flotado.

4.7.5 Ensaios para otimização da velocidade de flotação

Foram realizados ensaios de coagulação/floculação/flotação, variando-se a velocidade de flotação. As condições do ensaio foram:

- Coagulante: Cloreto férrico com dosagem fixada no item 4.6.2 em g/L;
- Alcalinizante: Hidróxido de sódio dosagem fixada no item 4.6.2 em mg/L;
- Mistura rápida: $T_{mr} = 60$ s e $G_{mr} = 320$ s⁻¹;
- Floculação: $T_{fc} =$ fixado no item 4.6.3 e $G_f = 40$ s⁻¹;
- Flotação: $T_{ft} = 70, 100, 130$ e 160 s, taxa de recirculação = Fixada no item 4.6.4. Água pressurizada a 4 bar por 10 min. na câmara de saturação;
- Parâmetros de controle: DQO e turbidez do flotado.

4.7.6 Ensaios final da otimização dos ensaios

Com os parâmetros otimizados nos ensaios dos itens anteriores, foi realizado um ensaio final para verificação da eficiência global. Na seqüência ao ensaio final com os parâmetros otimizados, foi realizado um ensaio somente de flotação com taxa de recirculação de 100% (usado no sistema do atual tratamento) para comparação com os resultados. As condições foram:

Ensaio Final

- Coagulante: Cloreto férrico com dosagem fixada no item 4.6.2 em g/L;
- Alcalinizante: Hidróxido de sódio dosagem fixada no item 4.6.2 em mg/L;
- Mistura rápida: $T_{mr} = 60$ s e $G_{mr} = 320$ s⁻¹;
- Floculação: T_{fc} = fixado no item 4.6.3 e $G_f = 40$ s⁻¹;
- Flotação: T_{ft} = fixada no item 4.6.5, taxa de recirculação = Fixada no item 4.6.4. Água pressurizada a 4 bar por 10 min. na câmara de saturação;
- Parâmetros de controle: pH, DQO, DBO, turbidez, Fósforo, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.

Ensaio de simulação do tratamento atual

- Coagulante: não há;
- Alcalinizante: não há;
- Mistura rápida: não há;
- Floculação: não há;
- Flotação: $T_{ft} = 12$ min., taxa de recirculação = 100%. Água de recirculação pressurizada a 4 bar na câmara de saturação.

- Parâmetros de controle: pH, DQO, DBO, turbidez, Fósforo, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Levantamento de Dados de Produção

Foi constatado na Figura 22 que não houve nenhuma regularidade no processo produtivo nos meses de setembro de 2006 a agosto de 2007. Esse resultado pode ser pelo fato que a empresa produz em função do mercado e não há como prever a variação na demanda de vendas. Há apenas uma projeção mensal de produção que também pode variar, porém, a produção diária é em função do estoque e pedidos.

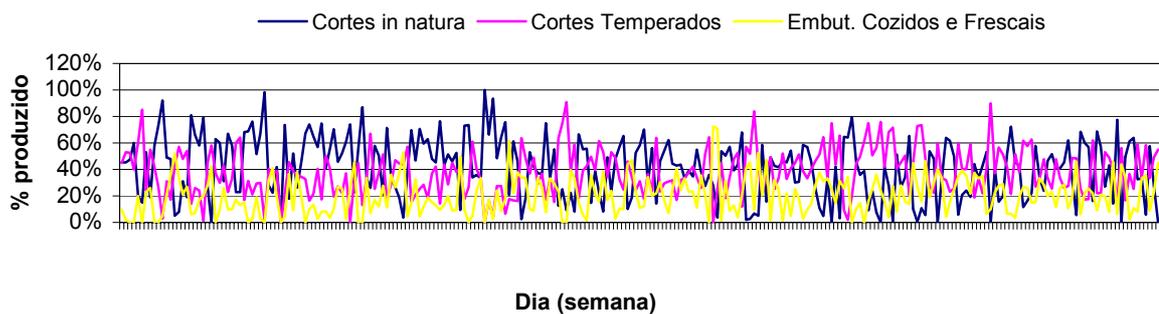


Figura 22 - Análise da característica diária da produção (01/09/2006 a 31/08/2007)

Dessa forma, a característica diária da carga poluidora do sistema fica indefinida, dificultando a análise para fixação de parâmetros no processo.

5.2 Diagnóstico

5.2.1 Características do efluente

A indefinição na característica do efluente lançado no sistema é demonstrada na Tabela 4, onde se vê a variação durante os dias da semana em termos de concentração de

DQO e sólidos no tanque de equalização com concentrações variando de 2.980 mg/L a 4.590 mg/L de DQO. Porém, deve-se estudar uma melhor faixa de operação no sistema que possa diminuir o impacto desta variação de carga primária na remoção da carga poluidora.

Tabela 4 - Entrada diária de carga poluidora no sistema

Data	Produção	Volume L	pH	Temp. °C	DQO mg/L	Sólidos	Fosfatos		Série de Sólidos				
						Sedim. mL/L	mg/L	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L	SS mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L
13/07/2007	Sexta-feira	10,0	7,43	19,0	3125	1,2	85,8	8.970	6.730	2.240	350	30	320
16/07/2007	Segunda-feira	10,0	6,93	20,0	2980	< 1,0	78,4	4.330	1.510	2.810	180	10	170
17/07/2007	Terça-feira	10,0	6,66	19,5	3989	1,6	86,1	18.100	16.380	1.730	580	40	540
18/07/2007	Quarta-feira	10,0	6,87	19,0	3874	< 1,0	65,1	2.700	1.620	1.080	280	10	270
19/07/2007	Quinta-feira	10,0	5,88	20,5	4590	1,9	89,4	28.480	16.040	12.440	1.320	180	1.140
20/07/2007	Sexta-feira	10,0	6,50	20,0	3128	< 1,0	77,3	4.680	2.790	1.890	180	20	160
Média do sistema			6,71	19,7	3614	1,3	80,4	11.210	7.511	3.698	482	48	433
Desvio Padrão			0,52	0,6	638	0,4	8,8	10130	7.000	4.320	436	66	373

Para os cálculos de DQO e turbidez em todos os ensaios efetuados levou-se em consideração que a água de recirculação com ar saturado apresentou 43 mg/L de DQO, pH de 6,43 e turbidez de 1 uT.

Na tabela acima são mostrados contrastes nos dias de produção com a entrada de carga poluidora no sistema medida em DQO. Estas variações estão relacionadas com o tipo de grupo de produtos produzido no dia, e suas variações refletem diretamente na carga de sólidos do sistema, uma vez que os diferentes grupos de produtos têm quebras e perdas de produção específicas durante o processamento.

Apesar dos diferentes níveis de entrada de carga poluidora no sistema, o fosfato não teve grande variação pelo fato de que a maior parte de toda a produção envolve aditivos químicos. Porém, a carga poluidora recebe influência diretamente de grupos distintos de produção, em determinado dia, ocasionando diferenças significativas de entrada de carga de poluição no sistema em termos de DQO nos diferentes dias de produção.

O diagnóstico do sistema demonstra a necessidade da equalização do efluente, antes de seu tratamento físico-químico e/ou biológico, pela grande variação de entrada desta carga poluidora durante o período de processo produtivo, conforme demonstra a Tabela 5.

As variações verificadas nos períodos de processamento são distintas, sendo maiores as cargas de poluição lançadas no sistema em horários de intensa produção e menores em horários de lavagem da indústria.

Estas variações não são previsíveis e não podem ser pré-determinadas, uma vez que a produção não é regular e não obedecem a nenhum critério.

Tabela 5 - Variação horária de entrada de carga poluidora no sistema de tratamento

Ponto	Hora	DQO do Efluente no sistema									
		22/03/07		28/03/07		13/04/07		20/04/07		24/05/07	
		Quinta - feira		Quarta - feira		Sexta - Feira		Terça - Feira		Quinta - feira	
		pH	DQO mg/L	pH	DQO mg/L	pH	DQO mg/L	pH	DQO mg/L	pH	DQO mg/L
Entr. Sistema	8:00	6,60	2.340	6,51	1.153	6,35	957	6,42	825	5,99	2.340
Entr. Sistema	10:00	6,40	6.880	6,48	6.990	6,49	2.960	6,32	6.990	6,58	6.880
Entr. Sistema	12:00	6,45	6.720	6,90	6.975	6,55	1.653	6,59	6.320	6,41	2.990
Entr. Sistema	14:00	6,90	6.867	6,39	5.720	6,37	2.090	6,33	5.720	6,82	6.867
Entr. Sistema	16:00	6,39	2.320	6,35	1.865	6,33	9.927	6,10	1.865	7,02	4.324
Entr. Sistema	20:00	6,88	1.348	6,55	1.450	6,80	499	7,05	1.402	7,25	1.348
Entr. Sistema	22:00	6,90	258	6,70	322	6,98	412	-	-	7,38	562
Entr. Sistema	0:00	6,88	395	6,96	198	7,02	531	-	-	7,15	258

As atividades operacionais durante o dia de produção influenciam diretamente na emissão da carga poluidora no sistema. No período da manhã, quando os trabalhos estão sendo inicializados, já há uma expressiva alteração na entrada da carga poluidora no sistema. À medida que a produção chega a sua estabilidade, segundo a programação do dia, parece haver uma quantidade de carga poluidora definida sendo lançada no sistema. Entretanto, analisando diferentes dias, vemos que mesmo durante o auge da produção pode haver picos e quedas em horários de alta produtividade, fato justificado por haver descarga de resíduos de

processo em maquinários ou quebra de rendimento de produto lançado na rede em momentos distintos da produção durante o dia.

5.2.2 Verificação da eficiência do sistema de tratamento

Foi feita uma análise de comportamento para verificar a entrada da carga de poluição no sistema e suas variações durante o dia de trabalho. Verificou-se conforme a tabela 6 que a entrada de poluição no sistema é variável conforme o horário de produção e as operações efetuadas no processo de produção do dia. Conforme a característica do grupo de produção no dia de trabalho, varia a entrada volumétrica de efluente e carga poluidora durante o dia de trabalho. Nos dias avaliados ocorreu a seguinte produção:

- no dia 22/03 houve uma média de produção dos grupos: cortes de carne 39%, temperados 39% e embutidos 22%;
- no dias 28/03 houve uma média de produção dos grupos: cortes de carne 66%, temperados 19% e embutidos 15%;
- no dia 13/04 houve uma média de produção dos grupos: cortes de carne 53%, temperados 37% e embutidos 10%;
- no dia 20/04 houve uma média de produção dos grupos: cortes de carne 21%, temperados 17% e embutidos 62%;
- no dia 24/05 houve uma média de produção dos grupos: cortes de carne 70%, temperados 15% e embutidos 15%.

Tabela 6 - Avaliação horária de remoção de carga poluidora nas fases do processo de tratamento

Ponto	Hora	DQO do Efluente no sistema									
		22/03/07		28/03/07		13/04/07		20/04/07		24/05/07	
		Quinta - feira		Quarta - feira		Sexta - Feira		Terça - Feira		Quinta - feira	
		pH	DQO mg/L	pH	DQO mg/L	pH	DQO mg/L	pH	DQO mg/L	pH	DQO mg/L
Entr. Sistema	8:00	6,60	2.340	6,51	1.153	6,35	957	6,42	825	5,99	2.340
Equalização	8:00	6,72	1.453	6,66	853	6,38	767	6,50	780	6,40	1.453
Entr. Filtro	8:00	6,70	1.400	6,68	789	6,36	750	6,44	632	6,42	1.400
Saída Filtro	8:00	7,00	1443	7,03	1.044	7,00	676	7,12	980	6,99	1443
Entr. Sistema	10:00	6,40	6.880	6,48	6.990	6,49	2.960	6,32	6.990	6,58	6.880
Equalização	10:00	6,55	1.970	6,64	2.417	6,30	725	6,55	3.417	6,49	1.970
Entr. Filtro	10:00	6,50	1.373	6,60	2.253	6,35	473	6,52	2.253	6,45	1.373
Saída Filtro	10:00	7,02	1.413	7,12	1.100	7,04	634	7,10	1.020	6,88	1.413
Entr. Sistema	12:00	6,45	6.720	6,90	6.975	6,55	1.653	6,59	6.320	6,41	2.990
Equalização	12:00	6,40	3.830	6,70	3.760	6,51	1.448	6,44	3.760	6,38	2.563
Entr. Filtro	12:00	6,40	1.920	6,66	1.932	6,48	777	6,49	2.380	6,42	2.118
Saída Filtro	12:00	7,00	1.390	7,10	1.098	7,11	590	7,14	1.120	6,94	1.330
Entr. Sistema	14:00	6,90	6.867	6,39	5.720	6,37	2.090	6,33	5.720	6,82	6.867
Equalização	14:00	6,78	5.783	6,65	3.378	6,44	1.352	6,39	3.378	6,49	5.783
Entr. Filtro	14:00	6,53	1.548	6,65	2.038	6,42	1.178	6,33	2.138	6,44	1.548
Saída Filtro	14:00	7,05	1.378	7,09	1.035	7,12	540	6,99	1.090	6,90	1.378
Entr. Sistema	16:00	6,39	2.320	6,35	1.865	6,33	9.927	6,10	1.865	7,02	4.324
Equalização	16:00	6,55	2.030	6,60	4.663	6,39	1.655	6,35	4.663	6,59	5.560
Entr. Filtro	16:00	6,52	1.330	6,60	2.456	6,42	1.450	6,33	3.980	6,55	4.710
Saída Filtro	16:00	7,10	1.280	7,04	1.040	7,08	534	6,99	980	6,99	1.242
Entr. Sistema	20:00	6,88	1.348	6,55	1.450	6,80	499	7,05	1.402	7,25	1.348
Equalização	20:00	6,35	1.983	6,31	3.568	6,56	1.693	6,88	3.620	6,82	1.983
Entr. Filtro	20:00	6,41	1.420	6,35	2.864	6,55	1.406	6,90	2.094	6,77	1.420
Saída Filtro	20:00	7,08	1.067	7,14	1.002	7,08	376	7,02	830	7,02	1.067
Entr. Sistema	22:00	6,90	258	6,70	322	6,98	412	-	-	7,38	562
Equalização	22:00	6,72	1.965	6,60	1.845	6,47	1.438	-	-	6,92	1.730
Entr. Filtro	22:00	6,70	2.227	6,66	1.420	6,40	1.208	-	-	6,88	1.213
Saída Filtro	22:00	7,00	1.085	7,11	992	7,04	448	-	-	7,01	985
Entr. Sistema	0:00	6,88	395	6,96	198	7,02	531	-	-	7,15	258
Equalização	0:00	6,68	1.318	6,81	1.304	6,70	1.269	-	-	6,88	1.965
Entr. Filtro	0:00	6,66	920	6,78	1.173	6,72	1.166	-	-	6,89	1.227
Saída Filtro	0:00	7,06	854	7,18	914	7,11	660	-	-	7,00	1085

O sistema tem seus maiores níveis de lançamento de carga poluidora em horários de produção, variando o dia pelo processo e grupo de produto com maior intensidade de produção. A equalização dessa carga no tanque uniformiza o sistema a ponto de minimizar os picos altíssimos decorrente do processo em produção. A Tabela 7 mostra a conciliação diária da uniformização e mostra a eficiência de remoção de cada fase deste processo de tratamento.

Tabela 7 - Eficiência de remoção nas fases do sistema

	Média diária de carga no sistema (DQO - mg/L)									
	22/mar	Remoção	28/mar	remoção	13/abr	remoção	20/abr	remoção	24/mai	remoção
Entr. Sistema	3391,0	-	2851,0	-	2378,5	-	3853,7	-	3.196,2	-
Equalização	2541,6	25,0%	2140,6	24,9%	1293,2	45,6%	3269,8	15,2%	2.876,0	10,0%
Entr. Filtro	1517,3	40,3%	1558,5	27,2%	1050,9	18,7%	2246,1	31,3%	1.876,2	34,8%
Saída Filtro	1238,8	18,4%	898,1	42,4%	557,2	47,0%	1003,3	55,3%	1.243,0	33,7%
Eficiência global		63,5%		68,5%		76,6%		74,0%		61,1%

Observou-se uma baixa remoção nas etapas do processo. O flotor remove a DQO entre a saída do tanque de equalização e a entrada no filtro anaeróbio, este merece uma atenção especial, visto que a eficiência de remoção do flotor apresentou abaixo dos parâmetros previsto para este processo que é acima de 70% segundo o fabricante do flotor. Os dados nos mostram a ineficiência do flotor e seu impacto na fase seguinte do processo de tratamento do efluente em estudo.

5.2.3 Hidrograma do sistema

No gráfico apresentado na Figura 23, percebe-se que as variações de entrada de vazão de efluente no sistema de tratamento durante os dias semanais apresentam um comportamento dentro de uma faixa definida. O volume de entrada durante o período da manhã e tarde correspondem ao horário de funcionamento da indústria onde, a maior parte da água consumida neste período do dia é incorporada no produto sob forma de salmoura. O volume do efluente gerado neste período é, em sua maior parte, resultado principalmente da manutenção da limpeza do piso da indústria durante o dia de produção. Após o trabalho diário, o volume de entrada no sistema de tratamento de efluente é aumentado em virtude da água de lavagem da unidade fabril (máquinas, equipamentos, piso, parede, teto e utensílios) após o período da produção.

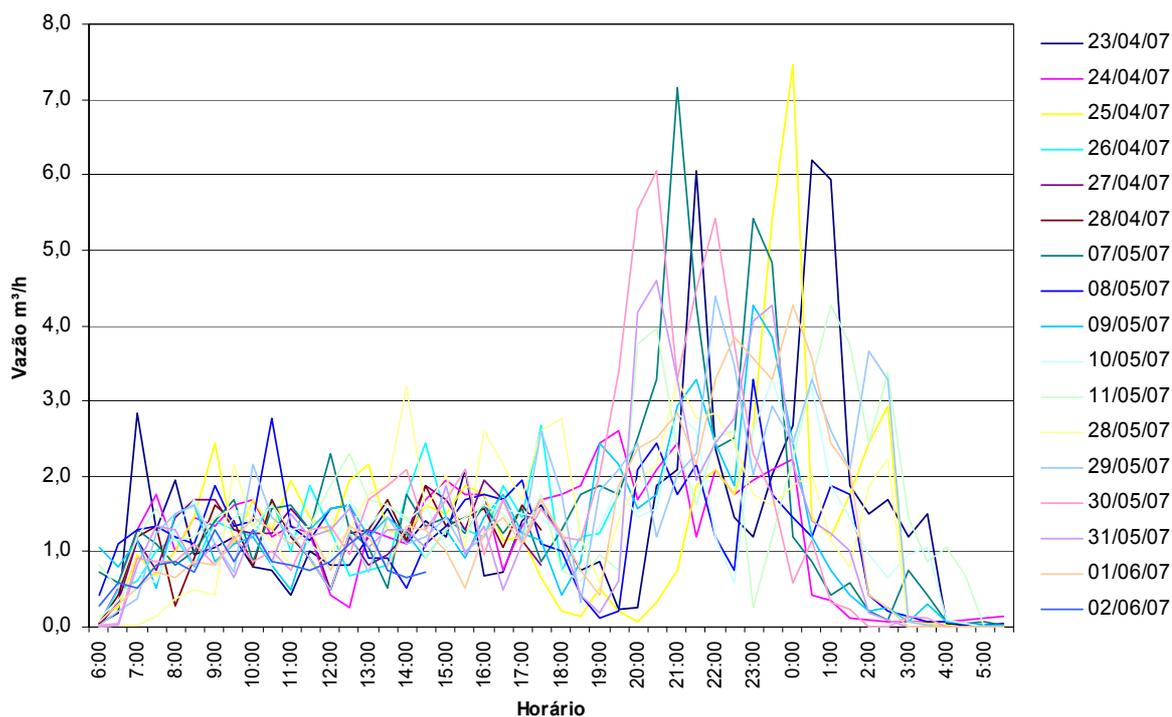


Figura 23 - Hidrograma da Estação de Tratamento de Efluente

O gráfico da Figura 24 apresenta a média volumétrica desta variação diária.

Os dias predominantes de cortes de carnes in natura têm um consumo de água menor durante o processo produtivo e, conseqüente ocorre a diminuição de volume de entrada de efluente no sistema em comparação com os dias em que a relação de grupos de produção de embutidos e carnes temperadas são maiores.

Os picos maiores de vazão na entrada do sistema são em horários de limpeza. O período de medição da vazão para obtenção do gráfico médio da vazão foi de 23 de abril de 2007 a 02 de junho de 2007.



Figura 24 - Hidrograma médio da Estação de Tratamento de Efluente

A variação volumétrica diária do efluente também justifica a necessidade da equalização do efluente lançado no sistema, para que não haja comprometimento da flotação.

5.3 Ensaios de Bancada

Para otimização da estação de tratamento de efluente, foram realizados alguns ensaios de bancada como: pH, DQO, DBO₅, turbidez, fósforo, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.

5.3.1 Caracterização do efluente

A Tabela 8 mostra a caracterização do efluente (água de estudo) coletado no sistema em 17/08/2007.

Tabela 8 - Caracterização do efluente industrial

Parâmetro	Concentração
pH	6,41
DQO (mg/L)	5.807
DBO _{5, 20°C} (mg/L)	1.623
Turbidez (uT)	683,7
Fósforo (mg/L)	32,9
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	32,3
Nitrogênio Total (mg/L)	201,8
Sólidos Totais (mg/L)	8.750
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	2.799
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	5.951

A água de estudo foi coletada em um dia de produção com carga poluidora elevada, com a produção de 48% de cortes de carne, 32% de carnes temperadas e 20% de embutidos. Atenção especial foi dada aos nutrientes presentes no efluente (nitrogênio e fósforo), pois estes podem acarretar problemas de desestabilização biológica no filtro anaeróbio.

A relação DQO/DBO₅, esteve na ordem de 1:3,6 e, acompanhando a mesma relação para DBO/Sólidos voláteis. Estas relações fogem dos parâmetros normais de estudo de efluentes industriais segundo literatura, que está na ordem de 1:2,5 talvez, devido a alta influência de aditivos utilizados nas formulações da indústria de processamento de carnes e derivados que prejudicam a harmonia desta relação. Estes aditivos incluem condimentos, cloreto de sódio, conservantes, antioxidantes, corantes e sanitizantes principalmente.

5.3.2 Diagrama de coagulação

Nas Figuras 25 e 26 são mostrados os resultados dos ensaios realizados com as diferentes dosagens de cloreto férrico e pH de coagulação. Após o ensaio preliminar, o ponto escolhido para otimização dos demais parâmetros foi dosagem de 2,5 g/L de cloreto férrico e pH de coagulação de 5,12. Nestas condições, houve redução de DQO do flotado para 1.133

mg/L e da turbidez para 5uT, ou seja, remoção de 80% e 99% respectivamente. Na figura 27 é apresentada uma foto dos ensaios preliminares 10.1 e 10.2.

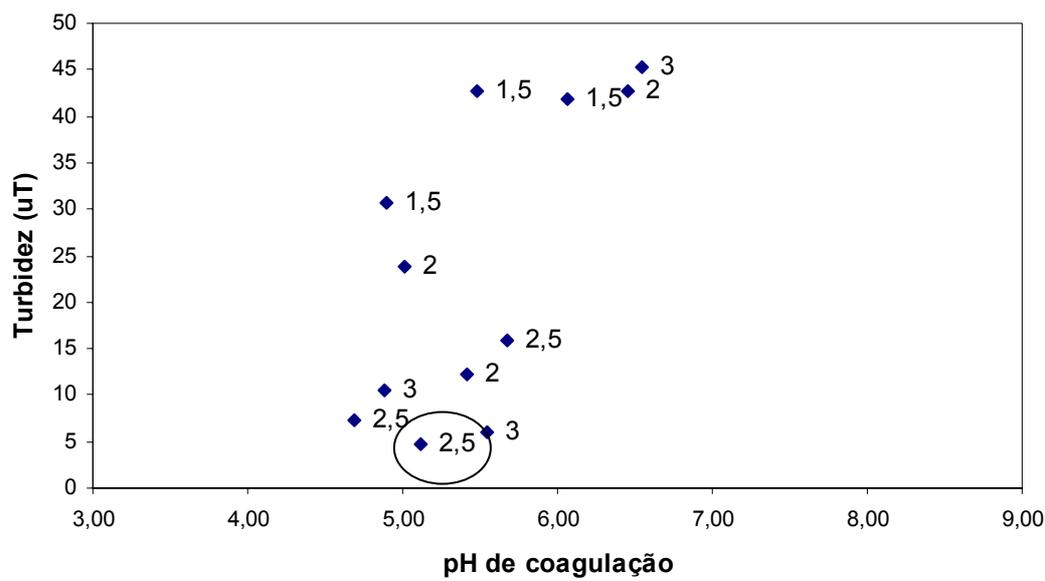


Figura 25 - Turbidez do flotado em função da dosagem de cloreto férrico e do pH de coagulação.

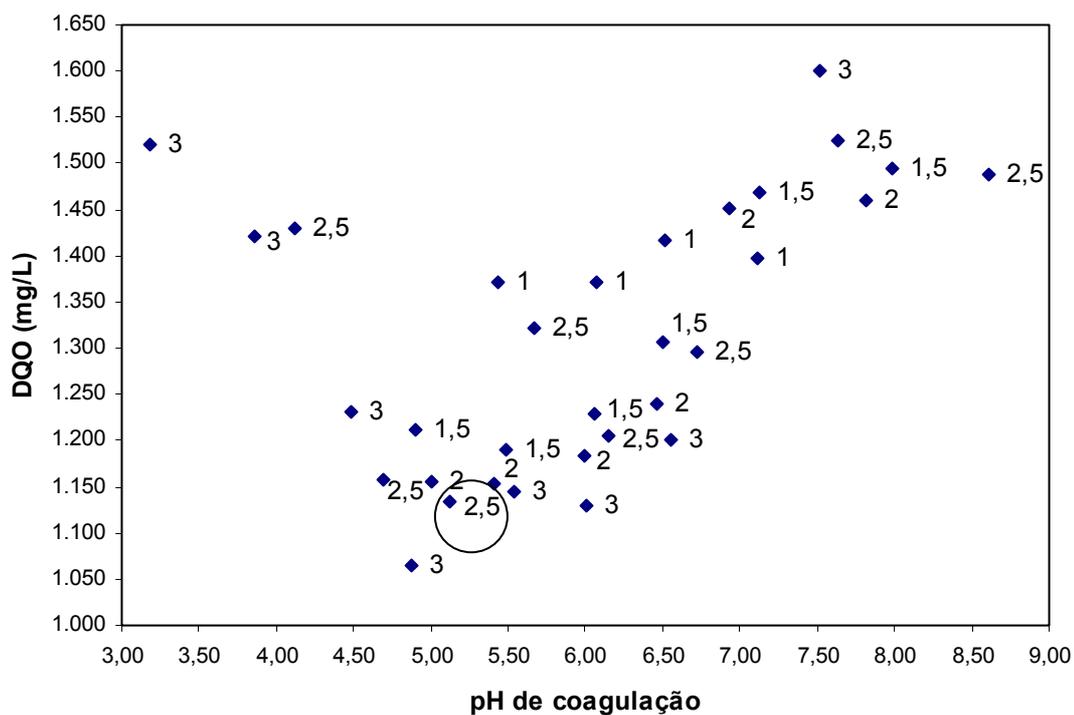


Figura 26 – DQO do flotado em função da dosagem de cloreto férrico e do pH de coagulação

A tabela com os resultados dos ensaios preliminares é apresentada no Apêndice A.

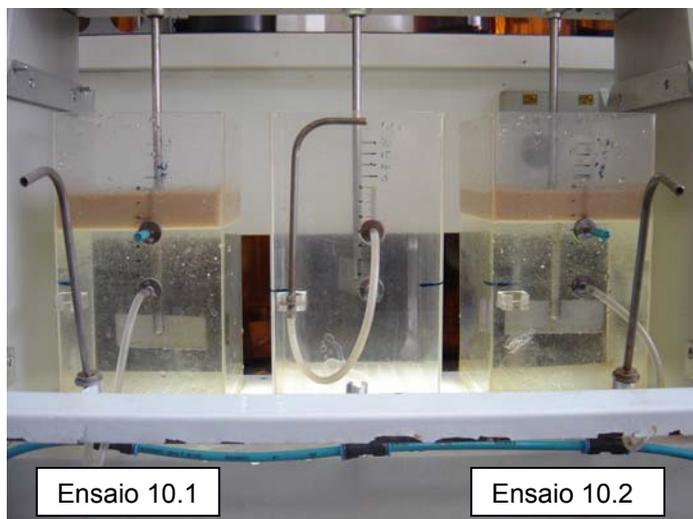


Figura 27 – Foto da turbidez do efluente após flotação (ensaios preliminares)

Na Figura 28 é, apresentado o diagrama de coagulação com o cloreto férrico do efluente estudado.

As imagens das amostras retiradas após o ensaio de flotação para cada dosagem de cloreto férrico usada são apresentadas no Apêndice B.

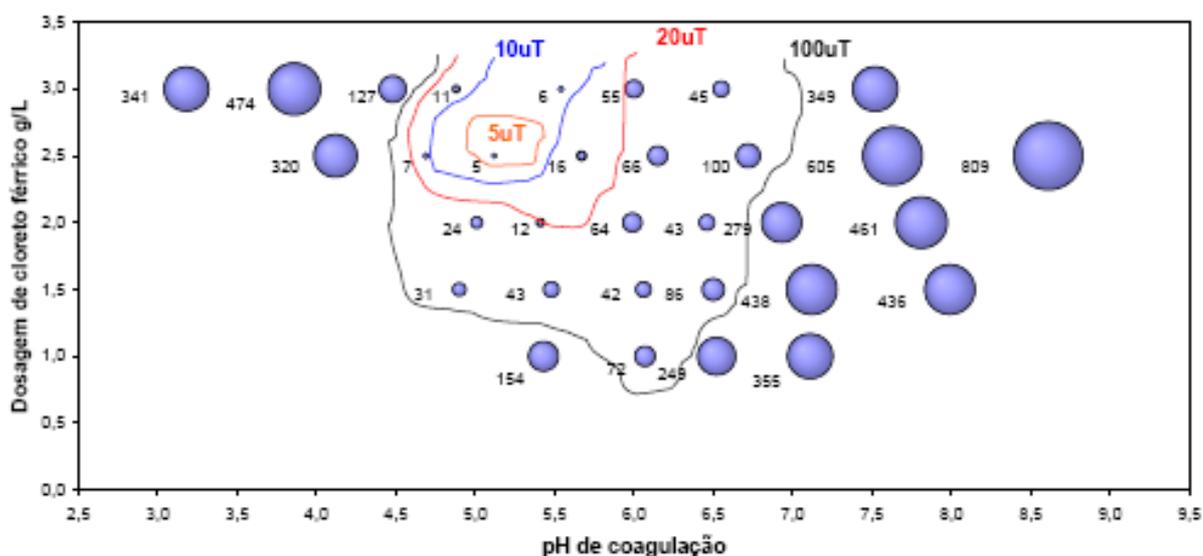


Figura 28 - Ensaio global de dosagem de cloreto férrico para coagulação, demonstrando área de eficiência na remoção da turbidez

5.3.3 Tempo de floculação

Nas Figuras 29 e 30 são apresentados o gráfico e a foto com os resultados dos ensaios de variação no tempo de floculação respectivamente.

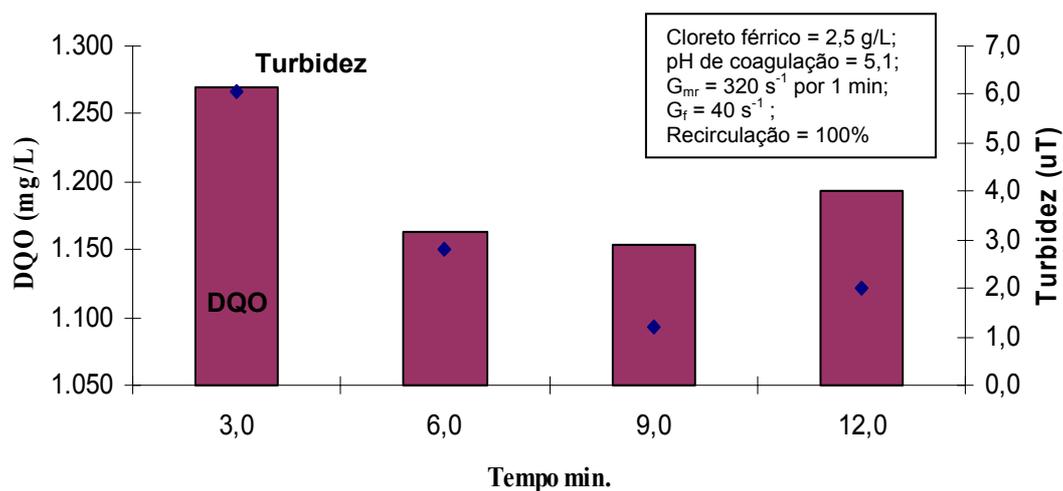


Figura 29 – Variação na remoção da turbidez e DQO em função do tempo de floculação

O tempo de floculação não teve grande influência na remoção da turbidez comparado ao ensaio inicial de 3 min. Porém, favoreceu sensivelmente para remoção de parte da DQO. Foi adotado o tempo de 6 min. para o tempo de floculação na continuidade do estudo.

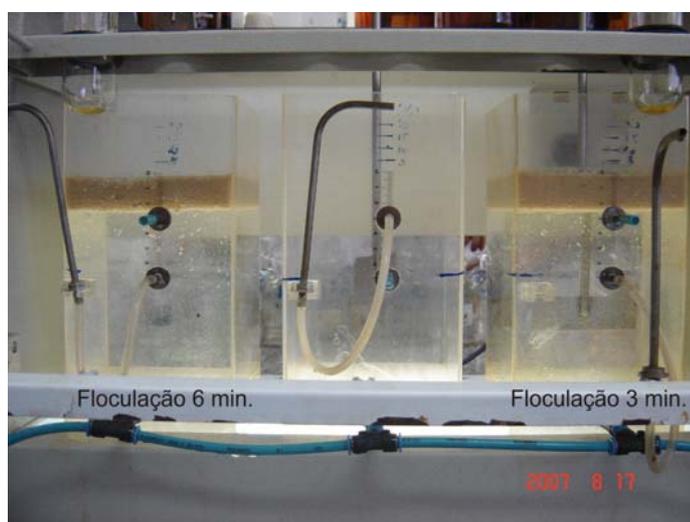


Figura 30 – Foto do ensaio da variação do tempo de floculação

5.3.4 Taxa de recirculação

Nota-se na Figura 31 que houve redução na DQO com o aumento na taxa de recirculação.

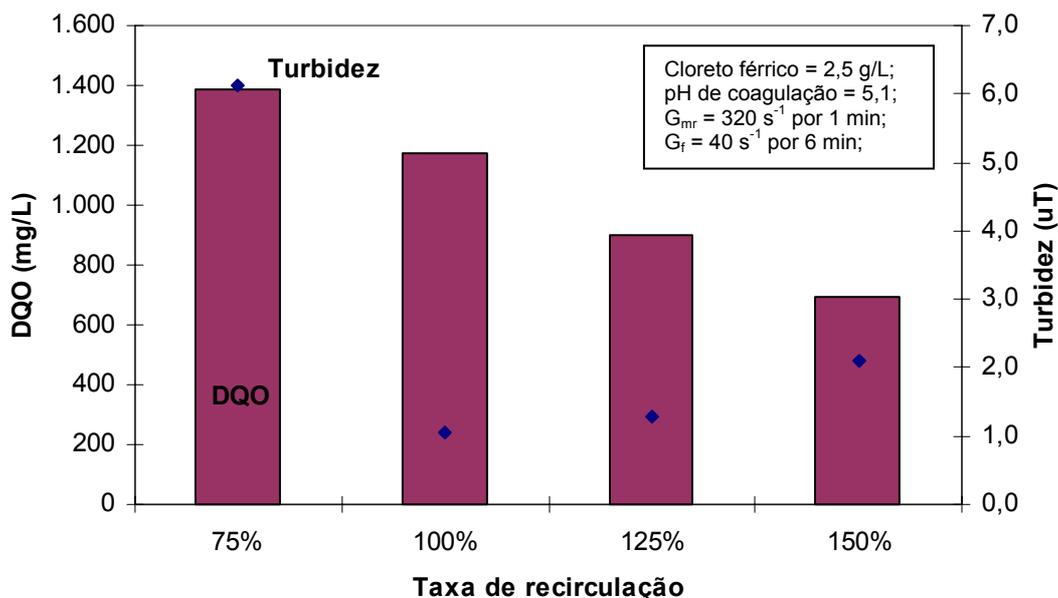


Figura 31 - Variação na remoção da turbidez e DQO em função da variação da taxa de recirculação

Esta remoção é visível na imagem do ensaio de flotação, quando se observa a densidade do lodo flotado na Figura 32. A partir de 100% na taxa de recirculação, não foram observados aumentos significativos na remoção da turbidez. Porém, observou uma redução crescente da DQO e foi adotado a taxa de recirculação de 150%.



Figura 32 - Foto do ensaio de flotação com taxa de recirculação 150%

5.3.5 Velocidade de flotação

Na Figura 33 e Figura 34 são apresentados os resultados e a foto dos ensaios em que foi variada a velocidade de flotação. Foi observado que a partir de 100 s no tempo de flotação, houve aumento crescente na redução de DQO e de turbidez. Foi escolhido o tempo de 160 s para a realização do ensaio final.

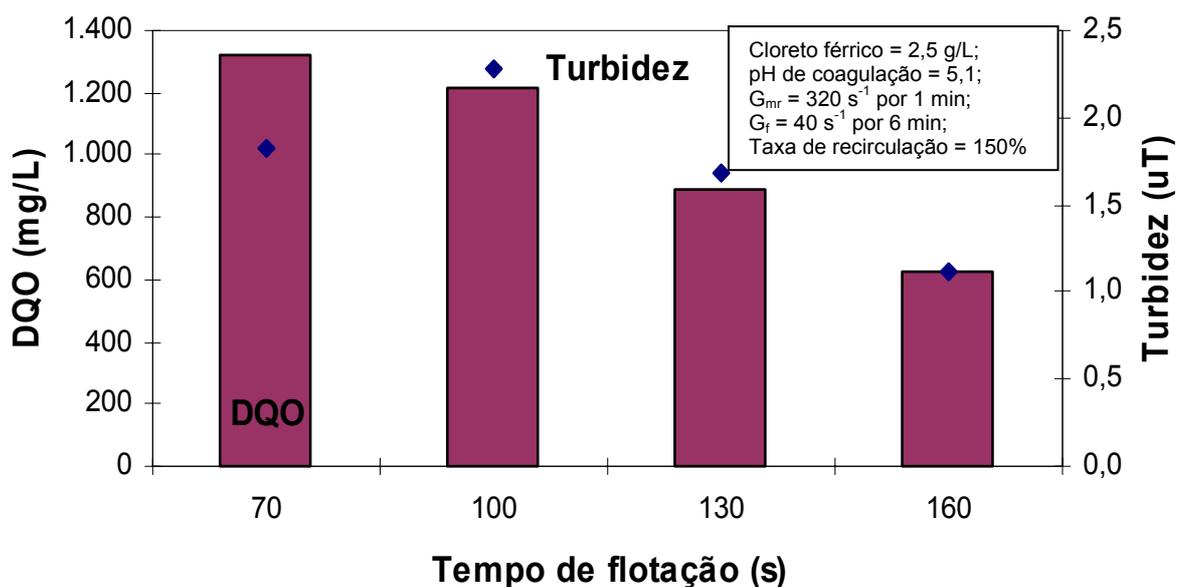


Figura 33 - Remoção da turbidez com variação no tempo de flotação

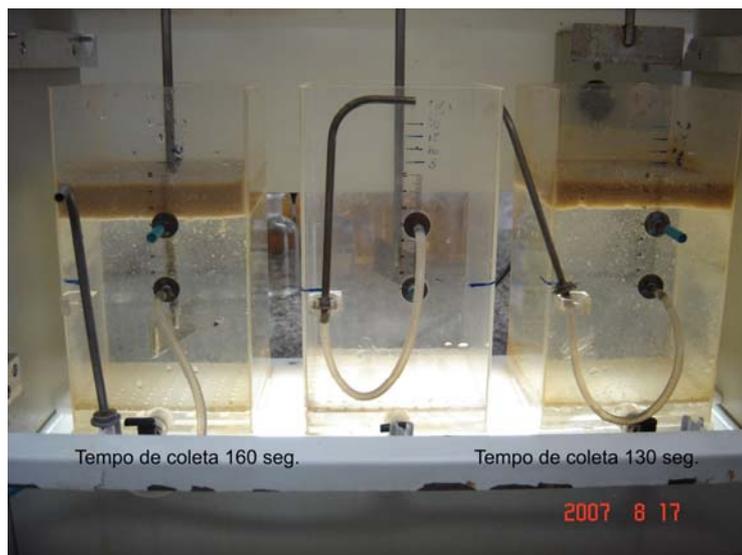


Figura 34 – Foto do ensaio de tempo de coleta da amostra após flotação

5.3.6 Ensaio final

Com os parâmetros otimizados nos demais ensaios, foi realizado um ensaio para comparação do processo de tratamento do efluente com e sem a coagulação/floculação.

Os resultados do ensaio (coagulação, floculação e flotação) indicaram que não somente a DQO e DBO foram significativamente reduzidas (90 e 95% respectivamente), como também os nutrientes nitrogênio e fósforo.

Na Figura 35 e Tabela 9, são apresentados os resultados de vários parâmetros do ensaio final e os resultados do ensaio somente de flotação de simulação das condições atuais do tratamento da indústria e o efluente de estudo.

Tabela 9 - Comparação dos resultados do ensaio final e do ensaio de simulação do sistema de tratamento atual

Resultado final dos ensaios				
		Efluente bruto¹	Efluente após Coagulação, floculação e flotação²	Efluente Após flotação³
pH	-	6,41	5,10	6,5
DQO	mg/L	5.807	624	1.414
DBO	mg/L	1.623	67,1	-
Turbidez	uT	683,7	1,1	187
Fósforo	mg/L P	32,9	1,27	27,9
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	32,3	7,5	62,1
Nitrogênio Total	mg/L	201,8	46,99	23,8
Sólidos Totais	mg/L	8.750	2.370	6.280
Sólidos Totais Fixos	mg/L	2.799	2.221	2.089
Sólidos Totais Voláteis	mg/L	5.951	149	4.191

¹ Amostra bruta do tanque de equalização do sistema.

² Ensaio final de coagulação, floculação e flotação.

³ Ensaio de simulação das condições atuais do sistema de tratamento da indústria.



Figura 35 – Fotos do estudo otimizado – Coagulação, floculação e flotação

O processo de flotação quando precedido da coagulação com o cloreto férrico e da floculação, melhora significativamente o sistema quando comparado com somente a flotação. Essa melhoria na remoção de carga poluidora tem aspecto positivo ambientalmente, no que se refere à redução de poluição a ser descartada no ambiente e, financeiramente uma vez que o efluente em questão é descartado em rede coletora pública e taxado.

6 CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado conclui-se que:

- a) O processo de tratamento de efluentes industriais deve ser estudado caso a caso, para se avaliar um real problema e a necessidade do sistema;
- b) O efluente da indústria frigorífica não deve ser tratado de forma contínua quando se usam processos físico-químicos para auxiliar ou tratar o efluente, havendo a necessidade da equalização do efluente antes de seu tratamento;
- c) A flotação foi eficiente para a clarificação do efluente líquido gerado na indústria de processamento de carnes somente quando precedida de coagulação e floculação;
- d) Os resultados obtidos nos ensaios de coagulação, floculação e flotação têm uma repercussão positiva na indústria de processamento de carnes, visto que a carga poluidora é diminuída substancialmente na saída do sistema de flotação, em comparação com o sistema atual;
- e) Para tratamento do efluente por meio de coagulação, floculação e flotação, as seguintes condições otimizaram a remoção da DQO e turbidez: coagulação com cloreto férrico na dosagem de 2,5 g/L; pH ajustado em 5,1; mistura rápida a um gradiente de 320 s^{-1} por 1 min.; tempo de floculação de 6 min. a um gradiente de 40 s^{-1} ; taxa de recirculação de 150% e velocidade de flotação de 160 s.

7 RECOMENDAÇÕES

- Realizar testes laboratoriais com auxiliares de floculação, a fim de avaliar a possível redução de consumo de coagulante no processo e otimização do custo-benefício à indústria;
- Avaliar a possibilidade também da otimização do sistema de tratamento biológico (filtro anaeróbio) para melhorar a qualidade do efluente descartado na rede pública, economizando assim, gastos com taxas públicas e/ou sua viabilidade face aos resultados obtidos;
- Adaptação do sistema de tratamento de efluente da indústria para redução da carga lançada na rede coletora, fazendo um estudo técnico-econômico de viabilidade da reforma do sistema de tratamento da indústria, levando em consideração as adaptações sugeridas neste trabalho (coagulação com cloreto férrico, floculação com tempo de 3 min., flotação com taxa de recirculação de 150% e velocidade de flotação de 160 s);
- Recomenda-se que seja estudada a geração do lodo no caso da implementação da coagulação e floculação no sistema uma vez que haverá um aumento de seu volume, para que seu tratamento e disposição sejam adequados sem maiores impactos financeiros.

8 BIBLIOGRAFIA

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 21th ed., 2005.

BIOFIBRA. Disponível em: < <http://www.biofibra.com.br/php/produtos/sao/produtos .htm> >.

Acesso em: 18 out. 2007.

BRAILE, Pedro Márcio; CAVALCANTI, José Eduardo W.A.. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. 18^a edição, CETESB, 1993.

BRANCO, Samuel Murgel. **Poluição**. Ao livro Técnico Rio de Janeiro, 1972.

BRASIL. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Decreto nº 8468 de 8 de setembro de 1976. **Aprova o Regulamento da Lei 997 de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do Meio Ambiente**. disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/portugues_leis_dec.asp> acesso em: 12 Jun. 2007.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm?codlegitipo=3&ano=2005>> acesso em: 12 Jun. 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 30.691 de 29 de março de 1952. **Aprova o novo Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal - RIISPOA.** Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-onsulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=14974>>. Acesso em: 14 fev. 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Organograma do Ministério do Meio Ambiente.** Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=8&idConteudo=4678> >. Acesso em: 18 out. 2007.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Reatores anaeróbios.** Departamento de Engenharia Sanitária, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 1997.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** Editora Rima, 2ª edição. São Carlos, 2005.

DI BERNARDO, Luiz; DI BERNARDO, Angela; FILHO, Paulo Luiz Centurione. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** Editora Rima. São Carlos, 2002.

GIORDANO, Ghandi. **Tratamento e controle de efluentes industriais.** Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2004.

IDE, Carlos Nobuyashi *et al.*. **Avaliação do desempenho de lagoas de estabilização no tratamento de efluentes de matadouro**. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 1997.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. ABES 4ª edição, 2005.

METCALF & EDDY, Inc.. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. McGraw-Hill, 3rd ed., 1991.

REALI, Marco Antônio Penalva; CAMPOS, J.R.; PENETRA, R.G. **Sewage treatment by anaerobic biological process associated with dissolved air flotation**. IWA Publishing, London UK, 2001.

REYNOLDS, Tom D.; RICHARDS, Paul A.. **Unit Operations and Processes in environmental engineering**. 2nd edition, PWS Publishing Co., 1995.

RUBIO, Jorge; MATIOLO, Elvis. **Flotação avançada para o tratamento e reaproveitamento de águas poluídas**. Água: Fonte da vida. XIX Prêmio Jovem Cientista, 2003.

SCHOENHALS, Marlise. **Avaliação da eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluentes de abatedouro avícola**. Dissertação de pós-graduação para obtenção de título de mestre em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

SENA, Rênio Félix. **Avaliação da biomassa obtida pela otimização da flotação de efluentes da indústria de carnes para geração de energia.** Dissertação de pós-graduação para obtenção de título de mestre em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

SILVA, Welitom Ttatom P. da; GOMES, Luis Airton; Santos, Aldecy de Almeida. **Aplicação da capacidade de flotação de uma ETE de uma indústria frigorífica, usando tratamento físico-químico.** 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental – ABES, 2007.

TONETTI, Adriano Luiz, **Pós-tratamento de efluente anaeróbio por filtros de areia.** Dissertação de pós-graduação para obtenção de título de mestre em Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 1996a.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Lagos de estabilização.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 1996b.

WIKIPÉDIA. Enciclopédia eletrônica. Disponível em : <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Abatedouro#Hist.C3.B3ria>> acesso em: 29 set. 2007.

ANEXO

ANEXO I

DECRETO 8468 DE 8 DE SETEMBRO DE 1976

CAPÍTULO II

SEÇÃO II

Dos Padrões de Emissão

Art. 17 - Os efluentes de qualquer natureza somente poderão ser lançados nas águas interiores ou costeiras, superficiais ou subterrâneas, situadas no território do Estado, desde que não sejam

considerados poluentes, na forma estabelecida no artigo 3º deste Regulamento.

Parágrafo Único - A presente disposição aplica-se aos lançamentos feitos, diretamente, ou indiretamente, por fontes de poluição através de canalizações pública ou privada, bem como de outro

dispositivo de transporte, próprio ou de terceiros.

Art. 18 - Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nas coleções de água, desde que obedeçam às seguintes condições:

I - pH entre 5,0 (cinco inteiros), e 9,0 (nove inteiros);

II - temperatura inferior a 40°C (quarenta graus Celsius);

III - materiais sedimentáveis até 1,0 ml/l (um milímetro por litro) em teste de uma hora em "cone

imhoff";

IV - Substâncias solúveis em hexana até 100 mg/l (cem miligramas por litro);

V - DBO 5 dias, 20°C no máximo de 60 mg/l (sessenta miligramas por litro). Este limite somente

poderá ser ultrapassado no caso de efluentes de sistema de tratamento de águas residuárias que reduza

a carga poluidora em termos de DBO 5 dias, 20°C do despejo em no mínimo 80% (oitenta por cento);

VI - concentrações máximas dos seguintes parâmetros:

a) - Arsênico - 0,2 mg/l (dois décimos de miligrama por litro);

b) - Bário - 5,0 mg/l (cinco miligramas por litro);

c) - Boro - 5,0 mg/l (cinco miligramas por litro);

d) - Cádmio - 0,2 mg/l (dois décimos de miligrama por litro);

e) - Chumbo - 0,5 mg/l (cinco décimos de miligrama por litro);

f) - Cianeto - 0,2 mg/l (dois décimos de miligrama por litro);

g) - Cobre - 1,0 mg/l (um miligrama por litro);

h) - Cromo hexavalente - 0,1 mg/l (um décimo de miligrama por litro);

i) - Cromo total - 5,0 mg/l (cinco miligramas por litro);

j) - Estanho - 4,0 mg/l (quatro miligramas por litro);

k) - Fenol - 0,5 mg/l (cinco décimos de miligrama por litro);

l) - Ferro solúvel (Fe²⁺) - 15,0 mg/l (quinze miligramas por litro);

m) - Fluoretos - 10,0 mg/l (dez miligramas por litro);

n) - Manganês solúvel (Mn²⁺) - 1,0 mg/l (um miligrama por litro);

o) - Mercúrio - 0,01 mg/l (um centésimo de miligrama por litro);

p) - Níquel - 2,0 mg/l (dois miligramas por litro);

- q) - Prata - 0,02 mg/l (dois centésimos de miligrama por litro);
- r) - Selênio - 0,02 mg/l (dois centésimos de miligrama por litro);
- s) - Zinco - 5,0 mg/l (cinco miligramas por litro).

VII - outras substâncias, potencialmente prejudiciais, em concentrações máximas a serem fixadas, para cada caso, a critério da CETESB;

(1) VIII - regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 (um vírgula cinco) vezes a vazão média diária.

§ 1º - Além de obedecerem aos limites deste artigo, os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características em desacordo com o enquadramento do mesmo, na Classificação das Águas.

§ 2º - Na hipótese de fonte de poluição geradora de diferentes despejos ou emissões individualizados, os limites constantes desta regulamentação aplicar-se-ão a cada um destes, ou ao conjunto após a mistura, a critério da CETESB.

§ 3º - Em caso de efluente com mais de uma substância potencialmente prejudicial, a CETESB poderá reduzir os respectivos limites individuais, na proporção do número de substâncias presentes.

(2) § 4º - Resguardados os padrões de qualidade do corpo receptor, a CETESB poderá autorizar o lançamento com base em estudos de impacto ambiental, realizado pela entidade responsável pela emissão, fixando o tipo de tratamento e as condições desse lançamento.

(1) **Art.19** - Onde houver sistema público de esgotos, em condições de atendimento, os efluentes de qualquer fonte poluidora deverão ser nele lançado.

(1) Com redação dada pelo Decreto nº 15.425, de 23.07.80

(2) Acrescentado pelo Decreto nº 15.425, de 23.07.80

§ 1º - Caso haja impossibilidade técnica de ligação ao sistema público, o responsável pela fonte de poluição deverá comprová-la perante a CETESB, mediante a apresentação de atestado nesse

sentido, expedido pela entidade responsável pela operação do sistema, não se constituindo esse atestado condição definitiva para a não-ligação da fonte ao referido sistema.

§ 2º - Quando o sistema público de esgotos estiver em vias de ser disponível, a CETESB poderá estabelecer condições transitórias de lançamento em corpos de água, levando em consideração os planos e cronogramas aprovados pelo Governo Federal ou Estadual, eventualmente existentes.

§ 3º - Evidenciada a impossibilidade técnica do lançamento em sistema público de esgotos, os efluentes poderão, a critério da CETESB, ser lançados transitoriamente em corpos de águas, obedecidas às condições estabelecidas neste Regulamento.

§ 4º - A partir do momento em que o local onde estiver situada a fonte de poluição for provido de sistema público de coleta de esgotos, e houver possibilidade técnica de ligação a ele, o responsável pela

fonte deverá providenciar o encaminhamento dos despejos líquidos à rede coletora.

(1) **Art. 19-A** - Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados em sistema

de esgotos, provido de tratamento com capacidade e de tipo adequados, conforme previsto no 4º deste

artigo se obedecerem às seguintes condições:

I - pH entre 6,0 (seis inteiros) e 10,0 (dez inteiros);

II - temperatura inferior a 40° C (quarenta graus Celsius);

III - materiais sedimentáveis até 20 ml/l (vinte mililitros por litro) em teste de 1 (uma) hora em

"cone Imhoff";

IV - ausência de óleo e graxas visíveis e concentração máxima de 150 mg/l (cento e cinquenta miligramas por litro) 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 concentrações 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 mg/l (um

e meio miligrama por litro) de cada elemento sujeitas à restrição da alínea e deste inciso;

b) - cromo total e zinco 5,0 mg/l (cinco miligramas por litro) de cada elemento, sujeitas ainda à

restrição da alínea e deste inciso;

c) - estanho - 4,0 mg/l (quatro miligramas por litro) sujeita ainda à restrição da alínea e deste inciso;

d) - níquel - 2,0 mg/l (dois miligramas por litro), 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 mg/l (cinco miligramas por litro);

(1) Acrescentado pelo Decreto nº 15.425, de 23.07.80

f) - cianeto - 0,2 mg/l (dois décimos de miligrama por litro);

g) - fenol -5,0 mg/l (cinco miligramas por litro);

h) - ferro solúvel - (Fe²⁺) -15,0 mg/l (quinze miligramas por litro);

i) - fluoreto -10,0 mg/l (dez miligramas por litro);

j) - sulfeto -1,0 mg/l (um miligrama por litro);

l) - sulfato -1000 mg/l (mil miligramas por litro).

IX - regime de lançamento contínuo de 24 (vinte e quatro) horas por dia, com vazão máxima de

até 1,5 (uma vez e meia) a vazão diária; .

X - ausência de águas pluviais em qualquer quantidade:

§ 1º - desde que não seja afetado o bom funcionamento dos elementos do sistema de esgotos, a

entidade responsável pela sua operação poderá, em casos específicos, admitir a alteração dos valores

fixados nos incisos IV e VIII, deste artigo, devendo comunicar tal fato à CETESB.

§ 2º - Se a concentração de qualquer elemento ou substância puder atingir valores prejudiciais ao bom funcionamento do sistema, à entidade responsável por sua operação será facultado, em casos específicos, reduzir os limites fixados nos incisos IV e VIII deste artigo, bem como estabelecer concentrações máximas de outras substâncias potencialmente prejudiciais, devendo comunicar tal fato à CETESB.

§ 3º - Se o lançamento dos efluentes se der em sistema público de esgotos, desprovido de tratamento com capacidade e de tipos adequados, serão aplicáveis os padrões de emissão previstos no artigo 18 e nos incisos V, VI, VIII, alíneas "j" e "l" e X, deste artigo, e, ainda, nas normas decorrentes deste Regulamento.

§ 4º - Para efeito de aplicação do disposto neste artigo, considera-se o sistema público de esgotos provido de tratamento com capacidade e de tipo adequados quando, a critério da CETESB, tal tratamento atender às finalidades pretendidas, ou existir plano e cronograma de obras já aprovados pelo Governo Federal ou Estadual.

(1) **Art. 19-B** - Os efluentes líquidos, excetuados os de origem sanitária, lançados nos sistemas públicos de coleta de esgotos, estão sujeitos a pré-tratamento que os enquadre nos padrões estabelecidos no artigo 19-A deste Regulamento.

Parágrafo Único - O lodo proveniente de sistemas de tratamento das fontes de poluição industrial, bem como o material proveniente da limpeza de fossas sépticas, poderá, a critério e mediante autorização expressa da entidade responsável pela operação do sistema, ser recebido pelo sistema

público de esgotos, proíbe sua disposição em galerias de águas pluviais ou em corpos de água.

(1) **Art. 19-C** - Os efluentes líquidos provenientes de indústrias deverão ser coletados separadamente, através de sistemas próprios independentes, conforme sua origem e natureza, assim destinados:

I - à coleta e disposição final de águas pluviais;

II - à coleta de despejos sanitários e industriais, conjunta ou separadamente, e

III - às águas de refrigeração.

(1) Acrescentado pelo Decreto nº 15.425, de 23.07.80

§ 1º - Os despejos referidos no inciso II deste artigo, deverão ser lançados à rede pública através de ligação única, cabendo à entidade responsável pelo sistema público admitir, em casos excepcionais, o recebimento dos efluentes por mais de uma ligação.

§ 2º - A incorporação de águas de refrigeração dos despejos industriais só poderá ser feita mediante autorização expressa da entidade responsável pelo sistema público de esgotos, após verificação da possibilidade técnica do recebimento daquelas águas e o estabelecimento das condições para tal, vedada a utilização de água de qualquer origem com finalidade de diluir efluentes líquidos

industriais.

(1) **Art. 19-D** - O lançamento de efluentes em sistemas públicos de esgotos será sempre feito por gravidade e, se houver necessidade de recalque os efluentes deverão ser lançados em caixa de quebra-pressão da qual partirão por gravidade para a rede coletora

(1) **Art. 19-E** - O lançamento de despejos industriais à rede pública de esgoto será provido de dispositivo de amostragem e/ou medição na forma estabelecida em normas editadas pela entidade responsável pelo sistema.

(1) **Art. 19-F** - Para efeito de aplicação das sanções cabíveis, as entidades responsáveis pelos sistemas públicos de esgotos comunicarão à CETESB as infrações constatadas, no tocante ao lançamento de despejos em suas respectivas redes em desconformidade com o estatuído neste Regulamento.

APÊNDICES

A – TABELA DE ENSAIOS PRELIMINARES E IMAGENS

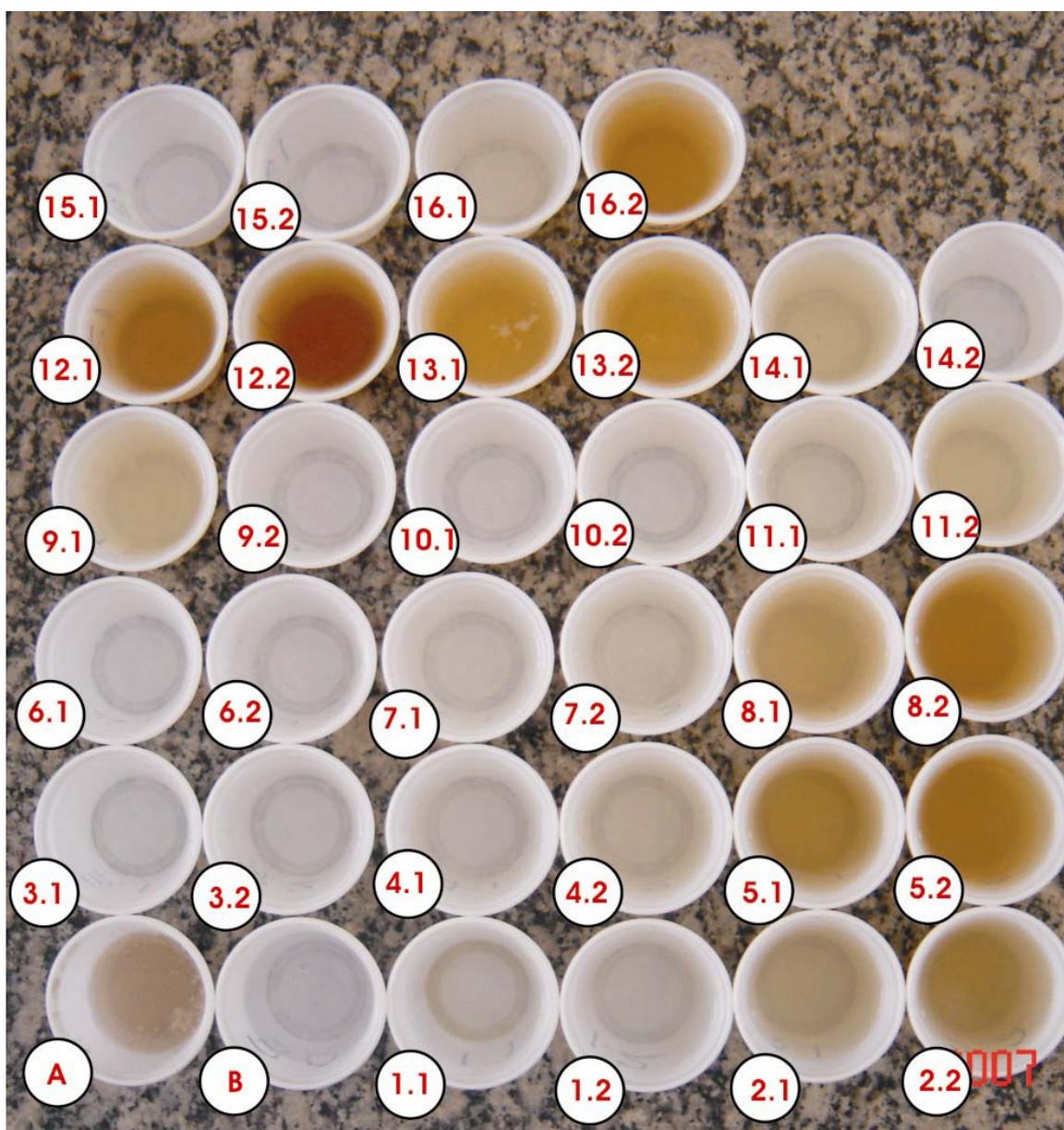
A tabela abaixo mostra o ensaio global para verificação do melhor ponto para otimização do processo em estudo.

Foi utilizado 1 L de amostra nos ensaios com taxa de recirculação para flotação de 100%.

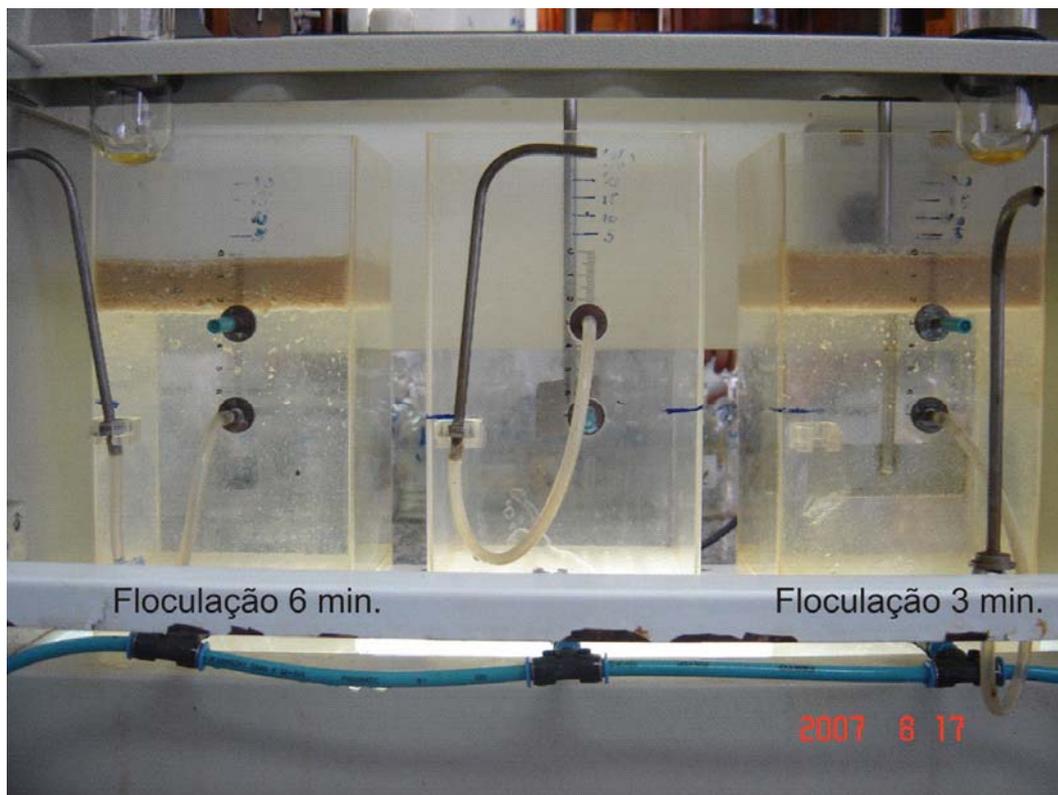
Data	Ensaio	Jarro Floteste	NaOH		FeCl ₃		pH final	Mistura rápida		Floculação		Parâmetros	
			200g/L		50g/L			Tempo min.	rpm	Tempo min.	rpm	DQO mg/L	Turbidez (uT)
			mg/L	mL	g/L	mL							
17/08/07	1	1	0	0,00	1,0	20,0	5,43	1,0	200	3,0	50	1.370	154
		2	150	0,75	1,0	20,0	6,07	1,0	200	3,0	50	1.371	72
	2	1	300	1,50	1,0	20,0	6,52	1,0	200	3,0	50	1.418	249
		2	450	2,25	1,0	20,0	7,11	1,0	200	3,0	50	1.397	355
	3	1	0	0,00	1,5	30,0	4,90	1,0	200	3,0	50	1.212	31
		2	150	0,75	1,5	30,0	5,48	1,0	200	3,0	50	1.191	43
	4	1	300	1,50	1,5	30,0	6,06	1,0	200	3,0	50	1.229	42
		2	450	2,25	1,5	30,0	6,50	1,0	200	3,0	50	1.307	86
	5	1	600	3,00	1,5	30,0	7,12	1,0	200	3,0	50	1.468	438
		2	750	3,75	1,5	30,0	7,99	1,0	200	3,0	50	1.495	436
	6	1	150	0,75	2,0	40,0	5,01	1,0	200	3,0	50	1.156	24
		2	300	1,50	2,0	40,0	5,41	1,0	200	3,0	50	1.154	12
	7	1	450	2,25	2,0	40,0	5,99	1,0	200	3,0	50	1.183	64
		2	600	3,00	2,0	40,0	6,46	1,0	200	3,0	50	1.241	43
	8	1	750	3,75	2,0	40,0	6,93	1,0	200	3,0	50	1.451	279
		2	900	4,50	2,0	40,0	7,81	1,0	200	3,0	50	1.461	461
	9	1	150	0,75	2,5	50,0	4,12	1,0	200	3,0	50	1.431	320
		2	300	1,50	2,5	50,0	4,69	1,0	200	3,0	50	1.159	7
	10	1	450	2,25	2,5	50,0	5,12	1,0	200	3,0	50	1.133	5
		2	600	3,00	2,5	50,0	5,67	1,0	200	3,0	50	1.323	16
	11	1	750	3,75	2,5	50,0	6,15	1,0	200	3,0	50	1.205	66
		2	900	4,50	2,5	50,0	6,72	1,0	200	3,0	50	1.297	100
	12	1	1.050	5,25	2,5	50,0	7,63	1,0	200	3,0	50	1.526	605
		2	1.200	6,00	2,5	50,0	8,61	1,0	200	3,0	50	1.488	809
13	1	150	0,75	3,0	60,0	3,18	1,0	200	3,0	50	1.521	341	
	2	300	1,50	3,0	60,0	3,86	1,0	200	3,0	50	1.421	474	
14	1	450	2,25	3,0	60,0	4,48	1,0	200	3,0	50	1.231	127	
	2	600	3,00	3,0	60,0	4,88	1,0	200	3,0	50	1.064	11	
15	1	750	3,75	3,0	60,0	5,54	1,0	200	3,0	50	1.144	6	
	2	900	4,50	3,0	60,0	6,00	1,0	200	3,0	50	1.130	55	
16	1	1.050	5,25	3,0	60,0	6,55	1,0	200	3,0	50	1.202	45	
	2	1.200	6,00	3,0	60,0	7,52	1,0	200	3,0	50	1.600	349	

B – IMAGEM DAS AMOSTRAS COLETADAS APÓS ENSAIO PRELIMINARES

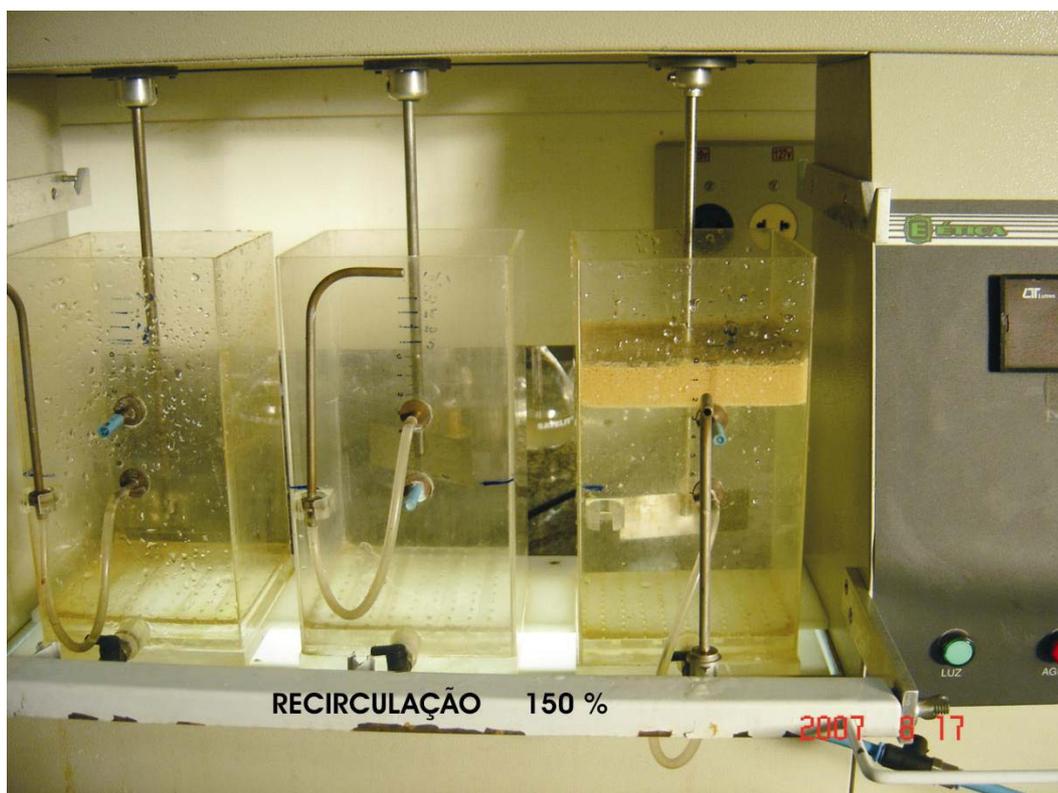
A amostra “A” refere-se a amostra bruta para análise; a amostra “B” refere-se à água de recirculação utilizada para flotação, e as numerações seqüenciais referem-se às análises individuais, variando a dosagem de cloreto férrico e alcalinizante para acerto de pH conforme a tabela anterior.



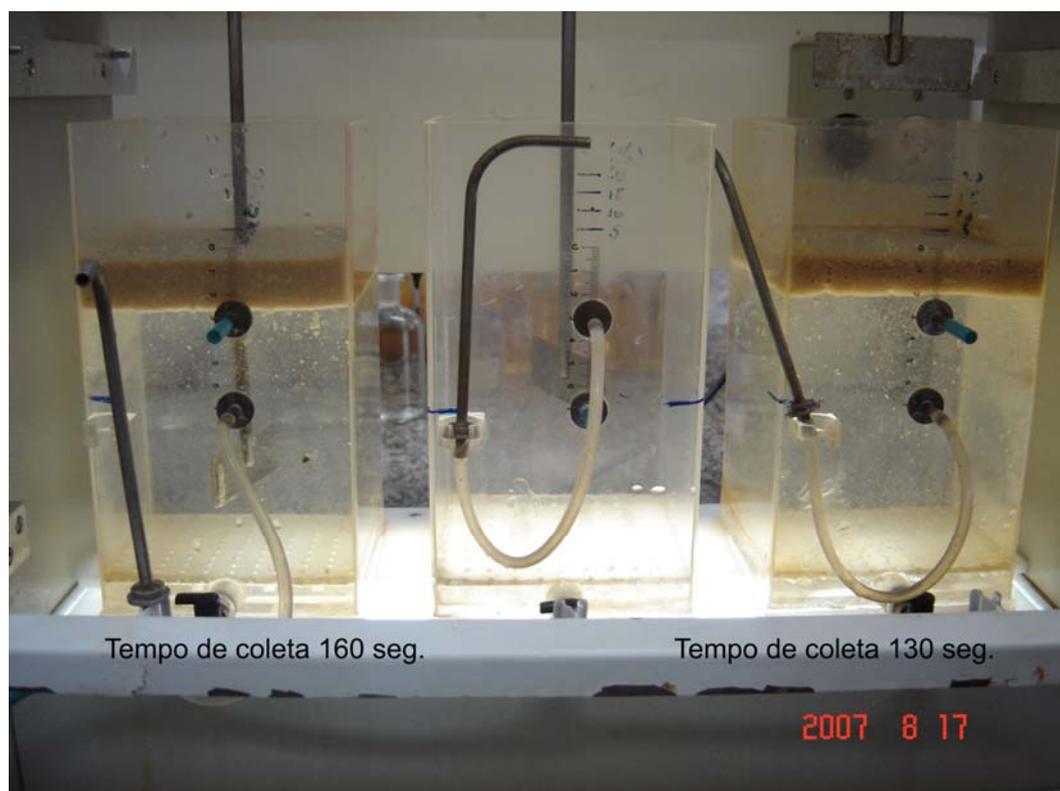
C – ENSAIOS DE OTIMIZAÇÃO DE PROCESSO – TEMPO DE FLOCULAÇÃO



D – ENSAIOS DE OTIMIZAÇÃO DE PROCESSO - RECIRCULAÇÃO



E – ENSAIO DE OTIMIZAÇÃO DE PROCESSO – TEMPO DE COLETA



F – ENSAIO DO PROCESSO ATUAL E OTIMIZAÇÃO FINAL NO ESTUDO

