**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
QUÍMICA DA ESCOLA POLITÉCNICA**

FRANCO HAMILTON HARADA Nº USP 2235402

**Uso da técnica Produção Mais Limpa em
Estação de Tratamento de Efluentes Industriais**

ORIENTADOR: PROF. DR. PEDRO MAURÍCIO BUCHLER

**São Paulo
2006**

Franco Hamilton Harada Nº USP 2235402

Uso da técnica Produção Mais Limpa em Estação de Tratamento de Efluentes Industriais

Dissertação apresentada ao
Departamento de Engenharia Química
da Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Química

Área de Concentração: Prevenção e
Controle da Poluição
Orientador: Prof. Dr. Pedro Maurício
Buchler

São Paulo
2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Harada, Franco Hamilton

**Uso da técnica produção mais limpa em estação de tratamento de efluentes industriais / F.H. Harada. -- São Paulo, 2006.
p.**

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

**1.Clean production 2.Efluentes industriais (Tratamento)
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.**

Franco Hamilton Harada Nº USP 2235402
Uso da técnica Produção Mais Limpa em Estações
de Tratamento de Efluentes Industriais

Dissertação apresentada ao Departamento de
Engenharia Química da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Química
Área de Concentração: Prevenção e Controle da
Poluição

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr _____
Instituição _____ Assinatura _____

Prof. Dr _____
Instituição _____ Assinatura _____

Prof. Dr _____
Instituição _____ Assinatura _____

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Pedro Maurício Buchler pela compreensão e dedicação, iluminando-me para o nascimento desta dissertação.

Ao Eng. Abdo S. Rocha, Diretor de Engenharia da FIRMENICH & CIA. Ltda, pelas orientações, confiança e conselhos que foram diretrizes deste trabalho.

Aos Eng. Ademar C. M. Ferreira e Eng. Radovan Ivatchkovitch, diretores da H2O Engenharia Ltda., que proporcionaram o alicerce e abertura ao meu conhecimento enfatizando na carreira onde me situo atualmente.

Aos amigos Márcio Yamamoto, Márcio Nakamura, Lia Yokoyama e Ricardo Kurauchi pela colaboração e apoio ao término deste trabalho.

DEDICATÓRIA

A minha mãe Lúcia, pela força, garra e paciência sempre me apoiando com sua sabedoria. Meu “norte” no caminho a trilhar.

ABREVIATÓES

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO: Demanda Química de Oxigênio

Efl.: Efluente

Ind.: Industrial

ETA: Estação de Tratamento de Água

ETE: Estação de Tratamento de Efluentes

F/M: Relação Alimento-Microrganismo (Food and Mass)

NBR: Norma Brasileira

OD: Oxigênio Dissolvido

O&G: Óleos & Graxas

PAC: Policloreto de Alumínio

P+L: Produção Mais Limpa

PVC: Policloreto de Vinila

SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

ss: Sólidos Secos

SST: Sólidos Suspensos Totais

Tq.: Tanque

UASB: Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket

ABSTRACT

HARADA, F.H. **Use of Cleaner Production Methodology in Industrial Wastewater Treatment Plants (WTP)**. 2006. Dissertation (Master Degree) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Química, São Paulo, 2006.

The insertion in industries of Cleaner Production Methodology in Wastewater Treatment Plants (WTP). The concept given from the Cleaner Production allows its application to the end of pipe treatment, not restraining it to the productive process.

The application of that tool aims the development and the continuous improvement of the environmental management system gathering the treatment of any type of generated pollution, specifically in this dissertation, the industrial wastewater.

The WTP, with a suitable supervision and operation, not only minimizes the polluting effects of the effluents generated by the industries to levels demanded by the applicable legislation or to patterns of quality required internally in its process, but also can control the whole factory intern productive process. There is the possibility of detecting great part of the productive deviation that occurred in the interior of the factory through many controlling processual parameters.

With the application of the tool of Cleaner Production in the Treatment Stations of Industrial Effluents, it demonstrates through many of its methodologies:

- ✓ The continuous improvement in all of the productive and treatment processes of effluents involved in the industry;
- ✓ The progressive enlargement of the processual efficiency;
- ✓ Which investments and environment are strongly related to the development of the industry and its strengthening both on commercial and social levels.

Therefore, the approach given to the Cleaner Production in this dissertation is wider – focusing the end of pipe treatment – the Treatment Stations of Industrial Effluents.

Keywords: Cleaner Production. Wastewater Treatment Plants. WTP.

RESUMO

Inserção da metodologia de Produção Mais Limpa em Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) de indústrias no geral. O conceito fornecido pela Produção Mais Limpa permite sua aplicação aos tratamentos de fim de tubo, não se restringindo somente ao processo produtivo.

A aplicação desta ferramenta visa um incremento e a melhoria contínua do sistema de gestão ambiental englobando o tratamento de todo o tipo de poluição gerada, especificamente neste trabalho, os efluentes industriais.

As ETE, com um gerenciamento e operação adequados, além de minimizarem os efeitos poluidores dos efluentes gerados nas indústrias a níveis exigidos pela legislação aplicável ou a padrões de qualidade requeridos internamente em seu processo, podem controlar todo o processo produtivo interno a fábrica. Há a possibilidade de através dos diversos parâmetros processuais de controle detectar grande parte dos desvios produtivos ocorridos no interior da fábrica.

Com a aplicação da ferramenta de Produção Mais Limpa em Estações de Tratamento de Efluentes Industriais, demonstra-se através de suas diversas metodologias:

- ✓ A melhoria contínua em todos os processos produtivos e de tratamento de efluentes envolvidos na indústria;
- ✓ O aumento progressivo das eficiências processuais;
- ✓ Que investimentos e meio ambiente estão fortemente atrelados para o desenvolvimento da indústria e seu fortalecimento tanto a nível comercial quanto na sociedade.

Portanto, a abordagem dada para a Produção Mais Limpa neste trabalho é mais abrangente – enfocando os tratamentos fim de tubo – as Estações de Tratamento de Efluentes Industriais.

SUMÁRIO

	PÁGINA
CAPÍTULO I INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
1. A PRODUÇÃO MAIS LIMPA	3
1.1. FOCOS DE APLICAÇÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA	6
1.1.1. Matérias-primas, Insumos e Produtos	6
1.1.2. Processo ou Tecnologia	6
1.1.3. Modificações em equipamentos	9
1.1.4. Housekeeping	9
1.1.5. Melhores técnicas para gerenciamento de controles	9
1.1.6. Formas de segregação, reuso e reciclagem	11
1.2. ASPECTOS A SEREM AVALIADOS NUM PROJETO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA	11
1.3. O ELO DE LIGAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO MAIS LIMPA E TRATAMENTO DE EFLUENTES	12
1.4. DEMONSTRAÇÃO DO PROJETO DENTRO DA FÁBRICA	12
2. PRÉ-AVALIAÇÃO	13
2.1. EQUIPE DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA	13
2.2. SELEÇÃO DO FOCO DE IMPLANTAÇÃO	14
2.3. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS DE TRATAMENTO	14
2.4. PRODUÇÃO ATUAL	16
2.5. ENTRADAS PRINCIPAIS	16
3. BALANÇO E FLUXO DE MATERIAIS	17
3.1. FLUXOGRAMAS	17
3.2. BALANÇO MATERIAL	18
3.3. BALANÇO DE ENERGIA	19
3.4. CARACTERIZAÇÃO DE EFLUENTES E LODOS	20
4. SÍNTESE – IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE OPÇÕES	21
4.1. PROJEÇÃO DE OPÇÕES IDENTIFICADAS	21
4.2. OPÇÕES PARA IMPLEMENTAÇÃO DIRETA	21
4.3. ANÁLISE POSTERIOR DE OPÇÕES TRABALHÁVEIS	21
4.4. AVALIAÇÃO DAS OPÇÕES	22
5. PLANO DE AÇÃO	22
CAPÍTULO III MATERIAIS E MÉTODOS	24
1. HISTÓRICO	24
2. ANÁLISES REALIZADAS NO CONTROLE PROCESSUAL DE TRATAMENTO	27
3. METODOLOGIA DE ANÁLISE	29

SUMÁRIO

	PÁGINA
CAPÍTULO IV AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA EM INDÚSTRIA	31
1. A EMPRESA	31
2. HISTÓRICO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	31
2.1. PROJETO INICIAL: INÍCIO DAS ATIVIDADES EM COTIA (SP)	31
2.1.1. DESCRIÇÃO DA ETE	33
2.2.2. FLUXOGRAMA DA ETE	33
2.2.3. EVOLUÇÃO DA DQO E DBO AO LONGO DOS ANOS	34
2.2. AMPLIAÇÃO DA ETE	38
2.2.1. MUDANÇA DE TECNOLOGIA	38
2.2.2. AMPLIAÇÃO DO SISTEMA DE EQUALIZAÇÃO	40
2.2.3. AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA DE DOSAGENS DE PRODUTOS QUÍMICOS	40
2.2.4. AMPLIAÇÃO DO SISTEMA BIOLÓGICO AERÓBIO	41
2.2.5. OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE DESAGUAMENTO DE LODO	42
2.2.6. DESCRIÇÃO DA ETE APÓS AMPLIAÇÃO	43
2.2.7. FLUXOGRAMA DA ETE APÓS AMPLIAÇÃO	47
3. DEFINIÇÕES DAS ATIVIDADES DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA	48
3.1. DEFINIÇÃO DA EQUIPE DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA	49
3.1.1. ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO	49
3.1.2. ETE	50
3.1.3. ASSESSORIA EXTERNA	50
3.2. BALANÇO E FLUXO DE MATERIAIS	50
3.2.1. BALANÇO MATERIAL	50
3.2.1.1. DETERMINAÇÃO DOS PRINCIPAIS FLUXOS AFLUENTES DA ETE	52
3.2.1.2. DETERMINAÇÃO DOS PRINCIPAIS FLUXOS DE RESÍDUOS GERADOS NA ETE	56
3.2.1.3. DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE PRODUTOS QUÍMICOS NO PROCESSO DE TRATAMENTO	59
3.2.2. BALANÇO DE ENERGIA	60
3.3. CARACTERIZAÇÃO DE EFLUENTES	61
3.4. PONTOS E PARÂMETROS DE CONTROLE	62
4. ANÁLISE PROCESSUAL	62
4.1. PARTIDA E CONTROLE DO REATOR ANAERÓBIO	62
4.2. EVOLUÇÃO DA CARGA ORGÂNICA EM DQO A SER TRATADA NA ETE	63
4.3. EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DE DQO NO REATOR ANAERÓBIO	65
4.4. OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO DE PRODUTOS QUÍMICOS PARA O PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	66
4.5. ADEQUAÇÃO DE METODOLOGIA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO	68
4.5.1. ESTABELECIMENTO DOS PARÂMETROS DE CONTROLE PROCESSUAIS PARA OS PONTOS CRÍTICOS DA ETE	68
4.5.2. ESTABELECIMENTO DE LIMITES DE ALERTA	69
4.5.3. CONTROLE DA QUANTIDADE DE CARGA ORGÂNICA DE TRATAMENTO	70
4.6. ESCOLHA DE TECNOLOGIA DE TRATAMENTO PARA DESAGUAMENTO DE LODOS	73
4.7. ESCOLHA DA FORMA E LOCAL DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES	75
4.8. MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS	77
4.9. CUSTOS RELACIONADOS AO TRATAMENTO DE EFLUENTES	77
CAPÍTULO IV CONCLUSÃO	81

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

Minimizar os impactos ambientais causados pelos diversos processos produtivos necessários a evolução da humanidade tem se tornado uma preocupação constante na atualidade, no tocante a diminuição de emissões e riscos ao meio ambiente.

A mudança de postura em relação à visão do que é ecológica e ideologicamente correto em relação à preservação do meio ambiente traz diversas conseqüências benéficas tanto para a sociedade quanto para o meio ambiente.

Em termos de sociedade, as indústrias são o foco das atenções e, portanto, uma política de gestão ambiental pode trazer diversos benefícios:

- ✓ Fortalecimento da imagem da empresa no mercado e na sociedade;
- ✓ Redução de custos produtivos;
- ✓ Aumento da eficiência nos diversos processos;
- ✓ Maior conscientização de funcionários e empresa.

Existem diversas tecnologias empregadas para o controle da poluição, sendo que há controles para poluição atmosférica, resíduos e efluentes cada um com uma tecnologia específica.

Visando somente o controle da poluição proveniente de efluentes industriais, chega-se as Estações de Tratamento de Efluentes (ETE). As operações unitárias envolvidas na ETE têm como objetivo a remoção da carga poluidora em meios líquidos – a padrões aceitáveis pela legislação vigente ou para uso processual interno – com emprego de tecnologias de tratamento cada vez mais avançadas. O controle da poluição gerada é pré-requisito para o início de qualquer atividade produtiva.

O gerenciamento adequado da operação de tratamento de efluentes se faz necessário, pois exprime diversas atividades correlatas que interferem na eficiência do processo de tratamento da ETE:

- ✓ Requisitos da produção: alternância de insumos produzidos, regimes de operação (turnos, férias, manutenções);
- ✓ Manutenção preventiva e corretiva de equipamentos e unidades de tratamento de efluentes;

- ✓ Análises laboratoriais necessárias para o controle processual e averiguação de eficiências de tratamento;
- ✓ Controle do lodo gerado no processo de tratamento de efluentes;
- ✓ Recursos humanos: mão-de-obra qualificada para operação.

A PRODUÇÃO MAIS LIMPA pode ser a ferramenta auxiliar para a otimização de todos os processos envolvidos no tratamento de efluentes. Portanto, a partir da avaliação de uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais de uma indústria química ao longo dos anos e com a implementação da PRODUÇÃO MAIS LIMPA, serão apresentados e avaliados suas metodologias de aplicação e seus resultados.

CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. A PRODUÇÃO MAIS LIMPA

A Produção Mais Limpa é a aplicação contínua de planos de ação ambiental integrados e preventivos a processos, produtos e serviços, com a finalidade de aumentar a eficiência e reduzir riscos aos seres humanos e ao meio ambiente. ⁽¹⁾

Segundo YONG ⁽⁵⁾, a P+L é uma ferramenta muito útil na eliminação de perdas no processo e tem como objetivo reduzir os impactos resultantes da produção e serviços que possam refletir negativamente no meio ambiente, levando a redução de custos e aumento de benefícios.

Pode ser aplicada a processos produtivos através da conservação de matérias-primas, água e energia, eliminação de matérias-primas tóxicas e redução na fonte da quantidade e toxicidade dos resíduos e emissões gerados. ⁽³⁾

Já considerando os produtos, a P+L pode ser aplicada na redução dos impactos negativos dos produtos ao longo do seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até sua disposição final. ⁽³⁾

Em relação aos serviços, pode ser empregada na incorporação de questões ambientais para o planejamento e execução dos serviços. ⁽³⁾

Segundo o documento da CETESB ⁽³⁾, as práticas de P+L visam:

- ✓ Otimizar o uso de insumos e recursos disponíveis (água, energia, matérias-primas);
- ✓ Reduzir a geração de resíduos ou o uso de substâncias perigosas em suas atividades e processos produtivos;
- ✓ Melhorar da qualidade ambiental local e global;
- ✓ Bem estar da comunidade e das futuras gerações;
- ✓ Operar de forma ambientalmente segura e responsável;
- ✓ Alcançar um estágio superior ao de seus concorrentes em relação a melhor qualidade ambiental;
- ✓ Reduzir os custos envolvidos no tratamento de resíduos, na compra de matérias-primas e processos produtivos.

No caso de se minimizar a geração de resíduos deve-se também atentar para a geração de efluentes (uma vez que o lodo produzido no tratamento de efluentes é resultado de diversos fatores como sólidos em suspensão, sólidos sedimentáveis, cargas poluidoras, produtos químicos adicionados ao tratamento, além do lodo

biológico produzido) tentando-se reduzir os custos envolvidos no tratamento de ambos.

Os benefícios da implementação de um programa de P+L na indústria podem ser resumidos abaixo conforme o relatório CETESB ⁽³⁾:

- ✓ Melhoria da cidadania e desenvolvimento sustentável, compatibilizando avanço tecnológico e produtivo a menores impactos ambientais garantindo boas condições ou condições mais adequadas para as gerações futuras;

- ✓ Melhor qualidade de vida e melhoria da conscientização ambiental, educando todas as gerações atuais e principalmente as futuras para práticas ecologicamente corretas;

- ✓ Melhoria da qualidade ambiental local e global, através de fiscalizações e planos de conscientização ambiental;

- ✓ Economia de consumo de água e energia através de pesquisa e desenvolvimentos de novas tecnologias;

- ✓ Redução do uso de matérias-primas tóxicas ou não;

- ✓ Redução da geração de resíduos, emissões atmosféricas e efluentes;

- ✓ Aumento da segurança no ambiente de trabalho com conseqüente redução dos gastos relativos ao gerenciamento dos mesmos;

- ✓ Minimização da transferência de poluentes de um meio para outro;

- ✓ Melhoria do desempenho ambiental;

- ✓ Redução ou mesmo eliminação de conflitos junto aos órgãos de fiscalização, devido ao cumprimento da legislação vigente através da adequação das diversas formas de poluição com os padrões de descarte;

- ✓ Melhoria da motivação dos funcionários através da conscientização ambiental, aumento da importância da empresa no cenário público através de planos de ação para melhorias ambientais, certificações e reconhecimento de câmaras de comércio e associações comunitárias;

- ✓ Melhoria da imagem pública da empresa;

- ✓ Redução de possíveis conflitos com a comunidade circunvizinha, devido a força que esta pode ter em conjunto com o poder público influenciando no processo produtivo;

- ✓ Melhoria da competitividade da empresa e da qualidade do produto.

Este último item é um dos mais importantes quando analisada a questão das exportações. Grande parte das indústrias aqui instaladas tem uma porcentagem de sua produção voltada para exportação em países nos quais certificações como ISO 14001 e selo verde são premissas para entrada no mercado consumidor.

Além das melhorias mencionadas anteriormente, pode-se também relacionar um gerenciamento de todas as atividades envolvidas de forma mais sistematizada e uniformizada ⁽⁵⁾.

Todo o sistema de P+L implementado na indústria também pode servir como benchmarking para outras indústrias, tornando-se um centro de referência no mercado, agregando valor social e comercial para a mesma, sendo uma importante ferramenta a nível estratégico produtivo.

Portanto, nesta visão da P+L são adotadas práticas de minimização de desvios processuais com o objetivo de aumentar a ecoeficiência dos processos produtivos. Estas práticas incluem o controle na fonte a partir de melhorias operacionais, mudanças de insumos e/ou aperfeiçoamento dos processos.

Segundo o Guia da Produção Mais Limpa ⁽¹⁶⁾, a P+L proporciona benefícios para o meio ambiente através da redução de riscos ambientais aos seres vivos, trazendo ganhos econômicos para a empresa. Isto contribui para a economia de recursos naturais, a melhoria da imagem e o aumento de competitividade.

Analisando a parte de efluentes, devem ser adotadas medidas para seu reuso, seja para um fim mais nobre, como seu emprego em processos produtivos, ou menos nobre, como rega de jardins, água para lavagem de pisos, descarga de sanitários, etc.. Por último, devem ser identificadas medidas para adequar os efluentes ao descarte em redes públicas ou corpos receptores.

Visando a adequação dos efluentes para o seu descarte, no geral a prática mais usual, o presente trabalho apresenta uma abordagem da extensão da P+L ao processo de fim de tubo, que é o tratamento de efluentes industriais numa ETE.

Quanto maior o controle processual, menores são as chances de oscilações nas eficiências de processo, melhor é a relação consumo de matérias-primas versus produto produzido e menores as gerações de efluentes e resíduos devido a desperdícios no processo. Por conseguinte, podem ser minimizados os volumes a serem tratados e os custos resultantes deste tratamento devido a otimização dentro da produção.

Vale ressaltar que são necessários estudos mais aprofundados para a efetivação de menores volumes de carga poluidora produzida e queda de custos. Mas, para uma pré-avaliação do processo, numa visão sistêmica mais simplista, tal abordagem é factível. No entanto, menores volumes podem significar às vezes concentrações maiores de poluentes.

Devem ser otimizadas as eficiências processuais, processos e gerenciamento operacional para redução de custos, prevenção a poluição no processo produtivo, visando a minimização de perdas no mesmo. Todos estes objetivos a serem

alcançados com o auxílio da ETE, auxiliam no controle do processo produtivo possibilitando uma auditoria interna na indústria.

Devido a todos os pontos que a P+L abrange através de sua metodologia é possível implementá-la também na ETE, ultrapassando a barreira dos processos produtivos envolvidos na indústria, isto é, não se limitando a atuar somente em processos que não sejam end-of-pipe (fim de tubo).

1.1. FOCOS DE APLICAÇÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA

A implementação da P+L em processos industriais pode ser realizada através da avaliação de cada item descrito a seguir considerando as seguintes ações para cada um deles: Ajustes; Substituições ou Mudanças; Otimização; Minimização e Padronização.

1.1.1. Matérias-primas, Insumos e Produtos

As ações constantes deste item abrangem segundo as referências ^(1,2):

- ✓ Substituição de produtos químicos utilizados no processo;
- ✓ Mudança de fornecedor destes produtos químicos;
- ✓ Melhoria no preparo de soluções com os produtos químicos através de otimizações de dosagem e minimização de perdas durante a preparação;
- ✓ Substituição de embalagens para evitar desperdícios do produto químico através de derramamento durante manuseio ou acúmulo em pontos mortos da embalagem;
- ✓ Modificações no produto químico através da alteração de sua formulação.

1.1.2. Processo ou Tecnologia

Nas ações referentes a processo ou tecnologia, podem ser mencionadas as que se seguem ^(1, 2):

- ✓ Mudança de tecnologia em substituição por outra menos poluidora sempre buscando uma maior eficiência;
- ✓ Modificação no processo envolvendo a inclusão ou exclusão de etapas ou sistemas;

✓ Ajustes de layout de processo através da alteração na disposição física dos equipamentos utilizados visando economizar recursos, minimizar a possibilidade de acidentes e/ou eliminar pontos de geração de poluentes como por exemplo, concentrando todos os equipamentos em uma mesma área (menores custos de processo com logística, tubulações e acessórios para encaminhamento de produtos de um setor a outro, tubulações e fiações aéreas, equipamentos com certo nível de poluição sonora);

✓ Automação de processos.

Outras ações que podem ser tomadas são referentes ao uso de energia em suas diversas formas (para os processos produtivos), emissões atmosféricas, odores, poluição sonora e efluentes:

✓ Uso de energia ⁽⁶⁾

Através da avaliação da utilização de energia elétrica, combustíveis fósseis, carvão mineral e vegetal, biogás e gás natural nos diversos processos visando a alteração, sempre que possível, para energias limpas. Dentre as energias limpas, podem ser mencionadas as seguintes: eletricidade, biogás e gás natural.

Inserção de boas práticas para conservação de energia (planos para redução do consumo de energia; uso racional de energia – desligamento de equipamentos em stand-by, iluminação em pontos de menor circulação através de sensores de movimento, planos de conscientização para os funcionários; redução de emissões de gases de efeito estufa).

Elaboração de projetos para co-geração de energia (reaproveitamento de compostos com poder calorífico para queima e geração de energia) e células de energia solar.

✓ Emissões atmosféricas ⁽⁶⁾

Controle de emissões de material particulado, gases de combustão de combustíveis fósseis (queima completa e incompleta), NO_x, SO_x.

✓ Odores e poluição sonora ⁽⁶⁾

Projetos para minimização de odores e controle da poluição sonora a fim de evitar prejuízo as comunidades vizinhas. Plano de ação baseado no alerta da comunidade a indústria para minimização dos problemas: ações conjuntas entre comunidade e indústria.

✓ Efluentes

Planos de ação para minimização de volumes e cargas poluidoras de tratamento e controle dos diversos parâmetros necessários para a avaliação do processo de tratamento dos efluentes através da elaboração de um plano de controle operacional para a ETE que tem como objetivos ⁽¹¹⁾:

- Tratamento de efluentes com a qualidade que satisfaça os padrões de lançamento;
- Redução da variabilidade da qualidade do efluente;
- Monitoramento do processo a fim de evitar grandes variações no processo de tratamento;
- Redução de custos operacionais;
- Aumento da capacidade de tratamento sem a expansão física do sistema;
- Redução da necessidade de mão de obra;
- Auxílio na partida da planta de forma mais rápida.

O monitoramento do sistema de tratamento é definido para cada caso de acordo com o tipo de tratamento empregado e a qualidade dos efluentes a serem tratados. Von Sperling ^(11,12) menciona que devem ser verificados os impactos de lançamento de esgotos e o atendimento a legislação, implementando um controle operacional estabelecendo as seguintes variáveis:

- Variáveis de entrada: parâmetros que determinam a característica do efluente: DQO, DBO, SST;
- Variáveis de controle: OD, sólidos no reator anaeróbio e tanque de aeração e todos os parâmetros necessários para averiguação dos padrões de descarte (variáveis de saída);
- Variáveis medidas: variáveis de entrada, de controle ou outras que fornecem informações para a definição da ação de controle;
- Variáveis manipuladas: são as variáveis alteradas para manutenção das variáveis de controle na faixa desejada (vazão de recirculação de lodo, vazão de lodo descartado).

Para a análise dos parâmetros, recomenda-se que seja realizada através de amostras compostas do esgoto nos pontos de coleta com o desenvolvimento de um tratamento estatístico com médias, mínimo e máximo, gráficos de controle para concentrações indicando o valor permitido pela legislação ⁽¹²⁾.

Segundo von Sperling ⁽¹²⁾, além destes pontos, também deve-se estabelecer um programa de automonitoramento do sistema de tratamento entre Órgãos Ambientais e Empreendedores, para uma relação de parceria na busca comum do melhor desempenho ambiental. Cada Órgão Ambiental pode especificar os parâmetros a serem analisados, as condições e frequências de amostragem e periodicidade de envio de relatórios, atividades estas de responsabilidade do empreendedor.

1.1.3. Modificações em equipamentos

Através de ajustes mecânicos e elétricos para aumento de eficiência, menor consumo de energia elétrica ou combustíveis, diminuição de manutenções preventivas ou corretivas com ônus em peças, tempo de trabalho e mão de obra. ⁽¹⁾

1.1.4. Housekeeping

Segundo Nunes, housekeeping é uma ferramenta que auxilia a organização geral da empresa. É de rápida implementação e baixo investimento com boa taxa de retorno.⁽⁸⁾ Visa a otimização de parâmetros processuais, padronização de procedimentos, melhoria do sistema de compras e informações. ^(1,2)

O programa de housekeeping pode gerar os seguintes resultados imediatos na empresa ⁽¹³⁾:

- ✓ Melhoria da qualidade dos serviços;
- ✓ Menor desperdício de materiais, energia e mão-de-obra e, por conseguinte, redução nos custos;
- ✓ Ganhos de imagem da empresa internamente e junto a clientes;
- ✓ Espírito de equipe e elevação do moral dos funcionários com melhora na qualidade de vida;
- ✓ Redução do risco de acidentes;
- ✓ Atmosfera de cooperação, participação, responsabilidade e criatividade;
- ✓ Combate às formas de poluição através de planos de minimização de desperdícios no processo produtivo levando a menores taxas de emissões atmosféricas, efluentes e resíduos;
- ✓ Fornecimento de base cultural para novas melhorias, buscando uma melhoria contínua de todos os processos envolvidos, despertando o sentido de aperfeiçoamento;
- ✓ Aprimoramento da relação entre a empresa e o trabalhador;
- ✓ Viabilização da implantação de outros programas, acelerando a modernização da empresa.

1.1.5. Melhores técnicas para gerenciamento de controles ⁽¹⁾

O gerenciamento adequado de um determinado processo pode levar a obtenção de um produto que atenda melhor sua finalidade bem como o

desenvolvimento organizacional das áreas envolvidas. Um planejamento eficaz produz uma sólida base de projeto com todo o know-how agregado: experiência, tecnologia e documentação. Por conseguinte, pode-se atingir economia de tempo e custo no desempenho de tarefas futuras. ⁽¹⁴⁾

Os pontos a serem gerenciados englobam desde trocas de informações e tecnologias até o gerenciamento em si, para materiais e equipamentos, operação, manutenção, organização e administração, visando custo, tempo e qualidade. Podem ser destacados os seguintes pontos:

- ✓ Controle e medição de eficiências ambientais ⁽⁶⁾

Atividades relacionadas a: materiais; energia; água; biodiversidade; emissões (gases efeito estufa, gases prejudiciais a camada de ozônio, emissões de gases ácidos, redução de emissões de poluentes químicos, odores), resíduos (resíduos perigosos e não-perigosos), efluentes e ruídos locais; produtos e serviços; matérias-primas; transporte e logística; atividades de tratamento e remediação, investimentos em saúde, segurança e meio ambiente.

- ✓ Legislação local aplicável ⁽⁶⁾

Participação de comitês técnicos específicos para discussão, revisão e implementação de dispositivos legais relacionados a aspectos ambientais aplicáveis a área de atuação.

- ✓ Fiscalização e auditorias em fornecedores e prestadores de serviços ⁽⁶⁾

Para averiguação do atendimento do comprometimento ambiental exposto pela indústria.

Todas estas atividades têm como finalidade a minimização dos custos envolvidos no gerenciamento de controles através da melhoria contínua da qualidade dos produtos, serviços e atividades visando rentabilidade organizacional, benefício as pessoas envolvidas direta e indiretamente, mas sempre considerando as necessidades da sociedade.

No entanto, deve-se atentar para as estruturas de comunicação a fim de evitar falhas na passagem de informações entre setores e divergências de entendimento eliminando as barreiras entre os envolvidos.

O gerenciamento deve ser vertical, do nível responsável pelas decisões ao nível responsável pelas ações, devendo atingir todos os níveis da empresa. ⁽¹⁴⁾

1.1.6. Formas de segregação, reuso e reciclagem ⁽¹⁾

Inicialmente, deve-se atuar na minimização da geração de efluentes, resíduos sólidos e emissões atmosféricas, através de planos de gerenciamento de controles. Quando todas as alternativas de minimização da geração forem esgotadas, então, deve-se optar para a etapa de segregação, reuso e reciclagem.

Todos os tipos de rejeitos processuais devem ser segregados durante o processo a fim de facilitar tanto seu tratamento (emissões e efluentes) quanto sua disposição final (resíduos).

Devem ser elaborados planos para reuso de efluentes e reuso e reciclagem de resíduos sólidos. Para todos os rejeitos gerados a partir do tratamento de efluentes, resíduos e emissões ⁽⁶⁾, deve haver rastreamento do destino final para quaisquer métodos empregados: reciclagem, reuso, tratamento no local ou fora da planta e disposição em aterros.

1.2. ASPECTOS A SEREM AVALIADOS NUM PROJETO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA

A P+L pode contemplar planos de ação com o objetivo de primeiro prevenir e depois controlar os processos, produtos e serviços, isto é, elaborar planos de ação preventivos para posteriormente efetuar todos os controles processuais necessários⁽⁵⁾, realizando a operação do sistema de tratamento de uma forma segura e eficaz.

Ainda segundo YONG ⁽⁵⁾, deve-se incluir planos para eventos inesperados com as medidas cabíveis a serem tomadas com simulações das mesmas para avaliação da eficiência de ação de cada medida.

Na ETE devem ser analisadas a viabilidade de se implementar planos de:

- ✓ Minimização e otimização do consumo de produtos químicos;
- ✓ Reuso de efluentes no interior da fábrica;
- ✓ Reciclagem dos resíduos gerados na ETE;
- ✓ Gerenciamento de controles;
- ✓ Melhorias processuais com emprego de novas tecnologias, produtos químicos ou técnicas de gerenciamento;
- ✓ Reaproveitamento energético a partir de biogás, óleos removidos no processo ou do lodo gerado.

1.3. O ELO DE LIGAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO MAIS LIMPA E TRATAMENTO DE EFLUENTES

O tratamento de efluentes é parte vital para todos os processos produtivos, pois seja a água na sua forma pura ou em solução com outra substância, ou mesmo sem sua utilização no processo em si (ao menos na limpeza de equipamentos ou da planta produtiva) há a necessidade de seu tratamento.

A visualização de grande parte das mudanças processuais ocorridas no interior da fábrica pode ser detectada durante o processo de tratamento de efluentes. Isto ocorre devido a vasta gama de parâmetros processuais envolvidos no tratamento de efluentes que pode ser controlada através de análises químicas aliadas a medições de vazão, pH, temperatura, OD, etc.

A idéia de se realizar a P+L numa ETE é justamente concatenar as práticas de minimização tanto no processo produtivo quanto na ETE, haja visto a definição de P+L apresentada, principalmente no que tange a sua finalidade.

Toda alteração de processo, seja por aumento na produção, manutenção em algum estágio produtivo ou desperdícios de energia (detectados principalmente na forma térmica) ou matéria-prima podem ser detectados na ETE através do controle de parâmetros de tratamento como DQO, DBO, temperatura, pH, análises de metais, O&G.

Portanto, as Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), que são as unidades de tratamento de todo o efluente industrial proveniente dos diversos processos industriais de determinada planta, fazem o papel de auditores analisando o processo produtivo da fábrica, orientando e servindo como instrumento de P+L no interior da indústria, além de também ser alvo desta importante ferramenta.

1.4. DEMONSTRAÇÃO DO PROJETO DENTRO DA FÁBRICA

Os pontos a serem destacados e trabalhados dentro de um projeto de P+L em Estações de Tratamento de Efluentes são a otimização do processo de tratamento de efluentes e o gerenciamento da operação da ETE através do emprego dos princípios de Produção Mais Limpa.

Para a demonstração da eficácia do projeto de P+L devem ser estabelecidos parâmetros de ecoeficiência para mensurar a evolução da implementação das orientações de P+L.

A partir destes dois tópicos, devem ser estabelecidas ações para ⁽⁴⁾:

- ✓ Reduções de custos no tratamento de efluentes e resíduos gerados (lodos dos tratamentos de efluentes e sua disposição final), através da minimização e/ou erradicação de vazamentos, derramamentos, operação inadequada, falta de manutenção nos equipamentos, quantidade e toxicidade de produtos químicos utilizados (matérias-primas, reagentes de laboratório, produtos para tratamento de efluentes, produtos para limpeza e desinfecção e demais produtos utilizados na planta) e a própria geração de resíduos e efluentes;
- ✓ Menores flutuações na eficiência processual de tratamento;
- ✓ Menores riscos operacionais aos envolvidos (risco a saúde ocupacional dos trabalhadores) com a realização de treinamentos;
- ✓ Introdução de planos de contingência para possíveis acidentes ou problemas na operação.
- ✓ Atendimento a legislação vigente;
- ✓ Reuso de efluentes e reaproveitamento de biogás, óleos e lodos como forma de co-geração de energia.

2. PRÉ-AVALIAÇÃO

2.1. EQUIPE DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Corpo técnico responsável pela área compreendida pela Estação de Tratamento de Efluentes em conjunto com os funcionários de cada setor produtivo da fábrica.

Como a P+L analisa todo o processo produtivo, há a necessidade de se formar uma equipe multidisciplinar (processos produtivos e ETE) para troca de experiências e elaboração de planos de ação para melhorarias da planta. Vale ressaltar que se a equipe se restringisse somente ao pessoal da ETE, este processo seria limitado pelo não conhecimento a fundo de todos os processos produtivos envolvidos na fábrica. Além disso, há o problema da limitação da troca de informações entre áreas.

Outro ponto a se considerar, é que se fosse uma ETA o processo correria com maior fluidez, pois a água é insumo de produção, portanto, afetando diretamente a mesma. Isso acarretaria uma relação mais estreita entre processo de tratamento de água e efluentes e produção.

Segundo YONG ⁽⁵⁾, através de auditorias internas a equipe pode identificar todos os fatores que afetam a qualidade ambiental local, relacionando aspectos e oportunidades de melhoria com os respectivos desenvolvimentos de planos de ação detalhados e divididos em controle de emissões atmosféricas, geração de efluentes e resíduos.

2.2. SELEÇÃO DO FOCO DE IMPLANTAÇÃO

Seleção dos pontos críticos através de análises dos princípios observados na metodologia para implementação da Produção Mais Limpa. Neste estudo, o foco é a ETE, mas vale ressaltar que devido a capacidade da ETE auditar os processos produtivos, os efeitos de sua análise acabam se estendendo até o interior da fábrica.

2.3. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS DE TRATAMENTO

Os processos de tratamento de efluentes são formados por diversas operações unitárias que têm a finalidade de remover substâncias indesejáveis ao efluente a padrões aceitáveis ou transformar as mesmas em outras aceitáveis, segundo sua finalidade, seja ele para descarte em corpos d'água ou para reuso (fins industriais: águas de processo ou águas para outras finalidades menos nobres, como em lavatórios, rega de jardins, lavagem de áreas da fábrica, etc.).

Os métodos de tratamento de efluentes podem ser classificados em: ⁽¹⁵⁾

✓ Métodos físicos de tratamento, consistindo na separação de sólidos grosseiros (madeira, panos, estopas, sacos plásticos e demais materiais de dimensões maiores) através de grades e peneiras, sólidos sedimentáveis (principalmente areia) através de caixas de areia e separadores de óleos e gorduras, que através da diferença de peso específico entre a água e óleos realiza sua separação. Estes principais métodos físicos visam proteger todo o sistema de tratamento a sua jusante evitando entupimentos de tubulações e quebra dos motores das bombas devido a presença de sólidos maiores e materiais com viscosidade maior

além de prevenir possíveis desgastes das tubulações e bombas devido a abrasão de materiais, como areia.

- ✓ Métodos físico-químicos: processos de coagulação-floculação para remoção de sólidos material coloidal, cor, turbidez, odor, ácidos, álcalis, metais e óleos. São processos destinados a dar um grau de esteticidade adequado ao esgoto além de promover uma adequação de seu efluente para a etapa biológica (caso seja um esgoto proveniente de um processo que contenha metais no seu efluente).

- ✓ Métodos biológicos: processo de oxidação da matéria orgânica biodegradável do efluente através de microrganismos aeróbios ou digestão da mesma por microrganismos anaeróbios presentes no próprio esgoto. Têm como objetivo adequar o efluente para uma carga orgânica satisfatória para descarte em corpos d'água ou para o processo seguinte de tratamento. Para o lodo formado tanto nos processos aeróbios quanto anaeróbios existem os processo de estabilização do lodo (digestão do lodo). A estabilização do lodo pode se dar através de processos aeróbios ou anaeróbios visando obter um lodo com baixíssima ou nenhuma atividade oxidativa para uma disposição final livre de odor.

Dentre as operações unitárias mais empregadas, podem ser destacadas as seguintes:

- ✓ Gradeamento: processo de tratamento em que o material flutuante e a matéria em suspensão de tamanho maior (sólidos mais grosseiros) são removidos do processo através de sua retenção nas grades, cujos espaçamentos entre barras são inferiores ao tamanho do sólido. Servem como proteção a bombas e tubulações, processos de tratamento subseqüentes e corpos receptores.

- ✓ Sedimentação: processo de remoção de sólidos sedimentáveis através da ação da gravidade sem que possam ser arrastados novamente pelo escoamento do efluente.

- ✓ Coagulação química: processo de desestabilização das cargas de partículas coloidais presentes no efluente formando hidróxidos de metais através da adição de sais de alumínio ou ferro (coagulantes). Processo extremamente rápido (na ordem de 5 segundos) e que demanda um alto gradiente de velocidade. Há a formação de pequenos flocos, mas sem massa suficiente para sedimentação.

- ✓ Floculação química: processo de aglutinação dos flocos formados na coagulação química através da ação de floculantes facilitando a sedimentação devido a união de vários flocos gerando um floco maior.

- ✓ Flotação: processo de remoção de sólidos suspensos a partir do aumento do empuxo dos mesmos no efluente através da adição de agentes químicos flotantes ou por pequenas bolhas de ar que quando sofrem expansão através da diminuição de

pressão (câmara pressurizada para pressão atmosférica) sobem a superfície e são raspados.

- ✓ Trocas gasosas: transporte de massa entre as fases líquida e gasosa para inserção de substâncias na fase gasosa para tratamento de efluentes (efluente e ar, efluente e oxigênio, efluente e gás-cloro, etc) ou remoção de contaminantes (remoção de amônia).

- ✓ Filtração: operação que visa a remoção de substâncias do efluente através de material filtrante como areia, antracito e até membranas. As substâncias removidas podem ter diversos tamanhos: desde materiais em suspensão até substâncias que se encontram dissolvidos.

- ✓ Adsorção: processo de transferência de massa no qual o contaminante é adsorvido em material poroso, comumente utilizado carvão ativado em pó ou granular.

- ✓ Neutralização química: adição de agentes alcalinizantes ou acidificantes no efluente de forma a levar o pH a faixas aceitáveis para descarte ou de acordo com o pH necessário na etapa seguinte do processo de tratamento.

- ✓ Desinfecção: processo economicamente viável de eliminação de organismos patogênicos através de agentes desinfectantes.

- ✓ Processos Biológicos: operação em que microrganismos aeróbios ou anaeróbios degradam a matéria orgânica biodegradável transformando-a em produtos finais mais simples.

2.4. PRODUÇÃO ATUAL

Avaliação de toda a capacidade de tratamento da planta, através da análise das vazões e concentrações em cada etapa do tratamento de efluentes industriais, averiguação das eficiências das unidades de tratamento e comparação com os dados de projeto.

2.5. ENTRADAS PRINCIPAIS

Num processo de tratamento de efluentes industriais podem ser destacadas duas principais correntes a serem tratadas na ETE:

- ✓ Fluxo de efluentes proveniente da produção, segregado ou não, de acordo com cada linha do sistema produtivo;

✓ Fluxo de efluentes da própria ETE proveniente de uma determinada operação unitária de tratamento.

Este segundo item abrange os seguintes efluentes de acordo com a sua origem:

- Águas de contralavagem de filtros ou membranas provenientes de unidades de filtração;
- Efluentes oriundos de banhos químicos de membranas ou unidades de desmineralização de água;
- Clarificados de sistemas de adensamento de lodo;
- Clarificados ou filtrados de sistemas de desaguamento ou desidratação de lodo.

3. BALANÇO E FLUXO DE MATERIAIS

Esta etapa de conhecimento do processo produtivo através de balanços de massa e energia e fluxos de entrada e saída de materiais é fundamental e crítica para uma correta avaliação dos pontos de atuação da Produção Mais Limpa.

3.1. FLUXOGRAMAS

O processo de tratamento de efluentes pode conter as seguintes unidades de tratamento:

- ✓ Tratamento primário: compreendendo os métodos físicos e físico-químicos;
- ✓ Tratamento secundário: compreendendo os métodos biológicos;
- ✓ Tratamento terciário: compreendendo os métodos de filtração e desinfecção.

Um esquema simplificado de um processo genérico de tratamento de efluentes industriais é o apresentado a seguir:

FIGURA II-1 – ESQUEMA SIMPLIFICADO DE UM PROCESSO GENÉRICO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Como a implementação da Produção Mais Limpa será galgada em cima de uma indústria química, será apresentado posteriormente um fluxograma esquemático do processo de tratamento da planta em questão.

3.2. BALANÇO MATERIAL

Os fluxos de entrada e saída envolvidos no processo de tratamento de efluentes podem ser divididos da seguinte forma:

- ✓ Afluentes a ETE;
- ✓ Efluentes a ETE;
- ✓ Resíduos resultantes de gradeamento;
- ✓ Lodos gerados nas diversas etapas de tratamento;
- ✓ Consumo de produtos químicos para tratamento.

Para o conhecimento desta etapa é necessária a caracterização dos efluentes a serem tratados, isto é, desde o conhecimento do regime de vazões para a determinação da vazão de projeto até os principais componentes presentes no efluente do processo que necessitam de tratamento para adequação aos padrões de descarte ou seu reuso para alguma atividade dentro da fábrica. A etapa de caracterização dos efluentes está descrita no item “3.4. CARACTERIZAÇÃO DE EFLUENTES”.

3.3. BALANÇO DE ENERGIA

Para a elaboração dos balanços de energia envolvidos no processo de tratamento de efluentes, devem ser observados os seguintes pontos de consumo e geração de energia:

- ✓ Equipamentos elétricos necessários ao tratamento de efluentes (bombas, sopradores e compressores de ar; aeradores superficiais mecânicos e submersos, misturadores submersíveis, misturadores para produtos químicos e para coagulação e floculação, válvulas elétricas, equipamentos para automação, equipamentos de campo para medição e controle de processo, equipamentos de adensamento e desaguamento de lodo, etc);
- ✓ Biogás gerado em processos anaeróbios de tratamento de efluentes e lodos;
- ✓ Resíduos com poder calorífico para utilização como combustível alternativo em processos de combustão.

Para o ponto de consumo de energia para alimentação dos equipamentos elétricos, os balanços de energia envolvidos poderão ser simplificados apenas para o levantamento total de consumo de energia elétrica através da potência de cada equipamento e tempo de funcionamento num determinado intervalo de tempo e posterior avaliação de taxa consumida de forma excessiva.

Podem ser realizados estudos para realocar determinados equipamentos para horários de funcionamento em que a taxa cobrada pela concessionária fornecedora de

energia elétrica seja menor, mas sem prejuízo ao processo de tratamento de efluentes.

Para o biogás formado nos processos de tratamento, o balanço energético se estenderia para todas as reações bioquímicas cujo resultado fosse a geração de biogás utilizável em processos de combustão, evaporação e aquecimento.

Para o lodo gerado, poderia ser realizado um estudo para averiguação do poder calorífico do mesmo podendo ser utilizado como insumo para fornos de co-processamento ou outra forma de disposição cujo impacto ambiental fosse positivo.

3.4. CARACTERIZAÇÃO DE EFLUENTES E LODOS

Os efluentes industriais podem apresentar as seguintes características:

- ✓ Baixa ou alta carga orgânica;
- ✓ Baixa ou alta carga de compostos inorgânicos;
- ✓ Combinação das hipóteses anteriores.

Considerando também que todo o processo de tratamento de efluentes gera lodos devido a remoção da carga poluidora, há a necessidade de separá-los segundo suas características processuais. O lodo pode ser dividido em:

- Lodos primários provenientes de decantadores primários (lodos extremamente agressivos por serem os que possuem maior carga poluidora, pois são retidos e removidos no início do processo);
- Lodos de processos de tratamento físico-químico;
- Lodos secundários (provenientes de processos biológicos aeróbios e anaeróbios de tratamento);
- Lodos provenientes de processos de filtração (material resultante de contralavagem de filtros, biofilmes de processos de filtração por membranas).

Todos esses tipos de lodo gerados podem apresentar as seguintes características:

- ✓ Lodo digerido ou estabilizado, isto é, sem atividade biológica;
- ✓ Lodo não digerido, isto é, com capacidade biológica de remoção de carga orgânica biodegradável;

4. SÍNTESE – IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE OPÇÕES

Identificação e avaliação dos pontos de melhoria segundo dados de campo obtidos nas ETE das indústrias. Este levantamento pode ser avaliado através de indicadores ambientais obtidos durante a operação do sistema para avaliação da eficiência de processo de tratamento, considerando níveis de remoção de carga orgânica e metais, quantidade de lodo gerada, vazão de efluente tratado, consumo de produtos químicos, consumo de água por distribuidora e/ou águas subterrâneas e consumo de energia elétrica.

O levantamento das opções a serem implementadas podem ser divididas em opções para implementação direta e as trabalháveis. Devem ser elaborados estudos para análise dos efeitos de cada medida a ser introduzida prevendo as possíveis mudanças que poderão ocorrer no processo.

Ambas as opções exigem uma avaliação de prioridade entre as mesmas cabendo a seguinte classificação: primeiramente as melhorias que não envolvem custos de implantação e então as que possuem custos de implantação.

4.1. PROJEÇÃO DE OPÇÕES IDENTIFICADAS

Seleção de todos os pontos passíveis de otimização embasados na Produção Mais Limpa. Estabelecimento de cronogramas das atividades estabelecidas em relação aos pontos de mudança, com as metas e os responsáveis pela implementação das atividades.

4.2. OPÇÕES PARA IMPLEMENTAÇÃO DIRETA

Pontos de melhoria sem custos de implantação classificados de acordo com a facilidade de implantação.

4.3. ANÁLISE POSTERIOR DE OPÇÕES TRABALHÁVEIS

Pontos de melhoria com custos de implantação classificados de acordo com a prioridade de implantação. Devem ser avaliadas as prioridades de acordo com a

seqüência lógica envolvida no tratamento de efluentes, considerando todas as operações unitárias do tratamento primário, secundário e terciário, nesta seqüência.

Esta seqüência de implementação visa evitar ou ao menos minimizar as possíveis variações (efeitos negativos) que o sistema de tratamento porventura possa sofrer e que não tenham sido previstas em projeto, acarretando mudanças na seqüência dos pontos de melhoria segundo a P+L.

4.4. AVALIAÇÃO DAS OPÇÕES

Através de indicadores ambientais, todas as opções podem ser mensuradas e avaliadas para acompanhamento da evolução dos pontos de melhoria contínua envolvidos no processo de Produção Mais Limpa.

São indicadores atrelados a quantidade de efluente tratado, carga poluidora afluente a ETE, lodo gerado e consumo de produtos químicos e outros insumos envolvidos no tratamento de efluentes industriais (água para limpeza da ETE, preparação de soluções, energia elétrica entre outros).

5. PLANO DE AÇÃO

Deve ser elaborado um plano de ação com cronogramas de todas as atividades a serem desenvolvidas visando a implementação da Produção Mais Limpa de acordo com a prioridade, facilidade e custos de implantação. A definição destes parâmetros depende da estrutura e grau de mobilidade de decisão de cada indústria, pois muitas delas são filiais e o tempo de resposta pode ser elevado devido ao porte da indústria.

Os cronogramas devem contemplar os objetivos a serem atingidos com os respectivos prazos de cumprimento (metas) bem como o andamento de cada um deles, mencionando sua situação ao longo do prazo estabelecido.

Para cada atividade estabelecida, devem ser designados os responsáveis pelas ações com uma coordenação central das atividades.

Como exemplos de atividades a serem introduzidas num plano de ação de P+L, pode-se mencionar:

- ✓ A segregação de efluentes de acordo com as características de cada um (vazão, periodicidade de descarte, características orgânicas e inorgânicas e

tratabilidade). Cada linha de tratamento deve receber efluentes com características semelhantes para facilitar o tratamento: devem ser realizados ensaios de tratabilidade nos diversos efluentes determinando quais podem ser tratados em conjunto com a melhor composição de tratamento de cada um e as dosagens de produtos químicos.;

- ✓ Introdução de ensaios de jarros para tratamentos físico-químicos e sistemas de desaguamento de lodo para a determinação das dosagens ideais de produtos químicos;
- ✓ Medição de OD para verificação de zonas anóxicas em tanques de tratamento biológico aeróbio;
- ✓ Reuso dos efluentes tratados na ETE: tratamento de efluentes com posterior reuso em diversas atividades passíveis de utilização dentro da indústria;
- ✓ Determinação de indicadores ambientais.

CAPÍTULO III – MATERIAIS E MÉTODOS

1. HISTÓRICO

Para a avaliação do processo de tratamento de efluentes da FIRMENICH, foi elaborado um programa de análises a fim de verificar a qualidade do efluente desde a entrada na ETE até seu descarte no corpo receptor (Córrego Moinho Velho).

O programa de análises foi elaborado visando um mapeamento de todo o processo de tratamento de efluentes, averiguando os parâmetros principais de controle, as eficiências de remoção da carga poluidora e a qualidade do efluente em cada etapa do processo. A FIGURA III-1 a seguir apresenta os pontos de coleta de amostras para análises em cada etapa de tratamento da ETE:

FIGURA III-1: FLUXOGRAMA ESQUEMÁTICO DOS PONTOS DE ANÁLISES

A partir da determinação dos pontos essenciais de coleta de amostras para análise, foram determinados os respectivos parâmetros de controle e a periodicidade de cada um deles para coleta e análise, de acordo com a TABELA III-2.

<i>identificação</i>	<i>localização</i>	<i>periodicidade</i>	<i>parâmetro analisado</i>
1	efluente industrial bruto	03 vezes por dia	pH, temperatura
		01 vez por semana	DQO, DBO, O&G
2	tanque de equalização	01 vezes por dia	OD
		01 vezes por dia	SST, SSV, SSF
		03 vezes por dia	pH, temperatura
		03 vezes por semana	DQO, DBO, O&G
3	saída do tratamento físico-químico	03 vezes por dia	pH, temperatura
		03 vezes por semana	DQO, DBO, O&G, SST, SSV, SSF
4	entrada do reator anaeróbio	03 vezes por dia	pH
		01 vez por semana	sulfato, sulfeto
		03 vezes por semana	N, P
5	reator anaeróbio	03 vezes por dia	pH, temperatura, acidez, alcalinidade
		01 vez por mês	porcentagem de gás carbônico
6	saída do reator anaeróbio	01 vez por dia	SS _{60 minutos}
		03 vezes por dia	pH, temperatura
		01 vez por semana	sulfato, sulfeto
		03 vezes por semana	DQO, DBO, SST
7	esgoto doméstico bruto	03 vezes por dia	pH, temperatura, SS _{60 minutos}
		03 vezes por semana	DQO, DBO, O&G
8	tanque de aeração	03 vezes por dia	pH, temperatura, OD, SS _{30 minutos} , SS _{60 minutos}
		01 vez por dia	SST, SSV, SSF
		03 vezes por semana	N, P
9	saída do efluente tratado	03 vezes por dia	pH, temperatura, OD, SS _{60 minutos}
		03 vezes por semana	DQO, DBO, O&G
10	entrada do sistema de desaguamento	01 vez por semana	ST
11	saída do sistema de desaguamento	01 vez por semana	ST

TABELA III-1: PROGRAMA DE ANÁLISES PROPOSTO PARA UMA ETE COM SISTEMA ANAERÓBIO SEGUIDO DE AERÓBIO

A sistemática de análise dos parâmetros de uma ETE depende das características dos efluentes a serem tratados e do processo de tratamento empregado, englobando as principais fases de tratamento.

Na TABELA III-1 são apresentados os principais parâmetros de controle e a metodologia de elaboração de um plano de amostragem considerando um sistema composto de tratamento anaeróbio seguido de lodos ativados.

As análises realizadas para o controle processual da ETE, após a ampliação da planta, eram realizadas quase integralmente em laboratório externo. Somente as análises mais simples como pH, temperatura, OD, sólidos sedimentáveis 30 minutos e 60 minutos na proveta e sólidos sedimentáveis 60 minutos no Cone Imhoff eram realizadas na ETE. As demais análises fundamentais para o controle processual da planta constantes na TABELA III-1 eram realizadas em laboratório externo.

A fim de executar todas as análises necessárias ao controle da ETE, minimizar e posteriormente eliminar os custos com análises em laboratórios externos (exceto

para as análises necessárias ao auto-monitoramento FIRMENICH-CETESB do processo de tratamento) e ter respostas mais rápidas do andamento do processo de tratamento, foi construído um laboratório na ETE com os equipamentos utilizados em análises de DQO, nitrogênio, fósforo, acidez e alcalinidade.

Após a construção do laboratório da ETE, a implantação do programa de análises realizadas internamente foi gradativa, sendo dividida basicamente em três etapas: compilação de banco de dados da ETE, treinamento do responsável pelas análises da ETE e análises dos parâmetros pelo laboratório da ETE.

Inicialmente, o laboratório externo serviu para auditar os resultados das análises dos parâmetros de controle processual da ETE, enquanto o responsável pelas análises da ETE era treinado para a realização das mesmas de acordo com as metodologias da CETESB, STANDARD METHODS 20th EDITION e manuais dos equipamentos de análises.

Concomitantemente, iniciou-se a compilação de um banco de dados do processo de tratamento com os parâmetros necessários para cada unidade de tratamento, controlando concentrações de entrada e saída dos efluentes industriais para averiguação e comparação das cargas de tratamento com as de projeto e cálculos de eficiências processuais.

Este banco de dados serviria como um meio para averiguar as diversas flutuações no processo de tratamento através de seu comportamento expresso em variações de eficiências de tratamento, maiores ou menores consumos de produtos químicos, quantidade gerada de lodo, biogás produzido e qualidade dos efluentes industriais tratados.

Portanto, o banco de dados forneceria as médias de cada parâmetro controlado bem como o comportamento de cada etapa do processo de tratamento de acordo com a característica dos efluentes industriais a serem tratados na ETE.

Posteriormente, passado o período de experiência do responsável do laboratório da ETE e a compilação mínima do banco de dados com os parâmetros de controle processual da planta segundo as novas características da ETE, o número de parâmetros analisados e solicitados ao laboratório externo diminuiu.

Atualmente, as análises laboratoriais externas se restringem aos parâmetros apresentados na TABELA III-2:

<i>Local</i>	<i>Parâmetro</i>
Reator anaeróbio	Série de sólidos
Tanque de aeração	Série de sólidos
Tanque de equalização	DQO e DBO
Calha Parshall (saída do Decantador secundário)	DQO e DBO
Tanque de lodo (antes do condicionamento químico do lodo)	Sólidos totais
Filtro prensa (lodo prensado)	Sólidos totais

TABELA III-2: ANÁLISES REALIZADAS EM LABORATÓRIO EXTERNO

O parâmetro DQO somente é solicitado quando há a necessidade de análises de DBO. Isto se deve a comparação do resultado de DQO do laboratório da ETE e o externo, aferindo o resultado da DBO.

2. ANÁLISES REALIZADAS NO CONTROLE PROCESSUAL DE TRATAMENTO

Todas as análises são coletadas e preservadas segundo o Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água elaborado pela CETESB em 1988.

Para este trabalho os parâmetros analisados consistiram em: DQO, DBO, O&G, pH, série de sólidos no reator anaeróbio e tanque de aeração, acidez e alcalinidade no reator anaeróbio, OD no tanque de aeração, sólidos totais na entrada e saída do filtro prensa, índice volumétrico de lodo e sólidos sedimentáveis 30 minutos e 60 minutos, sólido sedimentável Método do Cone Imhoff.

O parâmetro OD realizado no Tanque de Equalização tem a finalidade de controlar o grau de homogeneização do efluente para que não haja sua oxigenação sempre mantendo a concentração de OD em valores nulos.

Isto se deve a não propensão do efluente equalizado ao início de um processo aeróbio de tratamento podendo levar a um prejuízo do processo a jusante – tratamento anaeróbio – com possibilidade de problemas entre colônias de microrganismos aeróbios e anaeróbios (realizadores de hidrólise e acidificação).

Outro fator é o tipo de sistema de mistura adotado, uma vez que havia a disponibilidade de ar comprimido na ETE, foi utilizada uma homogeneização através

da introdução de ar comprimido e não por sistema de misturadores submersíveis ou outro equipamento de funcionamento análogo.

Na TABELA III-3 a seguir são apresentadas as análises realizadas em cada etapa de tratamento da ETE FIRMENICH após ampliação:

Local	Parâmetro
Separador de água e óleo	pH, temperatura, DQO e O&G
Tanque de Acúmulo (Encapsulamento)	DQO
Tanque de Equalização	pH, temperatura, DQO, DBO, O&G, OD
Tanque de Mistura (TM-01)	pH, temperatura
Efluente do flotador (tratamento físico-químico)	pH, temperatura, DQO, O&G
Tanque de Mistura (TM-02)	pH, temperatura
Reator Anaeróbio	Série de Sólidos, Acidez, Alcalinidade
Efluente do Reator Anaeróbio	DQO, sólidos sedimentáveis (Cone Imhoff)
Tanque de Aeração	pH, temperatura, Série de sólidos, OD
Calha Parshall (saída do Decantador Secundário)	pH, temperatura, DQO, DBO, O&G
Tanque de Lodo (antes do condicionamento químico do lodo)	Sólidos totais
Filtro prensa (lodo desaguado)	Sólidos totais

TABELA III-3: PROGRAMA DE ANÁLISES DA ETE

3. METODOLOGIA DE ANÁLISE

A metodologia empregada nas análises do laboratório da ETE seguem o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition, New York, 1998 (American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation), os Procedimentos de Análise dos Fabricantes dos Equipamentos de Análise e as Normas CETESB.

Já o laboratório externo segue o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition:

- ✓ Acidez: Acidity 2310 (Titration Method 2310B)
- ✓ Alcalinidade: Alkalinity 2320 (Titration Method 2320B)
- ✓ Amostragem de efluentes: Standard Practices for SAMPLING WATER D3370-76 e Standard Specification for EQUIPMENT FOR SAMPLING WATER AND STEAM ANSI/ASTM D1192-70 (reapproved 1977). Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água (CETESB, 1988)
- ✓ DBO: Determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) – Método da Diluição e Incubação (20°C, 5 dias) L5.120 outubro de 1991 (CETESB)
- ✓ DQO: Determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) – Método da Oxidação por Dicromato de Potássio em Refluxo L5.121 abril de 1994 (CETESB); CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) 5220
- ✓ Fósforo: Determinação de Fósforo em Águas – Método do Ácido Ascórbico L5.128 (CETESB, 1ª Edição, 24-01-1978).
- ✓ Índice volumétrico de lodo: Sludge Volume Index 2710D.
- ✓ Nitrogênio: Determinação de Nitrogênio Orgânico e de Nitrogênio Total Kjeldahl em Águas – Método da Determinação do Nitrogênio na Forma de Amônia L5.139; NITROGEN (ORGANIC) 4500-N_{org}; MACRO-KJELDAHL METHOD 4500-N_{org}
- ✓ O&G: Determinação de Óleos e Graxas Método da Extração por Solvente L5.142 (CETESB, novembro 1991)
- ✓ Oxigênio Dissolvido: Determinação de Oxigênio Dissolvido – Método de Winkler modificado pela azida sódica L5.169; OXYGEN (DISSOLVED) 4500-O
- ✓ pH: Standard Test Method for pH of Water and Waste Water D 1293-65 (reapproved 1970)
- ✓ Série de sólidos: Determinação de sólidos – Método Gravimétrico L5.149 (CETESB, junho de 1991). Sólidos: total (método A), fixo (método B), volátil (método C), não filtrável (método D), não filtrável fixo (método E), não filtrável volátil (método F), filtrável (método G), filtrável fixo (método H) e filtrável volátil (método I). métodos aplicados a água em geral, efluentes domésticos e industriais e águas do mar. Solids 2540: Total Solids Dried 103-105°C 2540B, Total Dissolved Solids Dried at 180°C 2540C, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C 2540D, Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C 2540E.

- ✓ Sólidos Sedimentáveis 30 minutos e 60 minutos: Settled Sludge Volume 2710C.
- ✓ Sólido Sedimentável Método do Cone Imhoff: Determinação de Resíduo Sedimentável em Águas – Método do Cone Imhoff L5.148 (CETESB). Settleable Solids 2540F
- ✓ Sólidos totais na entrada e saída do filtro prensa: Determinação de sólidos – Método Gravimétrico L5.149 (CETESB, junho de 1991) método J: aplicado a lodos e sedimentos em geral.

Todas as análises descritas neste capítulo foram realizadas por terceiros: responsáveis pelo laboratório externo contratado pela FIRMENICH ou pelo próprio laboratório da ETE da FIRMENICH. A elaboração do plano de monitoramento, acompanhamento da realização de análises de alguns parâmetros e interpretação de resultados foi parte constante do levantamento dos dados do presente trabalho e do próprio projeto de ampliação, posta em marcha da planta e análise processual da planta pós-partida.

CAPÍTULO IV: AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA EM INDÚSTRIA

1. A EMPRESA

A FIRMENICH é uma empresa de origem suíça com mais de 100 anos de existência, que atua no ramo de fragrâncias e aromas. Está presente em todos os continentes e possui hoje mais de 4500 colaboradores distribuídos em 50 diferentes localidades.

Há 50 anos no Brasil, a FIRMENICH & Cia. Ltda. está instalada no município de Cotia (SP), com uma das quatro maiores operações do Grupo (30% do faturamento proveniente de exportações para Europa, Estados Unidos e Ásia) e sendo um centro de excelência para América Latina.

Com uma produção aproximada de 15000 toneladas ao ano, são manipuladas cerca de 3000 diferentes matérias-primas e produzidos aproximadamente 1500 diferentes produtos:

- ✓ Fragrâncias: detergentes, amaciantes, higiene pessoal, cosméticos e perfumaria fina;
- ✓ Aromas: bebidas (refrescos em pó, refrigerantes, chá, café, etc.), doces (balas, confeitos, sobremesas, cereais, panificação), farmacêuticos, salgados, condimentos e comidas semi-prontas.

2. HISTÓRICO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Para a avaliação da Produção Mais Limpa na ETE de efluentes industriais, o estudo será dividido em duas fases: antes da ampliação da ETE em 2001 e após a ampliação da ETE e início de sua operação em março de 2002.

2.1. PROJETO INICIAL: INÍCIO DAS ATIVIDADES EM COTIA (SP)

O projeto inicial contemplava um sistema de tratamento de efluentes líquidos por “lodos ativados”, baseado na experiência da matriz no tratamento do próprio

efluente (mesma atividade industrial) e com uma consultoria local, para a nacionalização do projeto de tratamento e construção civil.

Os parâmetros iniciais básicos para tal dimensionamento foram de 100 kg de DBO/dia e vazão de efluente de 110 m³/dia. Os efluentes da fábrica foram divididos em efluente industrial e esgoto doméstico (esgoto gerado nos sanitários e no refeitório).

O efluente industrial compreendia todos os pontos de geração de efluentes líquidos dentro das áreas produtivas, laboratórios, áreas de estocagens e planta de utilidades. A geração de efluentes industriais líquidos pode ser resumida nas seguintes fontes:

- ✓ Manufatura de líquidos de laboratórios: efluente proveniente da lavagem de tanques e utensílios de fabricação de aromas e perfumes líquidos. Este efluente constitui um pequeno volume do efluente total e em sua maior parte é composto por óleos essenciais os quais se separam por diferença de peso específico no separador de óleo e graxas;
- ✓ Planta de naturais: efluente proveniente da lavagem de reator e linha de processamento de frutas, com despejo direto na linha de efluente industrial. Esta planta promove campanhas de produção diversas, com geração de efluentes diversificados;
- ✓ Produção Química: geração de efluentes advinda da drenagem contínua dos selos de anel líquido de bombas de vácuo, utilizadas nas colunas de destilação à vácuo desta planta. Substâncias voláteis que contaminam o efluente são descartadas na rede de efluente industrial;
- ✓ Aromas Sistema: efluente gerado na lavagem de equipamentos de mistura, ambiente e de câmara de secagem spray. Volumes consideráveis de efluentes são descarregados na rede de efluente industrial de forma descontínua, derivado dessas lavagens. A base desses efluentes são soluções de malto dextrina, aromas e sulfatos;
- ✓ Setor de Produção do “Encapsulamento”⁽¹⁾: efluente de alta carga orgânica e química, advindo da lavagem de equipamentos e ambientes. Cargas de açúcar, malto dextrina e aromas são dissolvidos em água quente, gerando a base do efluente dessa planta.

O setor produtivo referente ao Encapsulamento entrou em operação após a construção da ETE. Esta última área de geração de efluentes industriais foi introduzida e desenvolvida devido a demanda crescente do produto e ao nicho de mercado

(1) Por motivos de sigilo industrial, não foi possível descrever o Setor do Encapsulamento.

observado na América Latina. A princípio, o efluente do Setor do Encapsulamento era tratado fora da ETE, sendo enviado diretamente para a SABESP.

2.1.1. DESCRIÇÃO DA ETE

A descrição básica das etapas de tratamento deste projeto inicial é a seguinte:

- ✓ Efluente Industrial chega à ETE por gravidade em duas tubulações de polipropileno soldados diretamente à caixa de *Efluente Industrial*.

Desta caixa o efluente passa por um *separador de água e óleo*.

Do separador de água e óleo, o efluente segue para o *tanque de equalização*. O tanque de equalização tem um volume de 100 m³ e sua finalidade é a de equalizar e amortizar os picos de vazão de efluentes.

Através de sistema automático de nível, o efluente do tanque de equalização é bombeado para o *tanque de aeração*. A homogeneização deste tanque é feita com ar comprimido utilizando bolhas grossas, consistindo apenas de uma tubulação com três pontos de injeção;

- ✓ Esgoto Doméstico chega à ETE em linha de PVC e ferro fundido e é ligado à caixa de *esgoto doméstico*. Este esgoto é bombeado diretamente ao *tanque de aeração*;
- ✓ Aeração: compreende um tanque de volume de 288 m³ com sistema de aeração por ar difuso. Posteriormente este sistema foi modificado, utilizando-se um sistema de dispersão de oxigênio puro fornecido pela White Martins.
- ✓ Decantação: o efluente do tanque de aeração segue para o *decantador secundário*, de diâmetro 4,20m. O efluente tratado sai do decantador diretamente para o córrego Moinho Velho, próximo à ETE. O *reciclo* do lodo é feito do fundo do *decantador* por bomba submersa para a entrada do *tanque de aeração*.
- ✓ Sistema de desaguamento de lodo: composto por um tanque de acumulação de lodo e um filtro prensa para o desaguamento do lodo gerado. O retorno de filtrado do filtro prensa segue para o tanque de equalização.

2.2.2. FLUXOGRAMA DA ETE

O fluxograma esquemático a seguir representa o primeiro sistema de tratamento de efluentes da FIRMENICH (antes da ampliação da ETE):

FIGURA IV-1 – FLUXOGRAMA ESQUEMÁTICO DA ETE ANTES DA AMPLIAÇÃO

2.2.3. EVOLUÇÃO DA DQO E DBO AO LONGO DOS ANOS

Na TABELA IV-1 são apresentados os dados relativos a evolução da DQO e DBO do efluente industrial ao longo dos anos representando as médias anuais na entrada do Tanque de Aeração. Somente os dados referentes ao ano de 2002 referem-se ao primeiro trimestre, isto é, dados anteriores a partida da ETE já com as modificações e ampliações:

Médias Anuais de DQO e DBO (Efl. Ind. Entrada Tq. Aeração)		
Ano	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)
1992	1.678	1.225
1993	1.556	667
1994	1.502	1.035
1996	2.825	1.569
1997	3.176	1.185
1998	8.870	3.378
1999	15.195	6.117
2000	6.759	4.064
2001	16.073	8.151
2002	18.017	8.473

TABELA IV-1 – EVOLUÇÃO DA DQO E DBO AO LONGO DOS ANOS NA ENTRADA DO TANQUE DE AERAÇÃO

Os valores de DQO e DBO a montante do tanque de aeração começam a se elevar a partir do ano de 1996. Fica evidente a evolução na concentração de DQO e DBO principalmente do ano de 1996 para 1998 e de 1998 para 1999.

Outro ponto a ser destacado foi o novo patamar de DQO e DBO estabelecido a partir de 1999 com uma DQO superior a 15.000 mg/L e DBO acima de 6.000 mg/L.

Pode-se também notar uma diminuição acentuada na DQO e DBO ocorrido no ano de 2000, em relação ao ano de 1999, não acompanhando a tendência de aumento na concentração de DQO e DBO, conforme é mostrado no GRÁFICO IV-1 obtido da TABELA IV-1. Esta queda pode ter sido ocasionada por alterações processuais, como mudança de linha de produção ou outro desvio produtivo.

GRÁFICO IV-1 – EVOLUÇÃO DA DQO E DBO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES AO LONGO DOS ANOS

O crescimento da concentração de DQO e DBO registrado no período de 1992 a 2000 foi de mais de 800%, sendo que a ETE foi projetada para uma capacidade de tratamento de 100 kg DBO/dia e vazão de 110 m³/dia. Na TABELA IV-2, pode-se observar o aumento da concentração de saída de DQO e DBO da ETE:

Médias Anuais de DQO e DBO (Efl. Ind. Saída Decantador Sec.)		
Ano	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)
1992	28	2
1993	65	10
1994	21	15
1996	48	18
1997	46	29
1998	809	313
1999	572	139
2000	1.705	935
2001	4.382	2.721
2002	6.708	3.952

TABELA IV-2 – EVOLUÇÃO DA DQO E DBO AO LONGO DOS ANOS NA SAÍDA DO DECANTADOR SECUNDÁRIO

Portanto, ao longo do período compreendido entre 1992 e 2000 houve um aumento gradativo das concentrações de DQO e DBO na saída do Decantador Secundário, que corresponde a saída de efluente industrial tratado, sendo que no ano de 2000, após a constatação da necessidade de aumento da capacidade de tratamento da ETE, iniciou-se o processo de projeto do novo sistema de tratamento para adequação a nova realidade.

Na TABELA IV-3, nota-se que houve a manutenção de uma eficiência de remoção de DQO e DBO altas nos anos de 1992 a 1997. Em 1998, houve o primeiro aumento considerável de DQO e DBO e, por conseguinte, a diminuição da eficiência de remoção.

Em 1999, apesar de atingido novo patamar de concentrações de DQO e DBO com o aumento de mais de 100% em relação ao ano de 1998, houve uma oscilação nas eficiências de remoção, culminando na queda de eficiência em 2000:

EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)		
Ano	η_{DQO} (%)	η_{DBO} (%)
1992	98	100
1993	96	99
1994	99	99
1996	98	99
1997	99	98
1998	91	91
1999	96	98
2000	75	77

TABELA IV-3 – EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DQO E DBO AO LONGO DOS ANOS

Apesar de todo o aumento de concentração de DQO e DBO constatados na TABELA IV-2 e considerando que a vazão de tratamento não ultrapassou a vazão de projeto (110 m³/dia) ao longo dos anos, o sistema de tratamento conseguiu absorver o aumento de carga orgânica de tratamento em DQO e DBO até o ano de 2000, o que se evidencia na TABELA IV-3.

Vale ressaltar que a ETE FIRMENICH esteve em acordo com a legislação vigente atendendo os padrões de emissão constantes no ARTIGO-18 do DECRETO 8468 da LEI 997 – Lançamentos de efluentes em corpos d'água – o que fica demonstrado na TABELA IV-3 e que a partir do momento em que foi constatada a necessidade de aumento da capacidade de tratamento da ETE, foi comunicado o órgão fiscalizador responsável para o período de adequação as novas condições de tratamento.

Analisando as cargas orgânicas em DBO no primeiro semestre do ano de 2000, pode-se observar na TABELA IV-4 os valores elevados em relação às cargas orgânicas estipuladas em projeto (100 kg DBO/dia). O importante a observar é que as vazões diárias de tratamento não foram ultrapassadas em relação a vazão de projeto de 110 m³/dia, e sim, as concentrações em DBO que se elevaram muito conforme mostrado nas tabelas anteriores:

<i>EFLUENTE APÓS TANQUE DE EQUALIZAÇÃO: DADOS REFERENTES AO ANO DE 2000</i>			
PERÍODO	VAZÃO MÉDIA DIÁRIA (m ³ /dia)	DBO média (mg/L)	CARGA ORGÂNICA AFLUENTE À ETE (kg/dia)
fevereiro	99	4041	400
março	79	5928	468
maio	70	3925	275
junho	62	4512	280

TABELA IV-4 – DADOS DO EFLUENTE DO TANQUE DE EQUALIZAÇÃO NO ANO DE 2000

Portanto, observa-se que houve um aumento de concentração de DQO no efluente da fábrica ocasionado pelo aumento na capacidade produtiva da mesma. Por conseguinte, houve a necessidade de se adequar o processo de tratamento de efluentes industriais a nova demanda devido a diminuição da eficiência de remoção de DQO e DBO, resultando na necessidade de ampliação e adição de novos processos de tratamento a ETE.

2.2. AMPLIAÇÃO DA ETE

O ano de 2000 foi o ano da decisão de ampliação da ETE para adequação a nova realidade do processo produtivo. Nos primeiros seis meses, realizou-se um trabalho de avaliação das condições operacionais da ETE, introduzindo-se algumas melhorias na operação e controle da planta. Neste período concluiu-se que a ETE estava sobrecarregada.

A ETE foi projetada e construída para operar em condições de carga orgânica muito inferiores as verificadas no ano de 2000 além da unidade industrial ter sofrido uma ampliação considerável. As concentrações de DBO e DQO aumentaram consideravelmente devido a estas ampliações e à introdução de novas unidades cujos processos geram efluentes com alta concentração de poluentes.

Após estas constatações, foram definidos os parâmetros de projeto, equipamentos e tecnologias de tratamento, as empresas envolvidas no projeto (engenharia e fornecedoras de equipamentos), além do estabelecimento do cronograma das atividades.

O ano de 2001 foi destinado às obras envolvidas na ampliação da ETE e ao comissionamento da planta. A partida da ETE foi dada em janeiro de 2002, após uma verificação inicial dos equipamentos e das instalações, iniciou-se a alimentação do sistema de tratamento como um todo.

2.2.1. MUDANÇA DE TECNOLOGIA

Devido ao aumento da concentração de DQO e DBO a ser tratado no efluente industrial e a diminuição gradativa da eficiência de remoção da planta, houve o emprego de um dos pontos da P+L: a mudança de tecnologia.

Devido a concentração elevada em DQO do efluente da fábrica e o aumento da carga diária a ser tratada, houve a necessidade de se estudar uma nova tecnologia para tratamento dos efluentes, o que levou a escolha de dois sistemas de tratamento:

- ✓ Sistema físico-químico de tratamento do efluente a montante do tratamento biológico;
- ✓ Sistema de tratamento biológico anaeróbio a montante do tratamento biológico aeróbio já existente.

O sistema físico-químico de tratamento foi implementado com a função principal de adequar a concentração de óleos e graxas ao sistema anaeróbio de tratamento, pois concentrações elevadas como as de chegada a ETE poderiam afetar a eficiência do sistema anaeróbio.

Além deste fator, este sistema auxiliaria na remoção de sólidos suspensos e partículas coloidais, atenuando a carga de tratamento efluente a este sistema.

Já a escolha do sistema de tratamento biológico anaeróbio se deveu pela capacidade de remoção de altas concentrações em DQO adequando a carga orgânica afluente ao tanque de aeração a níveis compatíveis com o tratamento biológico aeróbio.

Outro ponto determinante para a escolha deste sistema foi a área disponível para a ampliação da ETE. Como o espaço era reduzido, necessitava-se de um sistema que ocupasse pouca área e tivesse uma eficiência de remoção tal que o sistema de tratamento aeróbio suportasse.

A eficiência de remoção de carga orgânica nos tratamentos biológicos aeróbios são maiores quando comparados aos anaeróbios (utilizando uma mesma base comparativa, pois os sistemas aeróbios historicamente são projetados via DBO e os anaeróbios, via DQO).

No entanto, considerando o parâmetro DQO, a capacidade de remoção de carga orgânica nos reatores anaeróbios é muito superior que nos tratamentos aeróbios (quando comparados a um mesmo volume de reator).

Outros pontos favoráveis a escolha do sistema anaeróbio de tratamento foram o baixo consumo de energia elétrica no sistema, limitado praticamente ao sistema de recirculação de efluente no reator anaeróbio (bomba de recirculação) e a baixa produção de lodo quando comparado aos sistemas aeróbios (aproximadamente 8 a 15 vezes menor que os sistemas aeróbios).

Ambos os sistemas foram determinados após avaliação das características dos efluentes industriais da FIRMENICH. Foram realizados testes de jarros em laboratório externo para a comprovação dos resultados determinados pelo fabricante do sistema físico-químico constatando seu auxílio na adequação do afluente ao reator anaeróbio.

Em relação ao sistema anaeróbio, foram realizados testes bioquímicos para a avaliação da eficácia deste sistema em relação a tratabilidade do efluente industrial. Devido a sua complexidade em termos de composição química e tratamento, dada a alta rotatividade produtiva da fábrica com geração de efluentes com diversas

características ao longo de um único dia e alguns com concentrações em DQO elevadas, para a parte biológica, este estudo foi mais complexo e demandou maior tempo de estudo.

2.2.2. AMPLIAÇÃO DO SISTEMA DE EQUALIZAÇÃO

Devido ao aumento da capacidade produtiva da fábrica, tendo como consequência imediata um maior volume de efluente industrial a ser tratado diariamente, houve a constatação processual da necessidade de um aumento no sistema de equalização para os efluentes gerados.

A grande alternância de produtos sintetizados ao longo do dia com características químicas bem distintas entre si, ocasionando grandes variações de carga orgânica a ser tratada, sobrecarregou o sistema de tratamento, acarretando oscilações na eficiência de tratamento diário.

Estas oscilações foram corroboradas no decorrer dos testes de jarros para a determinação da eficácia do sistema físico-químico de tratamento. Foi observado que seria necessária uma análise composta com mais de 72 horas de duração de amostragem devido a alternância produtiva mencionada.

Por conseguinte, determinou-se o aumento da capacidade do tanque de equalização observando o regime de escoamento dos efluentes da produção, mas atentando a grande variação de concentrações de DQO e DBO que já sobrecarregavam a ETE e que com o aumento da vazão agravaria os problemas de equalização no sistema.

2.2.3. AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA DE DOSAGENS DE PRODUTOS QUÍMICOS

Devido a alternância de produtos produzidos ao longo do dia, ocasionando grande variação das características dos efluentes, optou-se pela automatização das dosagens de produtos químicos e temperatura.

Este automatismo foi realizado através de controles de pH, temperatura, processo de floculação e nutrientes:

- ✓ pH: controle inserido no sistema físico-químico através da dosagem de soda cáustica ou ácido clorídrico. No sistema biológico anaeróbio, através da dosagem de soda cáustica devido ao efluente com caráter ácido devido ao processo de acidogênese deste processo;
- ✓ Temperatura: controle de temperatura para o afluente ao processo biológico anaeróbio para manutenção de temperatura constante no mesmo;
- ✓ Processo de floculação: controle da dosagem de polímero no processo físico-químico de tratamento na fase de coagulação (especificamente neste processo, são realizados periodicamente testes de jarros para determinação da quantidade ideal de polímero a ser dosada);
- ✓ Nutrientes no sistema biológico (atrelados a análises de nitrogênio e fósforo e necessidade dos mesmos no sistema).

Tal medida visou facilitar a operação da ETE dado aos diversos pontos a serem controlados, a complexidade do processo de tratamento ora requerido e ao aumento do lay-out da planta inviabilizando controles manuais antes possíveis.

Através da otimização da dosagem de produtos químicos também pôde-se evitar consumos desnecessários caso houvesse problemas no sistema de equalização e não fosse absorvido devidamente o pico de concentração ou vazão de determinado efluente industrial.

2.2.4. AMPLIAÇÃO DO SISTEMA BIOLÓGICO AERÓBIO

Com a constatação do aumento de carga orgânica a ser tratada na ETE e mesmo considerando o sistema anaeróbio de tratamento, o sistema biológico aeróbio necessitaria de ampliação também observando posteriores aumentos da produção da FIRMENICH.

Quanto ao tipo de sistema de aeração, uma vez que inicialmente era por injeção de oxigênio puro, optou-se pelo sistema de ar difuso dada a profundidade do tanque já existente (profundidade adequada para uma maior eficiência de transferência de oxigênio), segurança operacional devido a não existência de vasos de pressão (cilindros de oxigênio) e disponibilidade de sopradores na fábrica.

2.2.5. OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE DESAGUAMENTO DE LODO

A partir da mudança no lay-out do sistema de desaguamento de lodo com a inserção do adensador de lodo e construção do novo decantador secundário, houve a utilização de dois pontos da P+L: modificação em equipamento e mudança de tecnologia, respectivamente.

Com a construção do decantador secundário com módulos lamelares, houve a minimização da superfície de decantação devido a utilização do módulo lamelar para sedimentação do lodo do tanque de aeração. Houve, portanto, uma diminuição da superfície de decantação, e, por conseguinte, da área ocupada pelo decantador secundário.

Segundo PONTE⁽¹⁰⁾, as vantagens dos decantadores secundários com módulos lamelares são:

- ✓ Área de clarificação efetiva muito superior a área superficial do próprio equipamento propiciando um formato compacto;
- ✓ Qualidade do efluente clarificado sendo que na maioria dos casos podem ser dispensados processos convencionais de filtração (filtros de areia) – fato realmente constatado, com efluente clarificado com teor de sólidos sedimentáveis abaixo de 1,0 mL/L.

Devido a redução da área superficial em relação aos decantadores retangulares ou circulares, o decantador pode ser dotado de fundo piramidal fortemente inclinado (45° a 60°), sem prejudicar o perfil hidráulico da instalação, dispensando mecanismos submersos de raspagem de lodo necessário nos equipamentos clássicos.

O antigo decantador circular foi transformado em adensador de lodo, com a introdução do braço mecânico móvel dotado de hastes verticais. Através da rotação do braço mecânico móvel, as hastes verticais revolvem o lodo facilitando sua sedimentação, auxiliando no processo de adensamento de lodo.

Por conseguinte, o sistema de desaguamento de lodo foi otimizado com a introdução do decantador secundário com módulos lamelares e do adensador de lodo para adensamento do lodo biológico aeróbio proveniente do novo decantador secundário e lodo biológico anaeróbio proveniente do reator UASB.

A vantagem deste sistema é o menor volume diário de lodo biológico a ser desaguado em relação ao sistema anterior que enviava o lodo biológico (somente o aeróbio) diretamente ao tanque de lodo.

OBSERVAÇÃO: O adensador de lodo, localizado a montante do tanque de lodo, envia o lodo biológico (mistura do lodo anaeróbio e aeróbio) ao tanque de lodo onde é adicionado ao lodo resultante do processo físico-químico de tratamento.

2.2.6. DESCRIÇÃO DA ETE APÓS AMPLIAÇÃO

A descrição básica das etapas de tratamento do projeto de ampliação da ETE é a seguinte:

- ✓ Efluente Industrial chega à ETE por gravidade em duas tubulações de polipropileno soldados diretamente à caixa de *Efluente Industrial*. Desta caixa o efluente passa por um *separador de água e óleo*.

FOTO IV-1 – PENEIRA ESTÁTICA E SEPARADOR DE ÁGUA E ÓLEO

- ✓ Do separador de água e óleo, o efluente segue para uma peneira estática e então para o *tanque de equalização* (volume de 330 m³).

FOTO IV-2: CHEGADA DE ESGOTO DOMÉSTICO E AO FUNDO TANQUE DE EQUALIZAÇÃO

- ✓ O efluente do tanque de equalização é bombeado para o sistema físico-químico de tratamento: ajuste de pH com adição de soda cáustica (NaOH), tanque de mistura com adição de polícloro de alumínio (PAC) e flotador com adição de polímero em linha.

FOTO IV-3: TANQUES DE CORREÇÃO DE pH E COAGULAÇÃO E SISTEMA DE FLOCULAÇÃO-FLOTAÇÃO (TANQUES COMPONENTES DO SISTEMA FÍSICO-QUÍMICO DE TRATAMENTO)

- ✓ O efluente proveniente do sistema físico-químico é enviado tanque de clarificado e posteriormente ao tanque de mistura com adição de nutrientes (início da fase de hidrólise e acidificação do processo anaeróbio de tratamento). Para acerto de pH, o efluente do tanque de mistura segue para o tanque de ajuste de pH com soda cáustica (onde há o reciclo do efluente do reator anaeróbio) e então, entra para o reator anaeróbio. O efluente do reator anaeróbio segue para a caixa de distribuição;

FOTO IV-4 – VISTA AÉREA DO REATOR ANAERÓBIO

FOTO IV-5 – VISTA LATERAL DO REATOR ANAERÓBIO

- ✓ Esgoto Doméstico chega à ETE em linha de PVC e ferro fundido e é ligado à caixa de *esgoto doméstico*. Este esgoto é bombeado na elevatória e passa pelo desarenador e pela caixa de gordura;

FOTO IV-6 – CHEGADA DE ESGOTO DOMÉSTICO

- ✓ O efluente industrial proveniente da caixa de distribuição e o esgoto doméstico proveniente da caixa de gordura se misturam no tanque seletor e seguem para o tanque de aeração (volume de 288 m³) com sistema de aeração por ar difuso;
- ✓ O efluente do tanque de aeração segue para o *decantador secundário com módulos lamelares*, composto de dois módulos lamelares.

FOTO IV-7 – FUNDO DO TANQUE DE AERAÇÃO (SISTEMA DE AERAÇÃO POR DIFUSORES) E VISTA DE PARTE DO DECANTADOR SECUNDÁRIO

- ✓ O efluente tratado sai do decantador secundário diretamente para o córrego Moinho Velho, próximo à ETE (foi previsto um sistema de polimento do efluente tratado composto de filtro de cartucho seguido de filtro de carvão. No entanto, este sistema não está em utilização). O *reciclo* do lodo é feito do fundo do *decantador* por bombas helicoidais para a entrada do *tanque de aeração*.
- ✓ Sistema de desaguamento de lodo: composto por um adensador de lodo que recebe o lodo em excesso do sistema biológico e um tanque de acumulação de lodo que recebe o lodo do sistema físico-químico de tratamento do efluente industrial e o lodo biológico adensado. No tanque de lodo, a mistura de lodos recebe produtos químicos (cal hidratada e cloreto férrico) para o seu condicionamento químico e então, é encaminhado para o filtro prensa. O filtrado do filtro prensa retorna ao tanque de equalização para tratamento.

FOTO IV-8: ADENSADOR DE LODO

2.2.7. FLUXOGRAMA DA ETE APÓS AMPLIAÇÃO

A FIGURA IV-2 a seguir representa o fluxograma esquemático do processo de tratamento de efluentes da FIRMENICH após ampliação da ETE:

Na época de projeto e ampliação da ETE foram estabelecidas diversas atividades da P+L para a mesma. O prazo para estabelecimento e avaliação destas atividades seria anteriormente a partida da planta ocorrida em março de 2002 com o início do processo de tratamento anaeróbio com a inoculação de lodo anaeróbio no reator UASB, que foi o último sistema a entrar em operação, após comissionamento de todos os equipamentos, tanques, tubulações, válvulas e acessórios de todas as etapas de tratamento.

48

3.1. DEFINIÇÃO DA EQUIPE DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Para o controle processual e operacional da planta foi definido o corpo técnico responsável pela ETE, aplicando os conceitos de P+L no cotidiano da mesma. Foi criada uma equipe de trabalho envolvendo além da equipe da ETE, a Engenharia de Manutenção e uma assessoria técnica externa (em processos de tratamento de efluentes) através da H₂O Engenharia.

A multidisciplinaridade da equipe se deve a necessidade de visões diferentes em relação ao processo produtivo da fábrica e as suas implicações no tratamento de efluentes para uma completa noção de todos os pontos necessários para avaliação e controle processual da ETE, sempre atentando a visão sistêmica de todos os processos envolvidos na fábrica.

A Engenharia de Manutenção está diretamente envolvida neste sistema devido a ETE ser uma área de sua responsabilidade dentro da FIRMENICH. Em outras indústrias a ETE pode estar vinculada a outros departamentos e então, estes deverão fazer parte da equipe.

3.1.1. ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

A Engenharia de Manutenção dentro do conceito de P+L na ETE, sendo a responsável pelas decisões da ETE, desenvolve o trabalho de averiguação de não conformidades ou ocorrências na produção detectadas na ETE através do controle processual envolvido nas atividades diárias.

Todo este controle processual pode ser averiguado através da perda de eficiência processual, variações de parâmetros processuais controlados diariamente que possam extrapolar médias pré-estabelecidas ou obtidas ao longo do tempo por análise de banco de dados, maiores consumos de produtos químicos e/ou energia elétrica, perdas de lodo por carreamento ou perdas associadas a intoxicações biológicas. Além de todos estes pontos de análise, também podem ser observados o não cumprimento de metas na ETE e suas causas.

O setor de Engenharia de Manutenção fornece o suporte necessário para a equipe da ETE no desenvolvimento de suas atividades também atentando para a própria manutenção preventiva e corretiva de todos os equipamentos, tanques, tubulações, válvulas e acessórios da ETE.

3.1.2. ETE

A ETE é responsável pelo controle de todos os parâmetros passados pela Engenharia de Manutenção, fornecendo a visão cotidiana do processo de tratamento, fornecendo o feedback da situação da planta diariamente, seu comportamento e reações a determinadas medidas e tipos de efluentes devido a composições ou alterações produtivas.

Além da parte processual, também realiza os controles e ajustes necessários para otimização de consumos de energia elétrica, produtos químicos utilizados na ETE, reagentes químicos utilizados nas análises do laboratório da ETE e equipamentos.

3.1.3. ASSESSORIA EXTERNA

Assessoria externa para fornecer a visão analítica e imparcial dos possíveis pontos de melhoria do processo de tratamento da ETE além do embasamento técnico para operação e controle processual da ETE.

3.2. BALANÇO E FLUXO DE MATERIAIS

Esta etapa de conhecimento do processo de tratamento através de balanços de massa e energia e fluxos de entrada e saída de materiais é fundamental e crítica para uma correta avaliação dos pontos de atuação da Produção Mais Limpa.

Através da análise de todo o fluxo de entradas e saídas da ETE, pode-se averiguar oscilações e possíveis perdas de processo no interior da fábrica devido a alterações de operação de alguma etapa da produção, o andamento do processo de tratamento de efluentes com a verificação da geração de lodo, vazão de efluente tratado e as cargas orgânicas de tratamento e o consumo de produtos químicos.

3.2.1. BALANÇO MATERIAL

Para a parte de balanço material da ETE, foi elaborada uma planilha eletrônica contendo todas as etapas de tratamento e os principais parâmetros de controle

(vazão, pH, temperatura, DQO, DBO, O&G e sólidos suspensos com as respectivas vazões mássicas).

Neste balanço de massa foram inseridos os dados de entrada do projeto e após a partida da planta, utilizando esta mesma planilha, foram realizados balanços mensais com as médias mensais de cada parâmetro e as respectivas eficiências de remoção para cada etapa no processo de tratamento.

Este controle inicial serviu para acompanhar o andamento do processo de tratamento em cada etapa de tratamento do sistema, comparando com os dados de entrada e saída de projeto.

No início de 2005, foi implementada outra planilha eletrônica de controle do balanço material do processo de tratamento da ETE. Esta planilha contempla apenas parâmetros como vazão, DQO, O&G e as respectivas vazões mássicas. Os dados são atualizados diariamente onde pode-se acompanhar a evolução das cargas em cada ponto além do fechamento dos dados com as médias mensais.

Para uma visão sistêmica da ETE, podem ser considerados os fluxos de entrada e saída envolvidos no processo de tratamento de efluentes como sendo divididos da seguinte forma:

- ✓ Afluentes a ETE;
- ✓ Efluentes a ETE;
- ✓ Resíduos resultantes das diversas etapas de tratamento (gradeamento e lodos gerados no processo físico-químico e biológico);
- ✓ Consumo de produtos químicos para tratamento.

Estes fluxos, de forma simplificada, podem ser esquematizados da seguinte forma:

- ✓ Fluxos envolvidos na ETE:

- ✓ Fluxos envolvidos em cada etapa de tratamento:

3.2.1.1. DETERMINAÇÃO DOS PRINCIPAIS FLUXOS AFLUENTES DA ETE

Num processo de tratamento de efluentes industriais podem ser destacadas duas principais correntes a serem tratadas na ETE:

- ✓ Fluxo de efluentes provenientes da produção, segregados ou não, de acordo com cada linha do sistema produtivo;
- ✓ Fluxo de efluentes da própria ETE provenientes de linhas de retorno de uma determinada operação unitária de tratamento ou do próprio consumo da ETE.

Este segundo item pode ainda ser dividido da seguinte forma de acordo com as origens mencionadas:

- Quanto aos retornos das operações unitárias:
 - Águas de contralavagem de filtros ou membranas provenientes de unidades de filtração;

- Efluentes oriundos de banhos químicos de membranas ou unidades de desmineralização de água ou ainda de sistemas de desaguamento de lodo (lonas de filtro prensa de placas);
- Clarificados de sistemas de adensamento de lodo;
- Clarificados ou filtrados de sistemas de desaguamento ou desidratação de lodo.
- Quanto ao consumo próprio da ETE:
 - Limpeza das áreas comuns;
 - Lavagem de equipamentos, tanques ou tubulações.

Na ETE da FIRMENICH, pode-se então considerar os efluentes industriais segregados em duas correntes distintas: efluentes gerais e efluente do setor do encapsulamento e quanto aos efluentes da própria ETE, o clarificado do adensador de lodo, o filtrado do filtro prensa, banho químico das lonas do filtro prensa e limpeza e lavagem da ETE.

Para o balanço de massa da ETE FIRMENICH serão apresentados os valores médios utilizados durante o projeto de ampliação da planta no ano de 2000:

✓ ***Balanço de massa: efluentes industriais segregados em gerais e setor do encapsulamento***

Os dados utilizados para o projeto são os expostos na TABELA IV-5. Os dados foram baseados nas análises efetuadas no controle processual da ETE e estimados de acordo com as expectativas de crescimento da fábrica:

Parâmetro	Encapsulamento + Geral
vazão (m ³ /dia)	254
pH	3,0 a 10,0
temperatura (°C)	30
DQO (mg/L O ₂)	10000
DBO (mg/L O ₂)	4000
Óleos & Graxas (mg/L)	240

TABELA IV-5 – DADOS DE PROJETO PARA AMPLIAÇÃO DA ETE

Considerando os parâmetros relacionados na TABELA IV-5, foram efetuados os balanços de massa do afluente da ETE, considerando o tratamento máximo das cargas a seguir descritas:

$$\text{carga orgânica em DQO} = 254 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 10.000 \frac{\text{mg O}_2}{\text{L}} = 2.540 \frac{\text{kg DQO}}{\text{dia}}$$

$$\text{carga orgânica em DBO} = 254 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 4.000 \frac{\text{mg O}_2}{\text{L}} = 1.016 \frac{\text{kg DBO}}{\text{dia}}$$

$$\text{carga em O \& G} = 254 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 240 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 60,96 \frac{\text{kg O \& G}}{\text{dia}}$$

✓ **Balanço de massa: efluentes a ETE**

Balanço de massa dos efluentes industriais tratados de acordo com as garantias de projeto:

$$\text{carga orgânica em DBO} = 254 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 60 \frac{\text{mg O}_2}{\text{L}} = 15,24 \frac{\text{kg DBO}}{\text{dia}}$$

$$\text{carga em O \& G} = 254 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 25,40 \frac{\text{kg O \& G}}{\text{dia}}$$

Balanço de massa de O&G removidos no Separador de Água e Óleo:

Na saída do Separador de Água e Óleo foi estipulada uma concentração de O&G de aproximadamente 42 mg/L, considerando uma eficiência de remoção de aproximadamente 80 a 82%. Portanto, o valor retirado diariamente de O&G neste equipamento é de 50,32 kg de O&G por dia, de acordo com os cálculos a seguir:

$$\text{carga em O \& G de entrada} = 254 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 240 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 60,96 \frac{\text{kg O \& G}}{\text{dia}}$$

$$\text{carga em O \& G após Separador de Água e Óleo} = 254 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 42 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 10,64 \frac{\text{kg O \& G}}{\text{dia}}$$

$$\text{carga em O \& G retirada no Separador de Água e Óleo} = 60,96 - 10,64 = 50,32 \frac{\text{kg O \& G}}{\text{dia}}$$

OBSERVAÇÃO: O valor da concentração de O&G após o Separador de Água e Óleo é menor que o adotado na saída do efluente tratado, pois o valor de 100 mg/L corresponde ao valor garantido pelo fornecedor do sistema de tratamento.

✓ **Balanço de massa: clarificado do adensador de lodo**

$$\text{lodo gerado no TA - 01} = 39 \frac{\text{kg ss}}{\text{dia}}$$

$$\text{concentração do lodo gerado no TA - 01} = 0,6\% = 6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{volume de lodo gerado no TA - 01} = \frac{39 \frac{\text{kg ss}}{\text{dia}}}{6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 6,5 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

✓ **Balanço de massa: filtrado do filtro prensa**

$$\text{lodo afluente ao filtro prensa FP - 01} = 12,5 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

$$\text{lodo efluente ao filtro prensa FP - 01} = 1,2 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

$$\text{filtrado do filtro prensa FP - 01} = 12,5 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} - 1,2 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} = 11,3 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

3.2.1.2. DETERMINAÇÃO DOS PRINCIPAIS FLUXOS DE RESÍDUOS GERADOS NA ETE

Considerando também que todo o processo de tratamento de efluentes gera lodo, há a necessidade de separá-los segundo sua atividade biológica. O lodo pode ser dividido em:

- Lodos primários provenientes de gradeamentos e decantadores primários (lodos extremamente agressivos por serem os que possuem maior carga poluidora, pois são retidos e removidos no início do processo);
- Lodos de processos de tratamento físico-químico;
- Lodos secundários (provenientes de processos biológicos aeróbios e anaeróbios de tratamento);
- Lodos provenientes de processos de filtração (material resultante de contralavagem de filtros, biofilmes de processos de filtração por membranas).

Todos esses tipos de lodo gerados podem apresentar as seguintes características:

- ✓ Lodo digerido ou estabilizado, isto é, sem atividade biológica;
- ✓ Lodo não digerido, isto é, com capacidade biológica de remoção de carga orgânica biodegradável;
- ✓ Combinação das hipóteses anteriores.

Para o sistema de tratamento da ETE FIRMENICH pode-se considerar que existem 02 tipos de lodos: lodo digerido proveniente da peneira estática e do tratamento físico-químico e lodo não digerido do processo biológico. Para ambos os casos serão apresentados a seguir os respectivos balanços de massa.

✓ ***Balanço de massa do material retido na peneira estática***

$$\text{taxa de material retido na peneira (Tmrp)} = 0,06 \frac{\text{L}}{\text{m}^3}$$

$$\text{volume retido na peneira} = 254 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 0,06 \frac{\text{L}}{\text{m}^3} = 15,24 \frac{\text{L}}{\text{dia}}$$

✓ **Balanço de massa do lodo gerado no tratamento físico-químico**

Para o cálculo da quantidade de lodo gerado no sistema de flotação, foram considerados os resultados dos testes de jarros realizados pelo fabricante do equipamento com as seguintes premissas:

- ✓ Efluente industrial com a seguinte composição: 15% efluente do Setor do Encapsulamento adicionado a 85% dos demais efluentes industriais;
- ✓ Coagulante: sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)

Com base nestes testes e considerando uma vazão de $12 \text{ m}^3/\text{h}$ e recirculação de 25% $\left(\frac{100}{125} = 0,8\right)$, a vazão de lodo estimada é de aproximadamente:

$$\frac{41,75 \frac{\text{mL}}{\text{L}} \times 12 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{1000} = 0,501 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \frac{0,501 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0,8} = 0,63 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Admitindo-se 12 horas de máxima poluição e máxima dosagem de produtos químicos:

$$0,63 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 12 \frac{\text{h}}{\text{dia}} = 7,6 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

Considerando uma concentração de 2 % ou $20 \text{ kg}/\text{m}^3$:

$$7,6 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 152 \frac{\text{kg ss}}{\text{dia}}$$

Portanto, a quantidade estimada de lodo resultante do processo físico-químico é de aproximadamente $152 \text{ kg}/\text{dia}$.

✓ **Balanço de massa do lodo gerado no tratamento anaeróbio**

Carga orgânica de alimentação do reator anaeróbio: $2.032 \text{ kg. DQO}/\text{dia}$

Produção de lodo em excesso: $0,08 \frac{\text{kg ss}}{\text{kg DQO removida}}$

Eficiência de remoção de DQO – garantia: 80 %

$$2.032 \frac{\text{kg DQO}}{\text{dia}} \times 0,08 \frac{\text{kg ss}}{\text{kg DQO}_{\text{removida}}} \times 80\% = 130 \frac{\text{kg ss}}{\text{dia}}$$

Concentração do lodo: 4% ou $40 \text{ kg}/\text{m}^3$

$$\text{Volume de lodo: } \frac{130 \frac{\text{kg ss}}{\text{dia}}}{40 \frac{\text{kg ss}}{\text{m}^3}} = 3,3 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

✓ **Balanço de massa do lodo gerado no tratamento aeróbio**

Para se estimar a quantidade de lodo gerado no sistema aeróbio foram assumidos:

Carga orgânica de alimentação do reator aeróbio: 121,5 kg. DBO/dia

Produção de lodo em excesso: $0,4 \frac{\text{kg ss}}{\text{kg DQO removida}}$

Eficiência de remoção de DBO – garantia: 80 %

Excesso de lodo: $0,40 \cdot 121,5 \cdot 0,80 = 39 \text{ kg ss/dia}$.

Concentração do lodo: 2,5% ou 25 kg/m^3 após o espessador de lodos

Volume de lodo: $39/25 = 1,56 \text{ m}^3/\text{d}$

A tabela a seguir apresenta o resultado de todas as gerações de lodo da ETE e a quantidade total produzida.

Ponto de geração	Massa de lodo (kg ss/dia)	Volume de lodo (m ³ /dia)	Concentração de lodo (%)
Grade	40	0,05	80
Peneira ^[3]	60	0,1	60
Separador de óleo	92	0,5	20
Sistema de flotação ^[1]	152	7,6	2
Tratamento anaeróbio ^[1]	130	3,3	4
Tratamento aeróbio ^[1]	39	1,6	2,5 ^[2]
Lodo para filtro prensa	321	12,5	2,6
Após o filtro prensa ^[4]	289	1,2	25
Lodo total da planta	513	1,85	27,7

TABELA IV-6 – QUANTIDADE DE LODO PRODUZIDO NO TRATAMENTO

OBSERVAÇÕES:

[1] Lodo para filtro prensa = lodo do flotador + lodo anaeróbio + lodo aeróbio

[2] Após o espessador de lodos.

[3] Estimativa

[4] Concentração estimada após o filtro prensa: 25 % de sólidos secos. Perda de sólidos: 10 %

3.2.1.3. DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE PRODUTOS QUÍMICOS NO PROCESSO DE TRATAMENTO

Os produtos químicos a serem dosados na planta, considerando-se uma vazão de 12 m³/h serão os seguintes:

Produto Químico	Ponto de Aplicação	Dosagem (mg/L)	Concentração de aplicação (%)	Vazão de dosagem (L/h)	Peso específico (kg/L)	Consumo Diário (L/dia)
Sulfato de alumínio	Flotação	750	48	14,5	1.3	346
Policloreto de alumínio	Flotação	500	37	13	1.25	312
Soda caustica	Flotação e anaeróbio	300	50	7,47	1.53	112,8
Polímero Aniônico	Flotação	5	0,1	60	-	1,44

TABELA IV-7 – QUANTIDADE DE PRODUTOS QUÍMICOS DOSADOS NO TRATAMENTO

Já para o sistema biológico de tratamento foi prevista a dosagem de nutrientes – uréia e MAP (mono amônio fosfato) – sendo o primeiro para suprir a carência de Nitrogênio e o segundo para suprir a deficiência de fósforo. No cálculo a seguir não foi considerada a introdução de Nitrogênio pelo MAP, por questões de segurança.

Relações nos respectivos sistemas biológicos:

$$\text{Anaeróbio: } \frac{\text{DQO}}{N} = \frac{70}{1} \Leftrightarrow \frac{2032}{N_1} = \frac{70}{1} \Leftrightarrow N_1 = 29 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

$$\text{Aeróbio: } \frac{\text{DBO}}{N} = \frac{20}{1} \Leftrightarrow \frac{121,5}{N_2} = \frac{20}{1} \Leftrightarrow N_2 = 6,1 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

$$\text{Total: } N = N_1 + N_2 = 35,1 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

$$\text{Anaeróbio: } \frac{\text{DQO}}{P} = \frac{350}{1} \Leftrightarrow \frac{2032}{P_1} = \frac{350}{1} \Leftrightarrow P_1 = 5,8 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

$$\text{Aeróbio: } \frac{\text{DBO}}{P} = \frac{100}{1} \Leftrightarrow \frac{121,5}{P_2} = \frac{100}{1} \Leftrightarrow P_2 = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

$$\text{Total: } P = P_1 + P_2 = 7,0 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

Produtos químicos a serem usados:

Uréia = 46,7 % N e 96 % pureza – solução a ser preparada = 20 %

MAP = 26,9 % P e 85 % pureza – solução a ser preparada = 10 %

Dosagens e consumos de produtos químicos

Nutriente	Preparo da Solução (%)	Vazão de Dosagem (L/h)	Consumo Diário (kg/dia)
Uréia	20	16	78,3
MAP	10	10	31

TABELA IV-8 – QUANTIDADE DE NUTRIENTES DOSADOS NO TRATAMENTO

3.2.2. BALANÇO DE ENERGIA

Para a elaboração dos balanços de energia envolvidos no processo de tratamento de efluentes, devem ser observados os seguintes pontos de consumo e geração de energia:

- ✓ Equipamentos elétricos necessários ao tratamento de efluentes (bombas, sopradores e compressores de ar; aeradores superficiais mecânicos, agitadores, equipamentos de campo para medição e controle de processo, equipamentos de adensamento e desaguamento de lodo);
- ✓ Biogás gerado em processos anaeróbios de tratamento de efluentes e lodos;
- ✓ Resíduos ou efluentes com poder calorífico para utilização como combustível alternativo em processos de combustão. No caso da FIRMENICH, os óleos removidos do efluente no Tanque de Separação de Água e Óleo SAO-01 são enviados a caldeira para utilização como combustível aproveitando os óleos que seriam enviados para descarte.

Para o ponto de consumo de energia para alimentação dos equipamentos elétricos, os balanços de energia envolvidos poderão ser simplificados apenas para o levantamento total de consumo de energia elétrica através da potência de cada equipamento e tempo de funcionamento num determinado intervalo de tempo. Posteriormente, pode ser realizada uma avaliação da taxa consumida em relação a calculada para detecção de consumos excessivos.

Um ponto a ser observado é a realocação do funcionamento de equipamentos para horários em que a taxa cobrada pela concessionária fornecedora de energia seja menor, mas sem prejuízo ao processo de tratamento de efluentes.

Para o biogás formado nos processos de tratamento, o balanço energético se estenderia para todas as reações bioquímicas cujo resultado fosse a geração de biogás utilizável em processos de combustão, evaporação e aquecimento.

Para o lodo gerado, poderia ser realizado um estudo para averiguação do poder calorífico do mesmo podendo ser utilizado como insumo para fornos de coprocessamento.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DE EFLUENTES

A caracterização de efluentes realizada criteriosamente e com minúcia representa um projeto dimensionado corretamente e adequado as características dos efluentes a serem tratados.

Para a caracterização de efluentes é necessário o conhecimento de todos os pontos de geração de efluentes e a determinação do regime de vazões dos efluentes. Os efluentes industriais podem apresentar as seguintes características:

- ✓ Baixa ou alta carga orgânica;
- ✓ Baixa ou alta carga de metais;
- ✓ Combinação das hipóteses anteriores.

Dada as possibilidades das características dos efluentes industriais, após coleta das amostras através de amostragens simples ou compostas dos efluentes, devem ser determinadas as características físico-químicas, tratabilidade, testes de biodegradabilidade, toxicidade do efluente a processos biológicos de tratamento, entre outras análises.

No caso da FIRMENICH, foi realizado um levantamento dos pontos de geração e coletadas amostras compostas ao longo de 24 horas durante 01 semana abrangendo inclusive o fim de semana.

Foram coletados dados relativos a vazão gerada, produto produzido no setor analisado para verificação das alterações na característica do efluente e o relatório de

acompanhamento da produção no respectivo setor para correlação de problemas no processo produtivo com a qualidade do efluente.

Baseado nesta caracterização de efluentes, o projeto foi elaborado com a preocupação na grande variação diária de produtos produzidos e muitos deles com alta carga orgânica e alguns com características agressivas ao sistema biológico de tratamento.

OBSERVAÇÃO: Todas as amostras foram conservadas adequadamente e a metodologia de coleta seguida conforme padrões CETESB (vide CAPÍTULO II – MATERIAIS E MÉTODOS).

3.4. PONTOS E PARÂMETROS DE CONTROLE

Este item está descrito no CAPÍTULO II – MATERIAIS E MÉTODOS.

4. ANÁLISE PROCESSUAL

A seguir são apresentados os principais tópicos avaliados quanto ao processo de tratamento de efluentes da ETE FIRMENICH. São tópicos que após partida da planta apresentaram maior relevância no controle processual por serem pontos chave no tratamento dos efluentes industriais, seja pela fragilidade processual e/ou pela importância quanto a custos de tratamento e produtos químicos.

4.1. PARTIDA E CONTROLE DO REATOR ANAERÓBIO

O controle processual de um sistema de tratamento biológico necessita de um acompanhamento mais rigoroso por se tratar de um “sistema vivo” de tratamento. Nos sistemas anaeróbios de tratamento, a carga orgânica tratável em DQO é representada pela parcela da DQO que pode ser degradada biologicamente em vias anaeróbias.

O sistema anaeróbio de tratamento tem maior capacidade de tratamento de altas concentrações de DQO e de absorção a choques causados por altas cargas orgânicas em relação ao sistema aeróbio. O lodo gerado em reatores anaeróbios tem velocidade de crescimento muito menor que o de um sistema aeróbio de tratamento.

O reator anaeróbio projetado e instalado na FIRMENICH entrou em operação em março de 2002. Foi inoculado lodo anaeróbio proveniente de outro sistema anaeróbio devido a baixa taxa de crescimento da massa de lodo anaeróbio e a necessidade de posta em marcha do reator anaeróbio. Este foi alimentado contínua e gradativamente de forma a aumentar a carga orgânica de tratamento.

Contudo, a cada análise de acidez e alcalinidade cujos resultados ultrapassassem certas faixas pré-estabelecidas, e concomitantemente o valor de carga orgânica em DQO ultrapassasse a carga orgânica em DQO suportada pelo reator devido a quantidade de lodo em seu interior (limites de alerta pré-estabelecidos), a quantidade de efluente tratado era diminuído e o excedente retornado ao processo.

As análises referentes a série de sólidos presente no reator anaeróbio são fundamentais para a determinação da quantidade de carga orgânica em DQO passível de ser tratada.

A produção de gás no processo anaeróbio também é um indicativo da eficiência do processo: com a degradação da matéria orgânica pelos microrganismos, há formação de gás metano (CH_4) e dióxido de carbono (gás carbônico CO_2). Quando a eficiência do reator anaeróbio não está adequada, pode ocorrer uma produção muito baixa de gás ou quase não haver sua produção.

4.2. EVOLUÇÃO DA CARGA ORGÂNICA EM DQO A SER TRATADA NA ETE

A partir dos dados de projeto, para uma carga em DQO de 2540 kg/dia e considerando 576 h/mês de operação da ETE, chega-se a uma carga mensal de 60960 kg DQO/mês.

Foram calculadas as cargas orgânicas em DQO dos anos de 2003 e 2004 não considerando o ano de 2002, pois o reator anaeróbio entrou em operação em março de 2002 com posterior período de aclimação do reator, levando a perda na contabilização da vazão mensal nos meses iniciais de operação, o que levaria a uma comparação inverossímil.

No entanto, pode-se notar na TABELA IV-9 e no GRÁFICO IV-2 que em alguns meses de 2003 foi ultrapassada a carga orgânica de projeto. Em 2004, esta ocorrência foi praticamente constante ao longo do ano. Este aumento de carga em DQO a ser tratada foi devido ao novo aumento na demanda produtiva da fábrica.

Por conseguinte, foi realizada outra intervenção no processo de tratamento da ETE levando a construção de um tanque pulmão de emergência a montante da ETE. Este tanque acumulava a carga orgânica em excesso e a medida que era constatada a possibilidade de envio a ETE, o efluente era bombeado para tratamento (vide item 4.5.3 “CONTROLE DA QUANTIDADE DE CARGA ORGÂNICA DE TRATAMENTO”).

Com esta medida, os impactos causados por uma carga orgânica excedente eram minimizados, não prejudicando a eficiência global de tratamento requerida legalmente e o sistema biológico, que levaria a perdas constantes de lodo.

carga orgânica em DQO (kg/mês)		
MÊS	ANO 2003	ANO 2004
01	50777	64554
02	45602	51839
03	29351	84733
04	65165	65500
05	74911	71127
06	40151	86042
07	49199	98697
08	76908	112179
09	68994	94418
10	37039	103315
11	38465	84011
12	49025	81321
MÉDIA	52132	83145

TABELA IV-9 – CARGA ORGÂNICA EM DQO NOS ANOS DE 2003 E 2004

GRÁFICO IV-2 – CARGA ORGÂNICA EM DQO NOS ANOS DE 2003 E 2004

OBSERVAÇÃO: No GRÁFICO IV-2 é apresentado o indicador ambiental relativo a carga orgânica em DQO para tratamento por carga orgânica em DQO de projeto.

4.3. EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DE DQO NO REATOR ANAERÓBIO

As eficiências de remoção em DQO apresentadas no reator anaeróbio da FIRMENICH são as apresentadas na tabela a seguir. Como a partida do reator anaeróbio foi em março de 2002 e a aclimação do sistema anaeróbio ao efluente industrial a tratar foi lenta, não foram considerados os dados obtidos em 2002.

Eficiência de Remoção de DQO (%)		
MÊS / ANO	2003	2004
Janeiro	86	76
Fevereiro	92	74
Março	86	81
Abril	79	82
Maiο	76	83
Junho	86	66
Julho	69	65
Agosto	79	65
Setembro	77	68
Outubro	79	70
Novembro	90	71
Dezembro	79	72
MÉDIAS	80	72

TABELA IV-10 – EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE DQO EM 2003 E 2004

Segundo CHERNICHARO, as eficiências de remoção de DQO em reatores anaeróbios estão em torno de 60 a 70% de remoção. Os valores das eficiências de remoção de DQO apresentam valores superiores aos comumente encontrado. Isto reflete uma condição particular e que está atrelada a capacidade de tratamento de cada sistema anaeróbio e ao gerenciamento de operação do reator.

Na TABELA IV-10 fica visível a queda de eficiência de 2003 para 2004. Isto se deve ao aumento de carga orgânica a ser tratada no reator anaeróbio dado ao aumento na carga orgânica em DQO afluente a ETE (vide TABELA IV-9).

4.4 OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO DE PRODUTOS QUÍMICOS PARA O PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Os sistemas físico-químicos de tratamento removem os sólidos suspensos não sedimentáveis e parte dos colóides sob a forma de flocos através do fenômeno de precipitação química com a ação de coagulantes⁽⁹⁾.

Na ETE da FIRMENICH, o sistema físico-químico de tratamento apresenta eficiências baixas de remoção de DQO e DBO quando comparados aos mesmos sistemas de tratamento em presentes em outras indústrias devido a presença de uma DBO solúvel no efluente industrial.

Dada a esta constatação, partiu-se para a otimização do consumo de produtos químicos para os processos de coagulação e floculação do efluente industrial. Sendo o sistema de ajuste de pH automático, após a definição do pH de trabalho no tanque de ajuste de pH com soda cáustica e no tanque de adição de PAC (agente coagulante e com características floculantes também). No flotação por microbolhas, é adicionado polímero em linha para formação de flocos de lodo maiores através de sua ação aglutinadora. Para a minimização do consumo dos três produtos são realizados testes de jarros para determinação das dosagens ideais.

Ao longo dos meses pode-se perceber que a curva relativa ao volume de efluente tratado acompanhou a curva de dosagem de produtos químicos. No entanto, pode-se perceber que as curvas de soda cáustica e PAC têm a mesma tendência da curva relativa ao volume de efluente tratado. Isto não ocorre para o polímero.

Isto se deve ao fato das dosagens de soda cáustica e PAC serem automáticas e a do polímero não ser. A dosagem de polímero requer acompanhamento constante com testes de jarros mesmo que haja uma dosagem continua do mesmo no efluente de acordo com a estimativa em cálculos preliminares de consumo.

Nos gráficos seguintes, são apresentados alguns indicadores ambientais relativos a produtos químicos: consumo de soda cáustica, PAC e polieletrólito por volume de efluente tratado mensalmente.

GRÁFICO IV-3 – COMPARAÇÃO ENTRE VOLUME DE EFLUENTE TRATADO E CONSUMO DE PRODUTO QUÍMICO: SODA CÁUSTICA

GRÁFICO IV-4 – COMPARAÇÃO ENTRE VOLUME DE EFLUENTE TRATADO E CONSUMO DE PRODUTO QUÍMICO: POLICLORETO DE ALUMÍNIO – PAC

COMPARAÇÃO ENTRE VOLUME DE EFLUENTE TRATADO E CONSUMO DE PRODUTO QUÍMICO: POLIELETRÓLITO

GRÁFICO IV-5 – COMPARAÇÃO ENTRE VOLUME DE EFLUENTE TRATADO E CONSUMO DE PRODUTO QUÍMICO: POLIELETRÓLITO

4.5. ADEQUAÇÃO DA METODOLOGIA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO

O enfoque para a otimização no processo de tratamento é um gerenciamento adequado da operação da ETE através de procedimentos tais como:

- ✓ Estabelecimento de parâmetros de controle processuais para os pontos críticos da ETE;
- ✓ Estabelecimento de limites de alerta;
- ✓ Controle da quantidade de carga orgânica de tratamento.

4.5.1. ESTABELECIMENTO DOS PARÂMETROS DE CONTROLE PROCESSUAIS PARA OS PONTOS CRÍTICOS DA ETE

A partir do registro das ocorrências diárias referentes a operação da ETE após sua ampliação, os principais problemas constatados após sua partida foram:

- ✓ Perda do sistema biológico de tratamento com a diminuição ou até a mortandade do lodo devido a concentrações elevadas a serem tratadas;

- ✓ Aumento de acidez e alcalinidade no afluente ao reator anaeróbio;
- ✓ Presença de algum contaminante (substância tóxica) nos efluentes industriais;
- ✓ Diminuição da concentração de oxigênio dissolvido no interior do tanque de aeração.

A fim de se evitar problemas processuais na ETE foram definidos alguns parâmetros de controle diário com o objetivo de guiar sua operação e estabelecer os limites de alerta para cada sistema de tratamento:

- ✓ Análises de DQO: do Setor do Encapsulamento, da chegada do industrial, do tanque de equalização, a jusante do sistema físico-químico;
- ✓ O&G da entrada do efluente bruto e no separador de água e óleo;
- ✓ Acidez e alcalinidade do efluente industrial na saída do reator anaeróbio;
- ✓ Vazão de tratamento no reator anaeróbio e tanque de aeração;
- ✓ Oxigênio dissolvido no interior do tanque de aeração.

4.5.2. ESTABELECIMENTO DE LIMITES DE ALERTA

Os limites de alerta foram definidos de acordo com a capacidade de tratamento da ETE segundo os dados estabelecidos em projeto e as médias verificadas ao longo do processo de tratamento, analisando o banco de dados elaborado com os resultados dos parâmetros de controle diário adotados.

Para o controle da ETE, basicamente, foram adotados três parâmetros de rápida obtenção e resposta, devido a facilidade de análise: carga orgânica em DQO em diversos pontos do processo de tratamento e acidez e alcalinidade no reator anaeróbio.

A partir do estabelecimento dos limites de alerta para estes três parâmetros e com suas análises regulares era possível tomar medidas preventivas para controlar situações de anormalidades tanto no próprio sistema de tratamento (falha de algum equipamento, problemas no sistema biológico ou sistema de dosagem de produtos químicos) ou no processo de produção.

Com este procedimento de estabelecimento de limites de alerta, houve a possibilidade de antever problemas e reagir a tempo de evitar:

- ✓ Sobrecargas no processo de tratamento com efluentes com cargas orgânicas muito além da média superior;
- ✓ Problemas no sistema de tratamento físico-químico por baixa eficiência de tratamento atrelados a um consumo excessivo de produtos químicos;
- ✓ Sobrecargas no sistema anaeróbio e/ou aeróbio de tratamento;
- ✓ Aumento ou diminuição da acidez ou alcalinidade no sistema anaeróbio de tratamento;
- ✓ Problemas no sistema de aeração com a avaliação da concentração de OD no tanque de aeração;
- ✓ Concentração de lodos no sistema biológico.

4.5.3. CONTROLE DA QUANTIDADE DE CARGA ORGÂNICA DE TRATAMENTO

Após partida da planta e acompanhamento da evolução das cargas orgânicas em DQO a serem tratadas e posterior constatação do aumento das mesmas a níveis superiores as de projeto a partir de 2003, foram implementadas estratégias para adequação a esta nova situação.

Foi observado que não houve prejuízo a eficiência global de tratamento em termos de atendimento a legislação. Contudo, houve queda na eficiência do sistema de tratamento biológico.

Esta queda de eficiência devido ao aumento da carga orgânica de tratamento levou ao receio da perda de um dos sistemas biológicos de tratamento. Isto demandaria um tempo elevado de recuperação do mesmo, devido a inoculação de lodo novo e ao tempo de aclimação as condições da ETE.

Além deste fator, a aquisição de lodo anaeróbio não é tarefa rápida e fácil, pois sua disponibilidade é menor devido a menor taxa de crescimento e dependendo do processo de tratamento, há lodos mais adequados e menos adequados, isto é, há também o quesito qualidade do lodo envolvido na aquisição do mesmo.

Em vista desta situação, inicialmente, a estratégia utilizada foi o acúmulo de efluente equalizado com alta carga orgânica para tratamento durante períodos de baixa de vazão. A carga orgânica de tratamento era mantida constante no limite para cada unidade de tratamento.

OBSERVAÇÕES:

- 1. Esta metodologia já era aplicada inicialmente para emergências que porventura pudessem ocorrer devido a picos de produção inesperados no planejamento fabril e problemas no processo de tratamento onde fosse constatada a não capacidade de absorção de picos pelo sistema de equalização (vazão constante e concentração elevada acarretando cargas altas).***
- 2. Para a aquisição de lodos anaeróbios para a FIRMENICH, não houve adaptação em relação a lodos de cervejarias e somente a lodos de 02 tipos de indústria de alimentos.***

Dentre todos os efluentes industriais, o que houve maior preocupação foi o efluente do Setor do Encapsulamento, efluente de maior carga orgânica e de maior complexidade de tratamento.

A demanda no setor de Encapsulamento cresceu de forma inesperada contribuindo decisivamente para a implementação da segunda alternativa. Esta consistia na construção de outro tanque de equalização de maior capacidade para acúmulo somente deste efluente (junho de 2003).

O volume de bombeamento diário é definido através da análise de DQO do Encapsulamento e da capacidade de tratamento da ETE. Esta última é quantificada segundo a capacidade de tratamento do reator anaeróbio e tanque de aeração.

O nível do tanque de acúmulo do Encapsulamento é administrado de acordo com as vazões de chegada do efluente do Encapsulamento: as leituras do volume deste tanque são realizadas duas vezes ao dia e totalizadas no período da manhã na primeira leitura diária sempre de 24 horas em 24 horas.

Para cada aumento de volume há a necessidade de se averiguar a possibilidade do envio deste efluente a ETE. Quando há uma sobrecarga da capacidade de tratamento da ETE, o envio é diminuído ou cancelado, recuperando o volume mínimo desejado do tanque de acúmulo sempre que ocorre diminuição na

produção ou parada da produção por manutenção ou priorização de produção de outro produto.

A medida que era constatado um aumento na eficiência de remoção da matéria orgânica, aumentava-se a vazão. A vazão inicial após a partida da planta foi de 1,0 m³/h e a vazão em 2004 foi de aproximadamente 3,0 m³/h.

Para a determinação da vazão de tratamento do reator anaeróbio são controlados três parâmetros principais: a carga orgânica a ser tratada (DQO do efluente do tanque de equalização e principalmente do sistema físico-químico) definida pela quantidade de lodo anaeróbio existente no interior do reator anaeróbio (análise realizada quinzenalmente), a acidez e alcalinidade.

Acima dos níveis recomendados processualmente em projeto do reator anaeróbio para a acidez e alcalinidade, a vazão de bombeamento era diminuída. Caso a quantidade de carga orgânica após sistema físico-químico ultrapassasse a capacidade de tratamento do reator anaeróbio, a vazão de alimentação do reator anaeróbio era diminuída.

Foi determinado que o aumento de vazão de alimentação do reator anaeróbio seria realizada de forma lenta e acompanhando o comportamento dos ácidos voláteis e alcalinidade.

Em relação a quantidade de carga orgânica a ser tratada no sistema aeróbio de tratamento, sua definição é realizada através da massa de lodo existente no tanque de aeração (análise da série de sólidos realizada quinzenalmente) e pela relação alimento-microrganismo utilizada em projeto considerando um sistema de aeração prolongada (F/M adotado de 0,08 kg de DQO/kg SSTxdia).

Portanto, em ambas as alternativas:

- ✓ As análises realizadas no efluente industrial bruto foram fundamentais para averiguação do que ocorria na produção para alerta da mesma em casos de picos de carga orgânica sem motivo pré-definido;
- ✓ Através das análises de DQO, acidez e alcalinidade pode ser calculada a quantidade de efluente a ser tratado no sistema biológico, devido ao controle da quantidade de lodo existente em cada sistema e por consequência a sua capacidade de tratamento.

OBSERVAÇÃO: Para o sistema aeróbio de tratamento, outro ponto importante a ser verificado é a concentração de OD mantida em torno de 2,0 mgO₂/L. A

diminuição da concentração de OD pode ser indício de excesso de carga orgânica a ser tratada quando isto ocorre por um período longo de aproximadamente de um a dois meses.

4.6. ESCOLHA DE TECNOLOGIA DE TRATAMENTO PARA DESAGUAMENTO DE LODOS

Após o início da operação da ETE ampliada, o sistema de tratamento de lodos passou por uma reformulação operacional em 2002, o que levou ao descarte de lodo diretamente na SABESP.

Ao longo do ano de 2002, foram realizados estudos com diversos equipamentos de desaguamento de lodo. Foram procuradas outras tecnologias para o desaguamento de lodos, tais como centrífugas decantadoras e prensas de roscas. Contudo, optou-se por testes com centrífugas de diversas marcas.

Foram realizados testes in loco com centrífugas de duas marcas diferentes e observado o funcionamento da rosca desaguadora em uma ETE do interior de São Paulo.

A vantagem destes equipamentos era quanto a facilidade de operação, pois no filtro prensa há a necessidade de se abrir as placas uma a uma para a retirada do lodo e limpeza das lonas. Já nos dois tipos de equipamentos analisados, não há a necessidade de se efetuar este tipo de procedimento, sendo a operação totalmente automatizada (embora haja filtros prensa que possuam um sistema praticamente automático de abertura das placas e limpeza das lonas, mas não sendo o caso da FIRMENICH).

A vantagem do filtro prensa em relação a estes dois tipos de equipamentos se refere a maior eficiência de remoção de umidade do lodo e quanto aos custos com energia elétrica que praticamente são resumidos a bomba de alimentação do filtro prensa.

Os testes foram satisfatórios. Após avaliação criteriosa de cada equipamento com testes in loco e análise de custos de aquisição, operação e manutenção, optou-se em continuar com o filtro prensa que a FIRMENICH já possuía.

No entanto, a operação do filtro prensa foi otimizada através da elaboração de metodologias para sua operação, com controles de tempo para cada atividade, quantidade de produtos químicos de acordo com jar-tests efetuados, melhorias nos acessórios para manuseio do filtro prensa e descarte de lodo e lavagem de placas.

No início do ano de 2003 foi realizado um estudo para otimização da operação do sistema de desaguamento de lodo. Com a construção do adensador de lodo (antigo decantador secundário), foram determinados o ciclo de prensagem do filtro prensa, as quantidades necessárias de produtos químicos para condicionamento químico do lodo e a forma para manutenção do filtro prensa.

Para a etapa de condicionamento químico do lodo foram realizados ensaios de jarros com o lodo físico-químico e o lodo biológico. Os produtos utilizados para o condicionamento químico do lodo são: cal hidratada para auxiliar no aumento da relação sólidos voláteis e sólidos totais facilitando o processo de desaguamento e o cloreto férrico para o processo de coagulação do lodo e formação dos flocos. Não foi necessária a adição de polímeros, pois nos ensaios de jarros realizados não houve diferença sensível com a adição de polímero.

Nos ensaios de jarros também foram determinadas as proporções de mistura de lodos físico-químico e biológico, uma vez que o lodo biológico apresenta uma característica mais hidrófoba dificultando o processo de desaguamento, ao contrário do lodo físico-químico de fácil desaguamento.

Após quantificação das dosagens ideais para o condicionamento químico do lodo, foi averiguada em escala real a funcionabilidade das dosagens com posterior correção das mesmas. A proporção máxima de mistura de lodo biológico no lodo físico-químico também foi determinada após os testes de jarros e início dos testes operacionais com os lodos.

Também foram determinados os tempos de reação após adição de cada produto químico e a necessidade de sedimentação do lodo condicionado para facilitar o processo de deságüe. Esta verificação foi determinada ao longo de várias prensagens, com o acompanhamento da duração do tempo de sedimentação e prensagem.

Chegou-se a conclusão de que a etapa de sedimentação não alterava sensivelmente a característica da torta de lodo e diminuía muito pouco a etapa de prensagem, não havendo uma melhora no tempo do ciclo de prensagem.

Com estas duas etapas processuais já definidas, partiu-se para a etapa de otimização operacional do filtro prensa para determinação do ciclo ideal de prensagem. Este estudo contemplou as atividades envolvidas no ciclo de prensagem com as respectivas durações de cada etapa.

As etapas consistiam em: fechamento das placas, condicionamento químico do lodo, enchimento do filtro prensa, tempo de prensagem, abertura do filtro prensa, descarregamento do filtro prensa, limpeza das placas e limpeza do local de prensagem.

TABELA IV-11 – TEMPO PARA CADA ETAPA DE PRENSAGEM

Portanto, foram determinados os tempos ótimos de cada etapa envolvida no ciclo de prensagem, atingindo a otimização desejada na etapa de desaguoamento de acordo com as características do lodo da ETE. A duração total do ciclo de prensagem foi de 150 minutos com o incremento operacional de todas as atividades.

4.7. ESCOLHA DA FORMA E LOCAL DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

Há diversas formas de se realizar a disposição final dos resíduos gerados no processo de tratamento de efluentes, entre os quais podem ser citados: compostagem, landfarming, incineração, co-processamento e a mais usual, disposição em aterros.

O lodo gerado na ETE da FIRMENICH, após envio para laboratório externo e realização de sua classificação segundo a ABNT NBR 10004/87 (classificação de resíduos sólidos empregada na época da partida do sistema de desaguoamento), foi enquadrado na CLASSE 2. Uma vez sendo CLASSE 2, não haveria problemas quanto a forma de disposição final deste lodo.

Como forma mais usual, conhecida e mais segura quanto a empresas prestadoras de serviços neste campo, tendo em vista principalmente a questão de responsabilidade e segurança da FIRMENICH, além da parte de custos, o lodo após o processo de desaguamento passou a ser encaminhado a aterro industrial CLASSE 2.

Para a escolha do local de disposição, foram analisados alguns aterros próximos ao Município de Cotia atentando para a tecnologia de recebimento e disposição dos lodos e a legalidade do estabelecimento de acordo com a legislação vigente, uma vez que a empresa geradora é co-responsável pela destinação de seus resíduos.

Em cada visita foram observados três principais fatores:

(1) Sistema de recebimento do resíduo:

- Balança para pesagem das carretas;
- Local coberto para servir como pulmão para armazenagem dos resíduos sólidos;
- Local para inertização dos lodos que contenham líquidos livres ou teor de O&G acima do especificado pelas normas;

(2) Infra-estrutura das instalações:

- Laboratório para análise dos resíduos sólidos que serão dispostos, análises das águas dos poços de monitoramento e águas pluviais;
- Existência de poços de monitoramento ao redor do aterro;
- Estação de tratamento de águas pluviais;
- Estação de tratamento do chorume gerado nas valas;
- Sistemas para armazenagem do chorume e demais efluentes gerados nas instalações do aterro (caso não haja ETE) e que necessitam de tratamento via órgão responsável (no caso em questão, SABESP);
- Existência de barreiras físicas para impedir a dispersão de resíduos sólidos e/ou disseminação de odores para a vizinhança (devido a barreira física os odores exalados vão para as camadas mais altas minimizando o choque com a vizinhança);
- Sistemas para minimização do odor;
- Vigilância constante do aterro;

(3) Custos e manutenção da operação:

- Distância entre a fábrica e o aterro, devido aos custos com o transporte de lodo;
- Custos envolvidos com a disposição do lodo e inertização;
- Garantias envolvidas em caso de acidentes ambientais.

Após a escolha do aterro, foi estabelecido que semestralmente seria realizada uma visita para reavaliação do local de disposição e caso fosse necessária, haveria mudança para outro estabelecimento.

4.8. MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Para o bom andamento do sistema de tratamento, além dos tópicos relacionados a processo, há na parte de gerenciamento de operação, a manutenção de equipamentos.

Consiste na elaboração de planos de manutenção preventivo e corretivo dos equipamentos da ETE contemplando:

- ✓ Listagem de equipamentos, peças sobressalentes e fluidos para lubrificação;
- ✓ Arquivamento de todas as folhas de dados, especificações técnicas e databooks de equipamentos para eventuais consultas;
- ✓ Inventário de cada equipamento e peças com maior índice de quebra (levantamento do histórico de manutenções corretivas);
- ✓ Inventário de peças trocadas por desgaste em cada manutenção preventiva para estoque;
- ✓ Treinamentos da equipe de manutenção para os equipamentos com maior incidência de quebra e que demanda maior tempo de resposta em relação ao setor de assistência técnica do fornecedor.

4.9. CUSTOS RELACIONADOS AO TRATAMENTO DE EFLUENTES

Para uma correta avaliação da Produção Mais Limpa na ETE também é necessária a análise dos custos envolvidos no processo de tratamento de efluentes. Para tanto, foi necessário o controle de todos os custos envolvidos no processo de tratamento de efluentes, atrelando suas variações com as oscilações processuais da ETE.

Foram também estabelecidos indicadores ambientais e metas para um maior controle da eficiência de tratamento – efluente tratado versus custos – para averiguar o progresso no tratamento de efluentes e controle da ETE.

A partir deste conceito, foi desenvolvido um programa para o controle dos custos envolvidos no tratamento de efluentes da ETE. O montante destinado a ETE

está compreendido no orçamento anual do setor de manutenção da fábrica, uma vez que a mesma responde diretamente a este setor. Deste orçamento anual previsto para a ETE, os custos envolvidos no tratamento de efluentes da ETE podem ser divididos em:

1. Mão-de-obra:

Funcionários divididos em operadores, biólogo responsável pelas análises químicas para controle do processo e chefe de operações da ETE;

2. Produtos químicos:

Todos os produtos químicos envolvidos no processo de tratamento dos efluentes e condicionamento químico do lodo para o seu processo de desaguamento: soda cáustica diluída 30%, policloreto de alumínio, polímero catiônico, cal hidratada leve, cloreto férrico (solução 37%), uréia técnica, fosfato monoamônio (MAP);

3. Análises químicas laboratoriais realizadas internamente:

Reagentes para realização das análises necessárias para avaliação do processo de tratamento (DQO, fósforo, nitrogênio, alcalinidade e acidez) e aquisição de equipamentos para estas análises e análises de campo (sólidos sedimentáveis, medição de pH, temperatura e oxigênio dissolvido);

4. Serviços públicos:

Energia elétrica para funcionamento dos equipamentos da ETE e iluminação. Fornecimento de água (SABESP) para preparo dos produtos químicos dosados no tratamento de efluentes e limpeza da ETE e laboratório;

5. Água utilizada no preparo de produtos químicos, limpeza da ETE e laboratório e possíveis diluições de processo:

Manutenção do poço artesiano existente no site;

6. Manutenção de equipamentos:

Plano de manutenção preventiva e corretiva para os equipamentos utilizados na ETE;

7. Serviços de terceiros:

Este item está subdividido em:

- ✓ Empresa de consultoria para tratamento de efluentes: consultoria externa para operação da ETE, avaliação do processo de tratamento e sua adequação, com busca a novas tecnologias e assessoria legal quanto a elaboração de relatórios para órgãos ambientais, avaliação de prestadores de serviço: laboratórios externos e aterros industriais para disposição do lodo gerado no tratamento;

- ✓ Laboratório externo: realização de análises não elaboradas na ETE, auditoria das análises da ETE e elaboração de laudos para CETESB;
- ✓ Transportadora de Resíduos e Aterro Industrial: disposição final do lodo gerado no processo de tratamento;
- ✓ Serviços de limpeza de tanque e fossa séptica;
- ✓ Distribuidora credenciada a FIRMENICH para fornecimento de água: preparo dos produtos químicos dosados no tratamento de efluentes e limpeza da ETE e laboratório.

8. Custos diversos:

Custos subdivididos em aquisição de equipamentos para melhoria contínua do processo de tratamento, manutenções corretivas, medidas mitigadoras para contingências processuais e adequação do laboratório para realização das análises necessárias para o controle processual da ETE, custos com treinamento e reciclagem do corpo técnico da ETE.

O controle de custos iniciou em 2003 com o levantamento mensal de cada item gasto dentro da ETE. Como não havia meios de se comparar devido a implementação recente deste controle, o parâmetro utilizado para comparação foi o custo aproximado apresentado pela SABESP para o esgoto industrial tratado: aproximadamente R\$ 7,50 por metro cúbico tratado.

A partir deste primeiro levantamento e com o orçamento previsto para a ETE, tendo-se o custo aproximado como meta para o ano em análise, foi possível realizar uma comparação da evolução do processo de tratamento, avaliando custo por volume de efluente industrial tratado concomitantemente ao grau de poluição tratado.

Inicialmente o observado foi o peso dos custos com o envio e tratamento de efluentes a SABESP, principalmente o efluente do Encapsulamento, influenciando demasiadamente os custos totais mensais da ETE. O envio a SABESP foi necessário devido a sobrecarga de tratamento na ETE, culminando nos meses de outubro e novembro de 2003 a um aumento dos custos.

Os custos envolvidos com mão-de-obra (funcionários E.T.E.), consultoria/gerenciamento e energia elétrica são itens cujos montantes permanecem praticamente constantes ao longo de 2003 e 2004.

A variação de custos para os produtos químicos acompanhou a tendência do volume de efluente tratado com pequenas oscilações em relação ao custo médio de aquisição de produtos químicos.

Para o laboratório externo, a tendência é minimizar os custos envolvidos nas análises até o ponto de se realizar análises externas somente para efeito de auditoria. Por conseguinte, os custos envolvidos na compra de produtos químicos.

Com o levantamento dos custos de 2003, além de servir como base de comparação para os anos posteriores, foi observada a necessidade da otimização processual gradativa para minimização dos custos envolvidos na ETE.

Este tópico referente aos custos de tratamento, posteriormente deverá ser motivo para novo estudo com aprofundamento e apresentação de dados.

CAPÍTULO V: CONCLUSÃO

O tratamento de efluentes industriais envolve diversas operações unitárias que paulatinamente imprimem uma necessidade de evolução contínua em termos de tecnologias em processos de tratamento.

Estas tecnologias abrangem tanto equipamentos ou novos conceitos para adequação dos efluentes as necessidades internas e externas a indústria. Internas, como reuso em processo ou para finalidades menos nobres e externas, como o descarte em corpo d'água receptor de acordo com a legislação vigente.

A Produção Mais Limpa aplicada para o tratamento de efluentes industriais visa apresentar ferramentas para a melhoria contínua do mesmo, facilitando o próprio processo de tratamento e as diversas atividades nele envolvidas, através de um gerenciamento de operação otimizado e eficaz.

O enfoque apresentado foi para processos fim de tubo, aplicação totalmente contrária do exposto pela P+L, conceitualmente empregada para processos produtivos ainda internos a fábrica. Dada a grande versatilidade da P+L quanto a extensão de sua aplicação, foi possível introduzi-la para a ETE.

Esta visão inovadora da P+L, com grande aplicabilidade nos processos fim de tubo, gerou diversos benefícios quando inseridos no tratamento dos efluentes de uma indústria de química fina, o que não impede que seja estendida às estações de tratamento de efluentes industriais no geral.

Para tanto, foi levantado o histórico do processo de tratamento de efluentes desde a construção da ETE, sua operação e constatação da necessidade de aumento até a ampliação de sua capacidade de tratamento com posterior partida e operação. Foram realizadas análises dos dados pré e pós ampliação da ETE e da implementação das metodologias de P+L.

A partir de informações de processo como vazão de efluentes industriais, características de entrada e saída do mesmo em cada unidade de tratamento envolvida, levantamento de produtos químicos consumidos e comportamento do processo de tratamento, foram apresentados meios para atuar no gerenciamento operacional de forma otimizada.

Alguns dos principais pontos verificados com a introdução da P+L na ETE foram:

- ✓ Programa de monitoramento das ocorrências na produção para correspondência aos acontecimentos no processo de tratamento da ETE, uma vez que a mesma atua como auditora de todos os desvios ocorridos internamente a fábrica;
- ✓ Gerenciamento da operação para itens como controle de custos, análises realizadas interna e externamente para operação da ETE, descarte de lodo e manutenção de equipamentos;
- ✓ Programa de análises para controle da operação da ETE, com cálculo das cargas orgânicas admissíveis para cada unidade de tratamento;
- ✓ Reaproveitamento de equipamento para desaguamento de lodo e otimização de sua operação através de estudo de tempo para cada etapa do ciclo de operação e otimização do condicionamento químico do lodo tanto na proporção de lodo industrial e biológico a ser misturado quanto em relação a dosagem de produtos químicos;
- ✓ Utilização dos óleos e graxas removidos no processo de tratamento dos efluentes industriais para alimentação da caldeira.

Foi caracterizada a importância da ETE como auditora do processo produtivo, detectando desvios ocorridos internamente a fábrica. Através dos dados apresentados pôde ser observado o dinamismo no processo de tratamento de efluentes industriais da FIRMENICH e a melhoria contínua de sua operação através da P+L.

Houve adaptação do sistema de tratamento ao aumento constante da carga orgânica afluente a ETE e a capacidade em administrar este aumento sem prejudicar a eficiência global de tratamento em termos da manutenção da mesma acima dos padrões exigidos legalmente.

No presente trabalho ainda há a necessidade de aprofundamento na parte de custos relacionados ao tratamento de efluentes apresentando as variações dos custos com a quantidade de efluente tratado e os respectivos indicadores ambientais. Posteriormente, quando for realizada a avaliação completa em termos de custos, poderá ser averiguado o retorno financeiro gerado pelo emprego da P+L.

Outro ponto seria quanto ao reuso dos efluentes industriais tratados para fins menos nobres no interior da fábrica e a utilização do biogás gerado no reator anaeróbio como forma de reaproveitamento energético.