

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
CENTRO TECNOLÓGICO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM SISTEMAS DE GESTÃO

PAULO CESAR FRANÇA DA SILVA

**TRATAMENTO DE RESÍDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIAIS PELO PROCESSO  
ELETROLÍTICO: UMA ALTERNATIVA PARA O GERENCIAMENTO DOS  
RESÍDUOS LÍQUIDOS GERADOS NAS INDÚSTRIAS MECÂNICAS  
FABRICANTES DE EQUIPAMENTOS PARA PRODUÇÃO DE PETRÓLEO**

Niterói  
2005

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

PAULO CESAR FRANÇA DA SILVA

**TRATAMENTO DE RESÍDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIAIS PELO PROCESSO  
ELETROLÍTICO: UMA ALTERNATIVA PARA O GERENCIAMENTO DOS  
RESÍDUOS LÍQUIDOS GERADOS NAS INDÚSTRIAS MECÂNICAS  
FABRICANTES DE EQUIPAMENTOS PARA PRODUÇÃO DE PETRÓLEO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: **Organizações e Estratégia**. Linha de Pesquisa: **Sistema de Gestão do Meio Ambiente**.

**Orientador:**

**Prof. Fernando Benedicto Mainier, D. Sc.**

Niterói  
2005

PAULO CESAR FRANÇA DA SILVA

**TRATAMENTO DE RESÍDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIAIS PELO PROCESSO  
ELETROLÍTICO: UMA ALTERNATIVA PARA O GERENCIAMENTO DOS  
RESÍDUOS LÍQUIDOS GERADOS NAS INDÚSTRIAS MECÂNICAS  
FABRICANTES DE EQUIPAMENTOS PARA PRODUÇÃO DE PETRÓLEO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: **Organizações e Estratégia**. Linha de Pesquisa: **Sistema de Gestão do Meio Ambiente**.

Aprovada em 30 de agosto de 2005.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Fernando B. Mainier, D. Sc. – Orientador  
Universidade Federal Fluminense UFF

---

Prof. Sérgio Pinto Amaral, D. Sc.  
Universidade Federal Fluminense - UFF

---

Prof. Fábio Merçon, D. Sc.  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

*Homem algum poderá revelar-vos senão o que já está meio adormecido na aurora do vosso entendimento.*

*O mestre que caminha à sombra do templo, rodeado de discípulos, não dá de sua sabedoria, mas sim de sua fé e de sua ternura.*

*Se ele for verdadeiramente sábio, não vos convidará a entrar na mansão do seu saber, mas vos conduzirá antes ao limiar de vossa própria mente.*

**(Gibran Khalil Gibran)**

Dedico esse trabalho

A minha esposa Mônica e filhas Lílian, Flávia e Luíza pelas horas entregues à pesquisa, que causaram certo distanciamento e desatenção; obrigado pela compreensão.

Aos meus pais e irmãos pelo apoio, compreensão e cooperação em todos os momentos da minha caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor-Doutor Fernando B. Mainier por sua amizade paternal, pela orientação qualificada; companheiro decisivo para o desenvolvimento deste trabalho.

À empresa FMC Technologies do Brasil Ltda, pelo apoio a pesquisa e incentivo ao aprimoramento profissional, sem o qual não seria possível me dedicar a este tema.

Aos Professores-Doutores Osvaldo Quelhas, Gilson Brito Alves Lima, José Rodrigues e equipe do LATEC, pela dedicação com que buscam qualificar profissionalmente este curso. Venho agradecer e parabenizar a todos pelo importante trabalho que estão realizando.

Aos profissionais e amigos que colaboraram direta e indiretamente para a produção dessa pesquisa, desejo deixar registrado o meu agradecimento a todos, colocando-me da mesma forma atenciosa e prestativa à disposição para que em alguma oportunidade possa retribuir a tamanha prova de solidariedade.

E principalmente a Deus, por me dar à força necessária à busca do aperfeiçoamento pessoal e profissional.

## RESUMO

A pesquisa apresenta informações sobre a tecnologia de tratamento de resíduos líquidos pelo processo físico-químico eletrolítico e sua aplicação como uma alternativa para o gerenciamento dos resíduos gerados pela indústria fabricante de equipamentos para produção de petróleo. A partir de levantamento bibliográfico, de ensaios realizados em laboratório com efluentes próprios desse ramo industrial e de exemplos práticos obtidos em estações de tratamento que efetivamente estão utilizando o processo eletrolítico, foram reunidas evidências da sua efetividade para o tratamento de resíduos líquidos industriais e sanitários, demonstrando que ao empregar reações de eletrólise possibilita aumentar a capacidade e eficiência do tratamento físico-químico tradicional. O estudo disponibiliza informações sobre seu desempenho em relação aos principais parâmetros de controle dos efluentes gerados por esse ramo industrial (DQO, MBAS, óleos e graxas, RNFT, cor e teor de zinco), verificando seu potencial como alternativa promissora para o atendimento à legislação ambiental. A avaliação final da investigação comprova a eficiência do processo eletrolítico, enfatizando que não é um tratamento para a resolução de todos os problemas existentes, mas acima de tudo, fica mais uma vez comprovada que, é essencial para o desenvolvimento do sistema de gestão ambiental a atuação na origem dos processos industriais, procurando simplificar ao máximo o tratamento final, pela identificação e implantação de processos de produção mais limpa.

**Palavras-chave:** Tratamento de Resíduos Líquidos, Processo Físico-Químico Eletrolítico, Meio Ambiente, Contaminação.

## ABSTRACT

The research presents information about the liquid residues treatment by electrolytic physiochemical process and its application as an alternative for the administration of the residues generated by the petroleum equipment manufacturing industry. Starting from bibliographical rising, tests performed in laboratory with effluents from this industrial branch and, experiences in treatment stations that are really using the electrolytic process, evidences of its effectiveness were obtained for the treatment of industrial and sanitary liquid residues, demonstrating that the use of electrolysis reactions make possible to increase the capacity and the efficiency of the traditional physiochemical treatment. The study disposable information about its performance in relation to the main effluents control parameters generated by this industrial branch (COD, MBAS, oils and greases, total suspended solids, color and zinc concentration), verifying its potential as a promising alternative for meeting the environmental legislation. The final evaluation proves the efficiency of the electrolytic process, emphasizing that it is not a treatment for solving all of the existent problems, but once again, proves that it is essential for the development of the environmental system administration, an action in the origin of the industrial processes, trying to simplify to the maximum the final treatment, to identification and implantation of cleaner production process.

**Keywords:** Liquid Residues Treatment, Electrolytic Physiochemical Process, Environment, Contamination.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1	Principais mudanças implementadas na revisão de 2004	30
Figura 1	Esquema de avaliação de um efluente industrial	36
Quadro 2	Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos	37
Quadro 3	Resumo das Interpretações de análises	46
Figura 2	Reações e estruturas dimera e polimérica do $Al^{3+}$	51
Figura 3	Esquema de uma célula eletrolítica	54
Figura 4	Vista do reator de vidro (2 L) com tratamento em batelada e agitação magnética	64
Figura 5	Vista do reator de polietileno com tratamento contínuo	65
Figura 6	Aspectos dos eletrodos de placas de aço usadas no reator em batelada e no reator contínuo	65
Figura 7	Processo mostrando a maior remoção por flotação do efluente oleoso em relação à sedimentação	66
Figura 8	Início do tratamento com o fluido hidráulico de cor verde	67
Figura 9	O aumento da coloração verde em função do tempo e a formação de material floculado na parte superior.	68
Figura 10	Aspecto da coagulação/flotação sem o auxílio de polieletrólito	68
Figura 11	Aspecto da coagulação/flotação com o auxílio de polieletrólito	69
Figura 12	Vista do reator eletrolítico horizontal onde se observa os resíduos flotados (cor escura).	76
Figura 13	Unidade de tratamento físico-químico convencional	77
Figura 14	Unidade de tratamento eletrolítico	78
Figura 15	Vista geral da estação de tratamento de Glicério	79
Figura 16	Estação de tratamento eletrolítico – Parte superior do reator	80
Figura 17	Vista do tratamento com o filtro de quartzo, o filtro de carvão ativo e equipamento para oxidação com radiação ultravioleta	81
Figura 18	Diagrama de bloco de tratamento de efluentes	83
Figura 19	Vista do Reator Eletrolítico, da fonte retificadora de corrente contínua e do painel de controle do processo	83

Figura 20	Vista do interior da célula eletrolítica	83
Figura 21	Vista do floculador hidráulico.	85
Figura 22	Retirada de amostra para verificação no nível de coagulação após eletrólise.	86
Figura 23	Tratamento sem polieletrólito	86
Figura 24	Tratamento com polieletrólito	86
Figura 25	Vista dos filtros de quartzo e de carvão ativo	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Levantamento das principais fontes de resíduos da Ind. Mecânica fabric. Equip. para produção de petróleo	70
Tabela 2	Resultados dos ensaios de laboratório batelada 01	71
Tabela 3	Resultados dos ensaios de laboratório batelada 02	71
Tabela 4	Resultados dos ensaios de laboratório batelada 03	72
Tabela 5	Resultados dos ensaios de laboratório batelada 04	73
Tabela 6	Resultados dos ensaios de laboratório batelada 05	73
Tabela 7	Resultados dos ensaios de laboratório batelada 06	73
Tabela 8	Resultados dos ensaios de laboratório batelada 07	74

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Estado do Rio de Janeiro
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO <sub>5</sub>	DBO medido em cinco dias
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	Environmental Protection Agency
ETE	Estação de tratamento de efluentes
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
ISO	International Organization for Standardization
MBAS	Methilene Blue Active Substances
RAE	Relatório de Acompanhamento de Efluentes Líquidos
RNFT	Resíduo Não Filtrável Total
SD	Sólidos Dissolvidos
SF	Sólidos Fixos
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SLAP	Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras (RJ)
SS	Sólidos em Suspensão
SSV	Sólidos em Suspensão Voláteis
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis Totais
TR	Termo de Referência

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>18</b>
2.1	FORMULAÇÃO DA SITUAÇÃO PROBLEMA.	18
2.2	OBJETIVOS	24
2.3	JUSTIFICATIVAS	24
2.4	HIPÓTESE	25
2.5	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	25
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>27</b>
3.1	SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL	27
3.2	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	32
3.3	ESTUDO DE TRATABILIDADE	39
<b>3.3.1</b>	<b>Processos físicos</b>	<b>40</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Processos físico-químicos</b>	<b>40</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Processos biológicos</b>	<b>41</b>
3.4	TRATAMENTO DE RESÍDUOS LÍQUIDOS PELO PROCESSO ELETROLÍTICO	47
<b>3.4.1</b>	<b>Tratamento físico-químico tradicional</b>	<b>47</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Processo eletrolítico</b>	<b>47</b>
3.4.2.1	ELETROFLOCULAÇÃO	51
3.4.2.2	O USO DE POLIELOTRÓLITOS NOS TRATAMENTOS	54
3.4.2.3	DIMENSIONAMENTO	55
3.4.2.4	FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSO	57
3.4.2.5	APLICAÇÕES	58
3.4.2.6	VANTAGENS E DESVANTAGENS	59
<b>4</b>	<b>AVALIAÇÃO DO PROCESSO ELETROLÍTICO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS E DOMÉSTICOS</b>	<b>62</b>
4.1	ENSAIOS LABORATORIAIS	62
4.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS DE LABORATÓRIO	69
<b>4.2.1</b>	<b>Verificação das fontes de resíduos</b>	<b>70</b>

<b>4.2.2</b>	<b>Comparação entre o tratamento físico-químico tradicional e a eletrofloculação</b>	<b>71</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Avaliação dos testes de eletrofloculação</b>	<b>72</b>
<b>4.3</b>	<b>AVALIAÇÃO DE UNIDADES ELETROLÍTICAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES EM ESCALA INDUSTRIAL</b>	<b>74</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Avaliação do tratamento eletrolítico na indústria de cosméticos</b>	<b>75</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Avaliação do processo eletrolítico no tratamento de efluente sanitário</b>	<b>77</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Avaliação do processo eletrolítico em indústria fabricante de equipamentos para produção de petróleo</b>	<b>80</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>89</b>
<b>5.1</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>89</b>
<b>5.2</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>91</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>92</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em todo planeta inúmeros exemplos apontam situações que favorecem ao desequilíbrio ambiental, causando perdas irreparáveis à humanidade. Entretanto, o mercado do segmento de petróleo, por maior experiência vivida em passado recente, está sintonizado com a questão ambiental, incentivando ações ecologicamente responsáveis. Por outro lado, o Governo vem incrementando a fiscalização, para que as empresas instaladas no Brasil estejam em conformidade com as legislações nacionais e internacionais.

A indústria de equipamentos para produção de petróleo no Brasil está passando por uma fase de adequar sua gestão empresarial e tecnológica em harmonia constante com a preservação do meio ambiente, ou seja, uma prioridade indiscutível nas suas metas. Dessa forma, busca incessantemente técnicas e tecnologias aliadas aos conhecimentos de materiais, projeto, facilidades de fabricação, montagem e técnicas anticorrosivas, necessárias e pertinentes, para que todos os equipamentos destinados à produção de petróleo possuam uma confiabilidade intrínseca que venha garantir, direta e indiretamente, a preservação ambiental.

Segundo Chaves & Mainier (2004), é admissível que o crescimento da exploração petrolífera, embora, controlado e regulamentado, direta ou indiretamente, promova riscos de acidentes ambientais que vão além das normas regulamentadoras, estudos e os relatórios de impactos ambientais. As atividades petrolíferas, de pequeno ao grande porte, apresentam riscos com descargas de óleo e derivados para o ambiente, obrigando ao dimensionamento de um sistema de gestão que venha a reduzir a probabilidade de ocorrência de acidentes e mitigar os possíveis efeitos nos ecossistemas. Desta forma, os estudos ambientais elaborados pelas empresas petrolíferas a partir do Termo de Referência<sup>1</sup> (TR), têm a função de fornecer informações para o órgão de licenciamento avaliar as atividades no âmbito das melhores normas e tecnologias da exploração de petróleo. Este novo cenário de

---

<sup>1</sup> **Termo de Referência (TR)** – documento elaborado pelo órgão ambiental responsável pelo licenciamento da atividade com potencial para poluição, que orienta o empreendimento para a realização de estudos ambientais como o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

desenvolvimento econômico coloca o processo de licenciamento ambiental das atividades petrolíferas *off-shore* como uma importante etapa no processo pós-abertura do mercado: instruções normativas que permitam o crescimento sócio-econômico e a qualidade ambiental conjugados com o desenvolvimento sustentável.

A implantação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) é o caminho naturalmente necessário para a adequação de todo processo produtivo das empresas em harmonia com a preservação ambiental.

Na ótica de La Rovere (2000), ao conseguir a implementação de um sistema de gestão ambiental numa Empresa representa um avanço extraordinário rumo a sustentabilidade, na verdade, pode vir a ser a chave para a sobrevivência e para o crescimento responsável. A implementação de um sistema de Gestão Ambiental constitui a estratégia para que o empresário, em um processo de melhoria contínua, de modo a identificar as oportunidades de melhorias que reduzam os impactos das atividades da empresa sobre o meio ambiente, melhorando, simultaneamente, sua situação no mercado e suas possibilidades de sucesso.

A Gestão Ambiental possibilita que as empresas atuem com segurança; em conformidade com as leis ambientais; economizando recursos; de forma competitiva no mercado; com maior facilidade para obtenção de créditos e investimentos; protegendo e fortalecendo a imagem no contexto social-empresarial.

Estando em conformidade com a legislação as empresas evitam transtornos com os órgãos governamentais que a cada dia responsabilizam mais intensamente os agentes poluidores civil e criminalmente. Penalidades que podem inclusive paralisar ou até mesmo desativar suas atividades produtivas.

Os sistemas de gerenciamento e auditorias ambientais estão baseados nas normas ISO 14000 / NBR 14000 e ISO 9000 / NBR 19000. Recentemente, em sua última revisão, a norma NBR ISO 14001: 2004 – Sistemas de Gestão Ambiental / Especificação e Diretrizes, enfatiza a importância do atendimento a Legislação Ambiental vigente.

No caso específico das empresas mecânicas que fabricam e montam diversos equipamentos destinados à produção de petróleo, o cumprimento da legislação ambiental vigente no que diz respeito ao gerenciamento e a correta disposição final

dos resíduos industriais gerados, é um dos pontos cruciais que deve ser avaliado crítica e continuamente.

Dessa forma, o tema tratamento de resíduos líquidos industriais ganha extrema relevância, dentro do sistema de gestão ambiental, sendo em muitos casos o item de maior dificuldade operacional e necessidade de controle.

Este trabalho tem por objetivo reunir informações atuais sobre o processo eletrolítico de tratamento de resíduos líquidos que evidenciem, qualitativa e quantitativamente, sua contribuição como tratamento alternativo, pois, é do conhecimento geral que nenhum processo de tratamento estará adequado para a resolução de todos os casos e tipos de poluentes existentes. Cada processo de tratamento de efluentes líquidos tem sua especificidade em relação a vários fatores, tais como: maior facilidade operacional de tratamento; menor custo; maior eficiência; tipo, característica, quantidade de poluente; vazão e finalmente a disponibilidade de recursos humanos e de equipamentos.

De certo, esse processo poderá ser aplicado em diversas outras situações e/ou em diversos segmentos industriais. É consenso a limitação às indústrias fabricante de equipamentos para produção de petróleo, porque nesta pesquisa serão realizados ensaios de laboratório com efluentes líquidos característicos desse ramo industrial.

É objetivo desta pesquisa compreender os fundamentos do processo eletrolítico, seu potencial, identificar nos exemplos já efetivados, quais as dificuldades que surgiram dessas iniciativas; avaliar os resultados obtidos; procurar definir uma proposta que tenha maior probabilidade de sucesso na adequação do tratamento de forma a atender à legislação vigente.

Como meta à pesquisa deve contribuir para a definição de um sistema adequado de gerenciamento para os resíduos industriais líquidos gerados, de forma a sintonizar as atividades industriais, com foco no equilíbrio dos ecossistemas das regiões onde interagem, promovendo um real desenvolvimento sustentável.

Segundo Couto et al. (2004), o desenvolvimento sustentável deve promover a conservação dos recursos naturais, ser tecnicamente apropriado, economicamente viável e socialmente aceitável, de tal forma, que permita satisfazer as necessidades de crescimento de um país, sendo que, a avaliação de impacto ambiental, passa a ser entendida como um processo de análise que antecipa os futuros impactos

ambientais, sejam positivos ou negativos, provenientes das ações humanas, permitindo selecionar as alternativas que, cumprindo com os objetivos propostos, maximize os benefícios e reduzam ou inibam os impactos ambientais não desejados.

Acompanhar o movimento ambiental mundial coloca a empresa na vanguarda da competitividade; atualizada para a obtenção de incentivos financeiros de organismos nacionais e internacionais.

Nesse contexto atual, não há motivos, nem mesmo econômicos, que justifiquem aos gestores o descomprometimento com as preocupações ambientais. Pelo contrário, a degradação da qualidade das águas se apresenta como um dos mais relevantes problemas que devem ser compreendidos e encarados com seriedade e prioridade. São reduzidas as quantidades de água doce disponível no planeta e por sua importância vital aos seres humanos é incrível constatar o grau de irresponsabilidade com que as fontes de água potável vêm sendo utilizadas, sem a adequada preservação e conservação.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 FORMULAÇÃO DA SITUAÇÃO PROBLEMA

Segundo Liechoscki & Mainier (2004), a saúde da população e o meio ambiente são sensíveis aos efeitos colaterais de produtos da indústria em geral e principalmente a indústria química e petrolífera, existindo histórico de casos onde os danos são irreversíveis. Os meios de produção em massa e a comercialização em escala mundial intensificam os perigos. As sociedades nos países industrializados, profundamente dependentes de tais produtos, vêm se tomando cada vez mais exigentes no que se refere à segurança e a qualidade de vida. Aspectos antes tolerados deixam de ser, à medida que se acentua a consciência técnica crítica. Trata-se de um processo de aperfeiçoamento contínuo, que não se esgota.

Na visão de Doménech (1994), a degradação ambiental vem ocorrendo de forma sistemática a partir da Revolução Industrial do século XIX, entretanto, o quadro nestas últimas décadas tem apresentado um crescimento espetacular, principalmente em função das atividades tecnológicas desenvolvidas a qualquer custo sem se importar com as conseqüências a curto e a longo prazo. Os grandes volumes de resíduos lançados no ar, na água e no solo estão começando a ser protagonistas indesejáveis da vida diária da sociedade, pois têm impregnado os costumes da sociedade ocidental, colocando em perigo a vida no planeta.

Por outro lado às questões relativas à conservação ambiental ocupam hoje uma significativa parcela dos investimentos e esforços de todos os segmentos da atividade econômica.

O comportamento do consumidor, dando vantagem competitiva às corporações com reais atitudes frente às questões ambientais, está tornando viável ações que anteriormente eram vistas como ponto de desvantagem econômica diante da concorrência.

Hoje a empresa poluidora tende a perder competitividade em relação aos custos, imagem, devido a taxações e paradas de produção impostas pelas agências de controle ambiental.

A ligação entre a economia e a ecologia é uma realidade. As empresas já perceberam que produzir com ética e responsabilidade é o caminho mais correto e seguro para sua sustentabilidade no mercado.

Diante dessa verdadeira quebra de modelo, as organizações identificaram nas questões ambientais, um dos importantes fatores críticos de sucesso pela aceitação dos seus produtos nos mercados interno e externo, especialmente se consideradas as leis e normas já em vigor nos países desenvolvidos, que tendem a dirigir parte das atenções para a qualidade ambiental das matérias-primas e produtos fornecidos pelos países em desenvolvimento, e que constituem hoje agentes de pressão sobre negócios e governos.

A implantação de um Sistema de Gestão Ambiental é o caminho naturalmente necessário para a adequação de todo processo produtivo das empresas em harmonia com a preservação ambiental.

Para as indústrias fabricantes de equipamentos para produção de petróleo a necessidade de adequar o processo produtivo em harmonia com a preservação ambiental, atendendo a legislação, tem gerado um comportamento comum: a realização de auditorias para o levantamento detalhado dos aspectos e potenciais impactos ambientais provenientes dessas atividades industriais.

As avaliações obtidas a partir dessas auditorias propiciaram, via de regra, a correção direta de várias situações irregulares e a iniciação de uma proposta preliminar de sistema de gestão ambiental, para que numa segunda fase, contando com um treinamento específico sobre a norma NBR ISO 14001 (ASSOCIAÇÃO..., 2004), as empresas sejam preparadas para a obtenção da certificação por uma terceira parte.

Dessas avaliações, o item tratamento dos resíduos líquidos mereceu atenção especial, devido às transformações ocorridas no mercado, com o predomínio de empresas multinacionais que trouxeram novas técnicas, equipamentos e outra visão gerencial.

Nos últimos anos foram introduzidos processos químicos de nova geração ocasionando uma modificação no tipo do efluente líquido gerado, exigindo que o

tratamento utilizado seja repensado e melhor especificado.

Basicamente, a indústria de produção de equipamentos que supri os vários segmentos da produção de petróleo e gás natural tem como principais fontes de resíduos líquidos, os óleos solúveis (utilizados em centros de usinagem); óleos lubrificantes e anticorrosivos; fluidos hidráulicos (utilizados em testes hidráulicos para verificar possíveis vazamentos); desengraxantes, sabões e detergentes (águas de lavagens de peças e ambientes); e produtos químicos específicos de setores de tratamento de superfícies (galvanoplastia).

Devido à tendência atual das empresas em centralizar sua missão no fornecimento de soluções tecnológicas, maior ênfase vem sendo observada para o fortalecimento da qualificação dos recursos humanos, com a formação de equipes especializadas, para a capacitação à produção de projetos inovadores. Os setores de engenharia estão predominando em relação aos operacionais, ocorrendo progressivamente à terceirização das operações que o mercado apresente qualidade para suprir. Parcerias empresariais vão sendo formadas, exibindo a tendência de manter internamente as operações consideradas estratégicas, assim como aquelas, as quais, o mercado ainda é incapaz de atender adequadamente.

Nesse contexto, operações de caldeirarias e usinagem são terceirizadas diminuindo internamente a geração do resíduo característico da utilização do óleo solúvel, com a ocorrência paralela da substituição das tradicionais composições de óleo solúvel mineral, pelas novas gerações de óleos solúveis sintéticos que exibem maior durabilidade até a necessidade de troca e descarte.

Da mesma forma, anos atrás, o mesmo óleo solúvel mineral empregado nas operações de usinagem, também era utilizado com a função de fluido hidráulico para a realização dos testes hidráulicos (para a verificação de vazamentos). Atualmente, por influência da globalização do mercado, estão sendo utilizadas formulações de fluidos hidráulicos à base de etilenoglicol, especificamente produzido para a realização desses testes e para a preservação dos equipamentos durante o processamento.

A literatura técnica referente aos fluidos hidráulicos utilizados nas operações *offshore*, geralmente, indicam que tais produtos podem ser descartados, em pequenas quantidades no mar, pois segundo alguns técnicos não apresentam

problemas devido a grande capacidade do mar nesse processo de absorção. Entretanto, ainda, com base na literatura técnica destes produtos verifica-se que além do etilenoglicol possuem na formulação soluções aquosas de dispersantes, inibidores de corrosão, biocidas, etc., conseqüentemente, são produtos tóxicos e poluentes não podendo ser lançados em pequenos rios, lagoas conforme indicam grande parte dos manuais técnicos de produtos químicos.

A maioria destes produtos é comumente utilizado nas operações petrolíferas *offshore* sem problemas de descarte nas plataformas, uma vez que o ambiente marinho apresenta excelente capacidade de suporte aos volumes proporcionalmente mínimos descartados durante as operações no mar. Realidade que não pode ser estendida às operações fabris, tendo em vista que esses fluidos aplicados em operações rotineiras internas potencializam negativamente a composição dos resíduos líquidos gerados, num ambiente desfavorável, uma vez que não possui a capacidade de suporte existente no mar.

A terceirização também atingiu os setores de tratamento de superfícies nas indústrias de equipamentos petrolíferos, sendo comum à manutenção apenas dos processos de fosfatização (processo de conversão da superfície do aço em uma película protetora) em apoio às operações de pintura industrial. Pelo menos, até que o programa de terceirização possa equacionar também essa atividade, ainda pouco desenvolvida tecnicamente pelo mercado. Essas indústrias mecânicas precisam tomar conhecimento dos constituintes químicos do processo de fosfatização visando o descarte de tais produtos no meio ambiente.

Assim, embora a tendência aponte para uma diminuição nas vazões dos efluentes gerados, pela ocorrência das terceirizações e pela utilização de produtos com maior durabilidade, os efluentes líquidos continuam a ser gerados com a agravante de que os fluidos hidráulicos utilizados atualmente contribuirão negativamente para elevar extremamente a DQO<sup>2</sup> (demanda química de oxigênio) e tornar a coloração final dos efluentes esverdeada. Devido principalmente a esse fato, o tratamento dos resíduos líquidos gerados por esse ramo industrial apresenta alta dificuldade para o atendimento aos padrões legais de descarte no corpo receptor (rio).

---

<sup>2</sup>**DQO** – é um teste indireto de medida que visa determinar a quantidade de oxigênio dissolvido (mg de O<sub>2</sub>/L) consumido em meio ácido para degradar a matéria orgânica presente no efluente industrial, seja biodegradável ou não. O método normalmente utilizado é a oxidação com dicromato de potássio.

Adequar o tratamento para a obtenção de resultado final que atenda aos padrões de descarte da legislação ambiental é o requisito básico que abre caminho para o desenvolvimento de processos alternativos aos comumente utilizados nas estações de tratamento de efluentes.

Tradicionalmente, as empresas mecânicas e metalúrgicas utilizam a tecnologia de tratamento físico-químico por adição de produtos químicos, que pelo ajuste no valor do pH do efluente (alcalinização) e a ação de compostos floculantes promovem a coagulação dos contaminantes presentes no efluente, conseguindo assim separar e elimina-los por decantação ou flotação.

Este tratamento tradicional, entretanto, tem demonstrado baixa eficiência para a redução dos valores de DQO, DBO<sup>3</sup>, MBAS (*Methilene Blue Active Substances*)<sup>4</sup> (detergentes) e não corrigem a coloração esverdeada característica dos fluidos hidráulicos já mencionados.

Utilizar a tecnologia de tratamento biológico, por aeração prolongada, como complemento ao processo físico-químico tradicional é uma possibilidade para a solução dessa demanda, porém esta tecnologia, numa primeira análise acrescentaria uma segunda etapa ao processo, necessitando a disponibilização de uma área aproximadamente igual à área destinada ao tratamento físico-químico, com a aquisição de outros equipamentos próprios ao processo biológico, aumentando, significativamente o custo do tratamento e a necessidade de treinamento e capacitação da mão-de-obra existente a esse tipo de tecnologia.

O tratamento biológico torna obrigatório a aclimação de lodos ativados ao etilenoglicol, com um acompanhamento contínuo visto que é reconhecidamente um processo mais sensível. Além disso, é necessário o funcionamento do sistema de tratamento diariamente (24 horas), para a manutenção dos microorganismos, sendo

---

<sup>3</sup> **DBO** – Demanda Bioquímica de Oxigênio – é definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbicas. Visa avaliar a quantidade de oxigênio dissolvido (mg de O<sub>2</sub>/L), que será consumida pelos microorganismos ao degradar a matéria orgânica presente no efluente.

<sup>4</sup> **MBAS** (*Methilene Blue Active Substances*) – é um método analítico químico que determina quantitativamente as substâncias ativas ao azul de metileno. Os detergentes aniônicos reagem com o azul de metileno para formar um complexo azul que é extraído dentro de um solvente orgânico não miscível. A intensidade da cor azul revelada tem relação direta com a concentração de “substâncias ativas ao azul de metileno (MBAS)” na amostra do efluente. Os padrões de análise são feitos com o sulfonato de alquil benzeno linear. Como referência de cálculo os esgotos sanitários possuem cerca de 3 a 6 mg/L de detergentes enquanto os efluentes das indústrias de detergentes e similares a faixa varia de 200 a 3000 mg/L do princípio ativo.

provavelmente utilizada a adição de nutrientes, pois apesar do resíduo líquido gerado apresentar dificuldade para redução da presença de alguns poluentes, estamos tratando efluentes de baixa vazão, não possuindo capacidade para nutrir os microorganismos continuamente.

A tecnologia de tratamento físico-químico pelo processo eletroquímico é uma alternativa teoricamente adequada, pois a literatura especializada indica sua efetividade na oxidação de corantes e na correção da coloração de efluentes; uma ótima performance na adequação da presença de óleos e graxas; MBAS, e uma eficiência superior ao processo físico-químico tradicional para o parâmetro DQO.

Esta alternativa, de origem físico-química, possibilitaria sua implantação com a efetivação de pequenas modificações numa estação de tratamento físico-químico tradicional, sem demandar área significativa, aproveitando os mesmos equipamentos existentes, para trabalhar continuamente ou em bateladas, sem a necessidade de investimentos elevados.

Este estudo está focado na investigação científica e tecnológica sobre o tratamento físico-químico eletrolítico, por revisão bibliográfica, comparando os pontos favoráveis e desfavoráveis com as demais tecnologias; obtendo exemplos práticos de iniciativas efetivamente realizadas, procurando principalmente obter informações que evidenciem a eficiência do processo com relação à redução dos parâmetros identificados como relevantes às indústrias fabricantes de equipamentos para produção de petróleo, tais como: óleos e graxas, DQO, MBAS, teor de íons zinco ( $Zn^{2+}$ ) e coloração.

Também foram realizados ensaios em laboratório para verificar o funcionamento do processo e avaliar os resultados obtidos a partir de efluentes próprios desse setor industrial, assim como o acompanhamento do processamento de um sistema em funcionamento atualmente numa estação de tratamento de efluentes líquidos industriais.

## 2.2 OBJETIVOS

Com base nos problemas anteriormente citados referentes aos tratamentos de efluentes, o presente trabalho concerne à proposição dos seguintes objetivos:

- pesquisar e avaliar os produtos químicos e/ou aditivos utilizados numa indústria mecânica de equipamentos para a produção de petróleo;
- verificar o comportamento do processo eletrolítico por intermédio de ensaios em escala de laboratório e em instalação industrial, reunindo informações fundamentais visando os seguintes parâmetros: potencial de tratabilidade, dinâmica operacional e consumo de energia;
- pesquisar e avaliar a tecnologia de tratamento de efluentes pelo processo eletrolítico, de forma a auxiliar as indústrias mecânicas fabricantes de equipamentos para produção de petróleo no estudo sobre as alternativas de tratamento de efluentes existentes, possibilitando a tomada de decisão quanto à forma mais adequada para o gerenciamento dos resíduos líquidos em atendimento a legislação ambiental.

## 2.3 JUSTIFICATIVAS

As justificativas deste trabalho estão baseadas nos seguintes pontos:

- a importância de avaliar a adequação de um sistema de gestão ambiental de resíduos líquidos em função das atividades de produção de equipamentos para utilização na produção de petróleo e gás;
- a necessidade de desenvolver e/ou adequar um processo de tratamento de produtos químicos específicos utilizados na fabricação, conservação e testes de equipamentos mecânicos de grande porte;

- a relevância de discutir as vantagens e desvantagens dos processos de tratamentos de efluentes específicos de indústria mecânica alinhada à produção de petróleo;
- ressaltar a importância dos equipamentos na produção de petróleo em águas profundas em conformidade com a legislação ambiental referente ao descarte de efluentes líquidos.

## 2.4 HIPÓTESE

A Tecnologia de Tratamento de Efluentes Industriais pelo Processo Eletrolítico pode ser utilizada como uma alternativa adequada às necessidades das indústrias de equipamentos para produção de petróleo, no que tange ao atendimento aos padrões de descarte da legislação ambiental vigente.

## 2.5 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Este estudo, devido à complexidade do tema, apresenta cinco capítulos. No capítulo 1 foi apresentada a introdução, enquanto, o problema abordado, os objetivos da pesquisa, as justificativas para a escolha deste tema e a hipótese de trabalho estão apresentados no capítulo 2. No capítulo 3, será apresentado o referencial teórico deste estudo, o qual está dividido em quatro partes: uma abordagem sobre gestão ambiental, legislações ambientais, estudo da tratabilidade e sobre os fundamentos do tratamento de resíduos líquidos por processo eletrolítico. No capítulo 4, serão apresentados os experimentos de laboratório realizados neste estudo e avaliações de quatro unidades de tratamento eletrolítico, bem como, os resultados e considerações sobre o processo. As conclusões e as sugestões para trabalhos

futuros serão apresentadas no capítulo 5. O texto será concluído com as referências bibliográficas consultadas.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL

Um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) oferece ordem e consistência para os esforços organizacionais no atendimento às preocupações ambientais através de alocação de recursos, definição de responsabilidades, avaliações das práticas correntes, procedimentos e processos.

Uma organização que deseja implementar um SGA deve fazer, antes de tudo, uma avaliação crítica do estágio ambiental em que se encontra. É nesse momento que a organização se pergunta quais são os aspectos ambientais provocados por suas atividades, produtos e serviços e como isto afeta sua existência e competitividade. Esta avaliação não deve considerar somente sua capacidade de poluir o meio ambiente, por meio de suas atividades operacionais ou pelo descarte de seus resíduos, mas também os efeitos provocados pelo uso das matérias-primas e energia, assim como os impactos oriundos de seus aspectos na região do seu entorno e no meio ambiente regional e global.

Recomenda-se que o objetivo seja o de considerar todos os aspectos ambientais da organização como uma base para o estabelecimento de um SGA.

O SGA tem por objetivo promover a melhoria contínua do desempenho ambiental das empresas, a avaliação periódica, sistemática e objetiva dos resultados obtidos e a disponibilização de informação ao público. Trata-se, portanto de atuar de uma forma mais organizada, mais pró-ativa e mais transparente, obtendo benefícios a nível econômico (redução dos consumos, dos custos relacionados com a poluição, dos riscos de responsabilidade ambiental, entre outros), ao nível da imagem da empresa (com conseqüentes benefícios econômicos e de relacionamento com os consumidores e clientes, autoridades, etc.) e, evidentemente, a nível ambiental.

“A gestão ambiental nas empresas pode ser definida como aquela parte da função

gerencial global que trata, determina e implementa a política de meio ambiente estabelecida para a própria empresa.” (LA ROVERE, 2002.)

Uma série de razões tem estimulado as organizações em todo o mundo a adotarem o SGA de acordo com a norma ISO 14001:2004. O objetivo geral da ISO 14.000 é fornecer assistência na implantação ou no aprimoramento de um Sistema de Gestão Ambiental. Ela é consistente com a meta de “Desenvolvimento Sustentável” e é compatível com diferentes estruturas culturais, sociais e organizacionais.

Ela também fornece auxílio no processo de efetivamente iniciar, aprimorar e sustentar o Sistema de Gestão Ambiental. Tais sistemas são essenciais para a habilidade de uma organização em antecipar e atender às crescentes expectativas de desempenho ambiental e para assegurar, de forma corrente, a conformidade com os requerimentos nacionais e/ou internacionais.

A ISO 14000 (ASSOCIAÇÃO..., 2004) é uma série de normas internacionais de caráter voluntário sobre gestão ambiental. Desenvolvidas pelo TC 207, da ISO, o conjunto de normas da ISO 14000 fornece uma estrutura para as organizações gerenciarem os impactos ambientais oriundos das suas atividades, produtos e serviços, indiferente do seu porte ou ramo de atividade.

Estas normas abrangem uma série de ferramentas de gestão ambiental e foram divididas nos seguintes grupos:

- Sistema de Gestão Ambiental (SGA);
- Auditoria Ambiental;
- Rotulagem e Declarações Ambientais;
- Avaliação de Desempenho Ambiental;
- Análise de Ciclo de Vida de Produtos;
- Termos e definições e aspectos ambientais em normas de produtos;
- Aspectos Ambientais em Projetos de Produtos;
- Comunicação Ambiental;
- Mudanças climáticas.

O SGA é uma ferramenta que possibilita as organizações, de qualquer tamanho ou ramo de atividade, a controlarem os impactos ambientais oriundos de suas

atividades, produtos e serviços de forma sistêmica, demonstrando seu comprometimento com a proteção ambiental e a prevenção da poluição. O Sistema de Gestão Ambiental de acordo com a ISO 14001:2004 é uma ferramenta para as organizações demonstrarem a compatibilidade das interações de suas atividades, produtos e serviços com o meio ambiente, obtendo continuamente a melhoria do desempenho ambiental. A norma ISO 14001:2004 “Sistema de Gestão Ambiental – Requisitos e diretrizes para uso” é a norma dentro da série ISO 14000 que especifica os requisitos de um sistema de gestão ambiental, sendo assim, é passível de certificação por um organismo de terceira parte.

Decorridos oito anos da versão inicial da ISO 14001, edição 1996, a ISO (*International Organization for Standardization*) publicou no dia 15 de novembro de 2004 a sua primeira revisão. Uma das principais razões para a revisão da ISO 14001:2004 foi o de alcançar um número e variedade cada vez maior de usuários em todo o mundo, incluindo as pequenas e médias empresas, além das grandes corporações, principais usuários da ISO 14001 atualmente. Esta revisão foi o resultado de anos de trabalho dos membros do TC 207 da ISO, responsável pela elaboração e revisão da família de normas da série ISO 14000, em especial o SC 1, sub-comitê responsável pelas normas de Sistema de Gestão Ambiental, ISO 14001 e ISO 14004.

Comparando-se com a primeira edição, as principais mudanças e os benefícios da nova norma ISO 14001:2004 são:

- Melhor compatibilidade com a ISO 9001:2000;
- Questões de clarificação de texto dos requisitos;
- Não adição de novos requisitos.

Adicionalmente, a revisão da ISO 14001:2004 trouxe melhorias com relação à necessidade da definição do escopo de implementação do SGA, novos textos explicativos no anexo da norma visando prevenir uma interpretação errônea dos requisitos contidos na cláusula 4, revisão de termos e definições, entre outras alterações visando torná-la um instrumento mais fácil para a implementação e para fins práticos de auditoria.

Apesar de abordagens diferentes, as normas técnicas de sistemas de gestão ambiental compartilham dos mesmos princípios dos sistemas de gestão da qualidade, o que facilita a introdução de um Sistema de Gestão

Ambiental, quando já existe um sistema da qualidade implantado. As normas de Sistemas de Gestão das Séries ISO 9000 e 14000 têm estrutura bastante similares, inclusive a norma ISO 14001 apresenta anexo indicando semelhanças e diferenças entre os requisitos dos itens correspondentes nas normas ISO 9001 e 14001. (LA ROVERE, 2002.)

A seguir, estão indicados no Quadro 1, os itens que compõem a norma ISO 14001 e as principais mudanças implementadas na revisão de 2004:

<b>Principais mudanças quanto aos requisitos da ISO 14001:2004:</b>	
<b>ISO 14001:1996</b>	<b>ISO 14001:2004</b>
Sumário	Sumário
Prefácio	Prefácio
Introdução	Introdução
1- Objetivo e campo de aplicação	1- Objetivo e campo de aplicação
2- Referências normativas	2 Referências normativas
3- Definições	3 Termos e definições
4 Requisitos do sistema de gestão ambiental	4 Requisitos do sistema de gestão ambiental
4.1 REQUISITOS GERAIS	4.1 REQUISITOS GERAIS
4.2 POLÍTICA AMBIENTAL	4.2 POLÍTICA AMBIENTAL
4.3 PLANEJAMENTO	4.3 PLANEJAMENTO
4.3.1 Aspectos Ambientais	4.3.1 Aspectos ambientais
4.3.2 Requisitos legais e outros	4.3.2 Requisitos legais e outros
4.3.3 Objetivos e metas	4.3.3 Objetivos, metas e programa(s)
4.3.4 Programa(s) de gestão ambiental	4.4 Implementação e operação
4.4 IMPLEMENTAÇÃO E OPERAÇÃO	4.4.1 Recursos, funções, responsabilidades e autoridades.
4.4.1 Estrutura e responsabilidade	4.4.2 Competência, treinamento e conscientização.
4.4.2 Treinamento, conscientização e competência.	4.4.3 Comunicação
4.4.3 Comunicação	4.4.4 Documentação
4.4.4 Documentação do SGA	4.4.5 Controle de documentos

<b>Principais mudanças quanto aos requisitos da ISO 14001:2004:</b>	
ISO 14001:1996	ISO 14001:2004
4.4.5 Controle de documentos	4.4.6 Controle operacional
4.4.6 Controle operacional	4.4.7 Preparação e resposta a emergências
4.4.7 Preparação e atendimento a emergências	4.5 Verificação
4.5 VERIFICAÇÃO E AÇÃO CORRETIVA	4.5.1 Monitoramento e medição
4.5.1 Monitoramento e medição	4.5.2 Avaliação do atendimento aos requisitos legais e outros
4.5.2 Não-conformidade e ações corretivas e preventivas	4.5.3 Não-conformidade, ação corretiva e ação preventiva.
4.5.3 Registros	4.5.4 Controle de Registros
4.5.4 Auditoria do SGA	4.5.5 Auditoria interna
4.6 ANÁLISE CRÍTICA PELA ADMINISTRAÇÃO	4.6 ANÁLISE PELA ADMINISTRAÇÃO
Anexo A: Diretrizes para uso da especificação	Anexo A - Orientação para uso desta norma
Anexo B: Correspondência entre a ISO 14001 e a ISO 9001	Anexo B - Correspondências entre a ISO 14001:2004 e a ISO 9001:2000
Anexo C: Bibliografia	Anexo C: Bibliografia

**Quadro 1** - Principais mudanças implementadas na revisão de 2004

Fonte: [http://www.isovirtual.com.br/iso14001\\_mudancas.asp.html](http://www.isovirtual.com.br/iso14001_mudancas.asp.html)

Estando a empresa no desenvolvimento de um sistema de gestão ambiental com o propósito de obter a certificação ou não, desde o início da implantação do processo produtivo, o item mais importante a ser atingido e que trás um alto nível de dificuldade na implantação e manutenção do sistema de gestão ambiental é o cumprimento dos requisitos legais. Estar continuamente atualizado e preparado para atender à Legislação Ambiental é uma tarefa complexa que geralmente só pode ser cumprida com o auxílio de uma parceria com alguma empresa especializada no acompanhamento e prestação do serviço de consultoria técnica a respeito da dinâmica dos diplomas legais existentes.

Para as indústrias um dos pontos cruciais no cumprimento da legislação é o gerenciamento e a correta disposição final dos resíduos industriais gerados.

O tema tratamento de resíduos líquidos industriais compõe o programa de gestão ambiental, sendo elemento chave para a prevenção da contaminação dos mananciais pela atividade industrial, fator visado prioritariamente pelos órgãos ambientais na proteção do meio ambiente.

Neste trabalho, os despejos industriais são abordados como uma das origens principais da contaminação dos cursos d'água, sendo então relacionados e comentados alguns diplomas legais que regulamentam sua disposição no Estado do Rio de Janeiro.

### 3.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

A Legislação Ambiental é a base principal para a racionalização do uso dos recursos hídricos, contribuindo diretamente para a obtenção do desenvolvimento sustentável.

A cada dia podemos observar o crescimento verdadeiro da consciência da importância da preservação do meio ambiente para o bem estar geral, principalmente para as próximas gerações, mas foi com a regulamentação da Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, pelo Decreto 3.179/99, Lei de Crimes Ambientais, que efetivamente as empresas passaram a repensar suas ações e disponibilizar recursos para o gerenciamento ambiental. Esta Lei dispõe sobre as sanções gerais e administrativas derivadas do condutor de atividades lesivas ao meio ambiente. Define penas e responsabilidades para diversas categorias de crimes ambientais, incluindo a responsabilidade de pessoas (que podem ser também autoridades do governo) que, sabendo da conduta criminosa de outrem, deixar de impedir a sua prática, quando podia agir para evitá-la.

Nesta Lei vale destacar o artigo 54, quando diz, textualmente:

Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortalidade de animais ou a destruição significativa da flora:

Pena – Reclusão de um a quatro anos, e multa.

§ 1 – Se o crime é culposo:

Pena – detenção, de seis meses a um ano, e multa.

§ 2 – Se o crime:

I – Torna uma área, urbana ou rural, imprópria para a ocupação humana;

II – Causar poluição atmosférica que provoque a retirada, ainda que momentânea, dos habitantes das áreas afetadas, ou que cause danos à saúde da população;

III – Causar poluição hídrica que torne necessário a interdição do abastecimento público de águas de uma comunidade;

IV – Dificultar ou impedir o uso público das praias;

V – Ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos, ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos:

Pena – Reclusão, de um a cinco anos.

§ 3 – Incorre nas mesmas penas previstas no parágrafo anterior quem deixa de adotar, quando assim o exigir a autoridade competente, medidas de precaução em caso de risco de dano ambiental grave ou irreversível.

O gerenciamento dos resíduos industriais é uma das partes mais importantes num sistema de gestão ambiental. O controle da geração e da destinação dos resíduos líquidos industriais é apenas um dos componentes desse sistema, porém como a água é sem dúvida o composto fundamental a vida, o potencial impacto gerado pelos efluentes líquidos sugere a grande necessidade de uma avaliação crítica quanto a esse aspecto do tipo de poluição.

Observa-se que existe uma consistente legislação regulando o uso dos recursos hídricos e em especial para contribuir com o controle da disposição dos efluentes líquidos industriais.

A base de todo controle está no conhecimento do tipo e da carga de resíduo que está sendo gerado pela indústria. A princípio toda empresa que tenha alguma atividade de potencial geração de poluição deverá submeter-se ao processo de licenciamento ambiental para regularizar sua localização, instalação e operação.

Segundo Crespilho & Rezende (2004), a Gestão de Recursos Hídricos implica na implementação de um conjunto de medidas estruturais, com tecnologias adequadas para o controle e tratamento dos efluentes, e de medidas não estruturais, como a promoção de mecanismos institucionais legais e adequados que visem reduzir custos e passivos ambientais.

No Rio de Janeiro, o licenciamento atualmente está sendo realizado pelo IBAMA e pela FEEMA, dependendo da área de localização e de influência. É no licenciamento ambiental que o órgão competente consegue conhecer detalhadamente a empresa, suas atividades e o seu potencial poluidor.

O Decreto estadual nº 1.633 (21/12/1977), instituiu o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras (RJ) – SLAP e no Estado do Rio de Janeiro, a FEEMA recebe a solicitação do licenciamento (ou renovação) com todos os dados sobre a empresa e suas atividades; analisa cada empresa detalhadamente e define quais os controles devem ser efetivados no gerenciamento dos seus efluentes líquidos; quais os parâmetros para análise e a frequência de amostragem.

Toda empresa desse perfil, ao obter a sua licença de operação é enquadrada no programa PROCON-ÁGUA, conforme a diretriz DZ-942 R.7 de 01/08/1990. Por este programa a empresa é obrigada a enviar para a FEEMA, mensalmente, o resultado das análises realizadas, sendo que, para cada parâmetro que por ventura o resultado obtido não esteja em conformidade com os padrões pré-estabelecidos (ex. norma técnica NT-202 R.10); deve-se comunicar no relatório apropriado – RAE, o motivo do desvio e quais medidas estão sendo tomadas para evitar novas ocorrências.

São cinco os principais diplomas legais aplicáveis ao descarte de efluentes líquidos industriais no Estado do Rio de Janeiro:

1º) Resolução Federal CONAMA nº 357, de 17/03/2005. (Revoga a Resolução CONAMA 20) - Classificação dos corpos de água (águas doces, salobras e salinas) e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Esta Resolução define treze classes de qualidade, de acordo com os usos preponderantes, indicando os limites de controle para cada nível;

2º) Norma Técnica NT-202 R.10, de 12/12/1986. - Critérios e Padrões para lançamento de Efluentes Líquidos Parte integrante do sistema de licenciamento de atividades poluidoras – SLAP;

3º) Diretriz DZ-942 R.7, de 01/08/1990. Diretriz do programa de autocontrole de efluentes líquidos – Procon água;

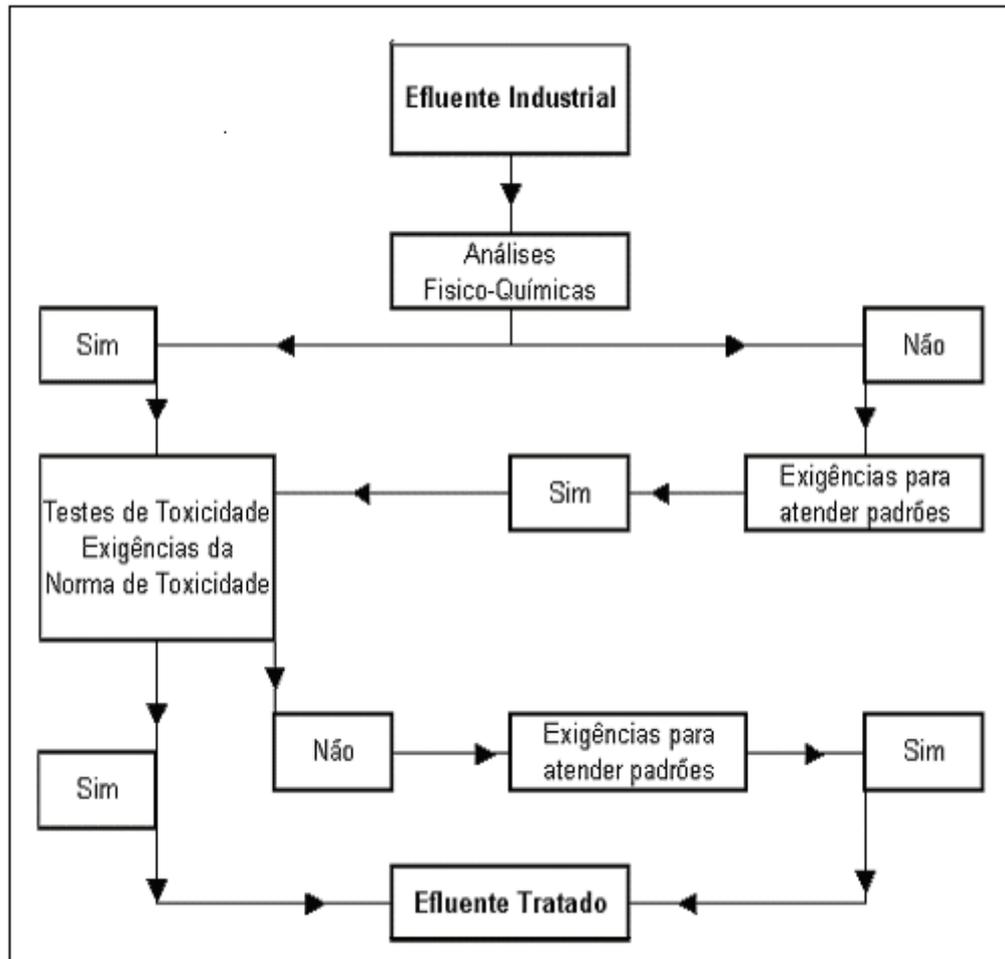
4º) Norma Técnica NT-213 R.04, de 18/12/1990. - Critérios e Padrões para Controle da Toxicidade em Efluentes Líquidos Industriais;

5º) Diretriz DZ-205 R.5, de 07/08/1991 - Diretriz de Controle de Carga Orgânica em Efluentes Líquidos de origem Industrial.

Os efluentes líquidos gerados nas indústrias podem ser subdivididos em duas categorias básicas: Efluentes de Processos Industriais e Efluentes Industriais Sanitários.

O fluxo de controle, dos efluentes dos processos industriais, indicado a seguir, dá uma clara noção de como deve ser a seqüência de ações empregadas na avaliação da qualidade (conformidade) do efluente para descarte adequado (fig 1):

- Realização de análises físico-químicas para verificar a conformidade com os padrões estabelecidos na norma NT-202 R10;
- Caso atenda ao especificado como padrão, o efluente estará aprovado para descarte por esse critério;
- Não atendendo deverá receber tratamento até que atinja os valores adequados;
- O efluente aprovado pela análise para parâmetros físico-químicos será então submetido a testes de toxicidade para comprovar sua conformidade a norma NT-213 R4 ;
- Caso atenda a norma o efluente estará aprovado para descarte por esse critério;
- Não atendendo deverá receber tratamento até que atinja os valores adequados;



**Figura 1** – Esquema de avaliação de um efluente industrial  
 Fonte: WAJNSZTAJN & CAVALLIERI, 2004.

Os critérios estabelecidos na norma NT-202 R10, apresentada a seguir, no Quadro 2, é a referência principal para regular o descarte dos efluentes líquidos industriais de origem físico-química. Esta norma, porém, não dá nenhuma indicação sobre padrões de DQO e DBO que relacionam as cargas de origem orgânica. Para esse tipo de efluente a Diretriz DZ-205 R5 define como proceder para atender às limitações do descarte da carga orgânica biodegradável e da carga orgânica não biodegradável contida no efluente, assim como, dos compostos orgânicos de origem industrial que interfiram nos mecanismos ecológicos dos corpos d'água e na operação de sistemas biológicos de tratamento.

NT-202 R.10 – Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos	
Parâmetros	Padrões limite
pH	5,0 –9,0
Temperatura	Inferior a 40 C
Materiais Sedimentáveis	1,0 ml/L
Materiais Flutuantes	Virtualmente ausente
Óleos e Graxas Minerais	20 mg/L
Óleos e Graxas Vegetais	30 mg/L
Alumínio Total	3,0 mg/L
Arsênio Total	0,1 mg/L
Bário Total	5,0 mg/L
Boro Total	5,0 mg/L
Cádmio Total	0,1 mg/L
Chumbo Total	0,5 mg/L
Cobalto Total	1,0 mg/L
Cobre Total	0,5 mg/L
Cromo Total	0,5 mg/L
Estanho Total	4,0 mg/L
Ferro Solúvel	15,0 mg/L
Manganês Solúvel	1,0 mg/L
Mercúrio Total	0,01 mg/L
Níquel Total	1,0 mg/L
Prata Total	0,1 mg/L
Selênio Total	0,05 mg/L
Vanádio Total	4,0 mg/L
Zinco Total	1,0 mg/L
Amônia	5,0 mg/L
Cloro Ativo	5,0 mg/L
Cianetos	0,2 mg/L
Índice de Fenóis	0,2 mg/L
Fluoretos	10,0 mg/L

continuação

NT-202 R.10 – Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos

Sulfetos	1,0 mg/L
Sulfitos	1,0 mg/L
Fósforo Total	1,0 mg/L
Nitrogênio Total	10,0 mg/L
Pesticidas organofosforados e Carbamatos	0,1 mg/L (p/composto)
Pesticidas organofosforados e Carbamatos (somatório - pesticidas)	1,0 mg/L
Hidrocarbonetos alifáticos halogenados voláteis	0,1 mg/L (p/composto)
Hidrocarbonetos alifáticos halogenados Voláteis Totais	1,0 mg/L
Hidrocarbonetos halogenados não listados acima tais como: pesticidas e ftalo-ésteres	0,05 mg/L (p/composto)
Hidrocarbonetos halogenados totais, excluindo os alifáticos voláteis.	0,5 mg/L
Sulfeto de Carbono	1,0 mg/L
Substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno (MBAS)	2,0 mg/L

**Quadro 2** - Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos

Fonte: Norma técnica NT – 202 R.10 / FEEMA.

A Diretriz do Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos – Procon Água – DZ942 R.7 – Estabelece detalhes de como as empresas devem promover o controle de seus lançamentos; frequência do monitoramento e modelo do relatório que deve ser enviado mensalmente a FEEMA.

A Norma Técnica NT-213 R.4 – Critérios e Padrões para Controle da Toxicidade em Efluentes Líquidos Industriais. Emprega testes de toxicidade com organismos aquáticos vivos, para proteger os corpos d'água da ocorrência de toxicidade aguda ou crônica, de acordo com a NT-202 e DZ-209 (Diretriz de Controle de Efluentes Líquidos Industriais) como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP.

A Diretriz de Controle de Carga Orgânica em Efluentes Líquidos de Origem Industrial - DZ 205 R.5 - Estabelece como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras - SLAP, exigências de controle de poluição das águas que resultem na redução da Matéria Orgânica Biodegradável de Origem Industrial e da Matéria Orgânica Não Biodegradável de Origem Industrial; e Compostos Orgânicos

de Origem Industrial que interferem nos mecanismos ecológicos dos corpos d'água e na operação de sistemas biológicos de tratamento implantados pelas indústrias, pela CEDAE e pelos Serviços Autônomos de Esgoto dos Municípios.

Os efluentes industriais sanitários são semelhantes aos efluentes sanitários de origem domiciliar (DZ 215 R-1, de 18/05/1994). Devido a grande quantidade gerada diariamente os efluentes sanitários causam um impacto altamente negativo a qualidade dos corpos hídricos, de tal forma, que ficou evidenciado seu predomínio sobre a poluição produzida pelos efluentes de processos industriais. Nesse sentido, observamos no programa de despoluição da Baía de Guanabara a necessidade de grandes investimentos para a correção da carência que o Estado possui para o tratamento desse tipo de poluição, na tentativa de promover um melhor atendimento à população.

### 3.3 ESTUDO DE TRATABILIDADE

Para a obtenção da definição técnica sobre qual das tecnologias de tratamento existentes, aquela que mais apresente capacidade para mitigar o conteúdo de constituintes considerados poluentes, em determinadas águas residuárias industriais, é necessário realizar um estudo que identifique as características básicas fundamentais para a realização do tratamento. Com essas informações sobre a vazão e a natureza química e biológica dos resíduos líquidos de interesse, pode ser feita uma avaliação que indique o processo mais adequado ao caso estudado. Depois de definido o processo com maior probabilidade técnica e viabilidade econômica para efetuar o tratamento desejado, realiza-se uma simulação em escala de laboratório para comprovar a capacidade real do sistema indicado, pela evidência objetiva obtida a partir dos resultados analíticos do produto final deste tratamento. O registro da avaliação do conjunto dessa investigação técnica é conhecido como estudo de tratabilidade.

De uma forma geral, os processos disponíveis para utilização no tratamento de resíduos líquidos são: processos físicos, processos físico-químicos e processos biológicos.

### **3.3.1 Processos Físicos**

Os processos físicos estão sempre associados aos tratamentos preliminares e primários, promovem a remoção de sólidos flutuantes (ou não) geralmente de dimensões relativamente grandes, de sólidos em suspensão, areias, óleos e gorduras. Para essa finalidade são utilizados principalmente grades, peneiras, caixas de areia, tanques próprios para a remoção de óleos e graxas, flotadores, decantadores e filtros.

### **3.3.2 Processos Físico-Químicos**

Os processos físico-químicos podem ser subdivididos em dois tipos: os processos físico-químicos tradicionais que atuam pela ação de produtos químicos coagulantes e processos físico-químicos eletrolíticos que utilizam a eletrólise para a promoção da coagulação e floculação.

Os processos físico-químicos tradicionais consistem em transformar em flocos ou compostos insolúveis, as impurezas em estado coloidal, suspensões, sais de metais pesados, etc., pela adição de coagulantes químicos, e posteriormente, removê-los normalmente por decantação ou flotação (Braile et al., 1993).

Na visão de Nunes (2004), o tratamento físico-químico por coagulação-floculação pouco difere dos sistemas tradicionais empregados no tratamento de água bruta para abastecimento público, e sua concepção básica consiste em transformar em

flocos, impurezas em estado coloidal, suspensões, etc. e, posteriormente, removê-los em decantadores. Para se obter a floculação, lança-se mão de coagulantes químicos, como os sais de alumínio e de ferro, que reagem com a alcalinidade contida ou adicionada nas águas residuárias, formando hidróxidos que desestabilizam colóides, partículas em suspensão, etc, pela redução do seu potencial zeta a valores próximos de zero, denominado ponto isoelétrico.

Os processos físico-químicos eletrolíticos, apesar de representarem uma alternativa tecnologicamente concreta, não estão descritos nos livros didáticos comumente utilizados pela comunidade acadêmica. É interessante verificar como as mais tradicionais e importantes publicações sobre tratamento de efluentes sequer mencionam a existência do processo eletrolítico de tratamento (como se não existisse cientificamente), demonstrando como é importante pesquisar sobre esta técnica e disponibilizar informações para a sua compreensão.

Segundo Vilar et al. (2002), provavelmente, a pouca utilização dos processos eletroquímicos é a falta de ensino de eletroquímica nas escolas técnicas e universidades. No entanto, o desenvolvimento da maioria dos processos eletroquímicos comerciais com os fins mencionados indica que estes têm chegado a ser competitivos com outras tecnologias. Em todos os casos se envolve um processo que ocorre dentro de um reator eletroquímico, o qual é uma unidade do processo onde se alimenta uma corrente elétrica para provocar uma mudança química ou uma migração de íons.

### **3.3.3 Processos Biológicos**

Os processos biológicos dividem-se em aeróbios e anaeróbios. Esses processos reproduzem de certa maneira, os mecanismos naturais que ocorrem em um corpo d'água após o lançamento dos despejos. Pelo processo, a matéria orgânica biodegradável presente no resíduo líquido é convertida em produtos mineralizados ou inertes, por mecanismos puramente naturais, o que caracteriza o fenômeno de

autodepuração. Em uma estação de tratamento biológico procura-se reproduzir esse efeito de forma controlada e em taxas mais elevadas. Os principais microrganismos envolvidos no tratamento são as bactérias, os protozoários, os fungos e as algas.

Os processos biológicos são efetivos apenas para o tratamento de constituintes orgânicos presentes nos resíduos líquidos que sejam biodegradáveis. Existem compostos químicos que não podem ser autodepurados e, inclusive, podem desestabilizar o processo promovendo a contaminação dos microrganismos envolvidos no tratamento.

Na definição do sistema de tratamento a ser utilizado para mitigar os efeitos potenciais dos poluentes existentes nos resíduos líquidos em questão, podem ser aplicados até mesmo os três tipos de processos disponíveis, dependendo da característica da contaminação existente e da dificuldade apresentada para o tratamento destes, em atendimento aos padrões definidos pela legislação ambiental.

Como os processos físicos são responsáveis por operações básicas, eles estarão sempre presentes, em certa proporção, dependendo das necessidades específicas do resíduo.

A grande questão é quanto à utilização do processo físico-químico e/ou do processo biológico. Dependendo, principalmente, da biodegradabilidade do resíduo e do percentual de eficiência para a redução da concentração da carga orgânica presente, o processo biológico será utilizado ou não.

Nesse sentido, o conhecimento dos parâmetros DQO, DBO e sólidos totais, será de imensa importância, pois de uma forma geral, caso o teor da DQO seja muito maior do que o teor da DBO ( $DQO \gg 2 \times DBO$ ), caracteriza a existência de uma carga orgânica não biodegradável muito alta, inviabilizando o tratamento biológico.

Segundo Braile & Cavalcante (1993), o raciocínio utilizado na interpretação dos testes de caracterização da carga orgânica contida nos efluentes líquidos, de forma clara e didática, pode ser baseada nos seguintes parâmetros:

#### Sólidos Totais:

O teste dos Sólidos Totais foi concebido para se interpretar quantitativamente a presença total de matéria que não seja água, em um despejo, seja na forma de

substâncias dissolvidas, em forma coloidal ou em suspensão. O teor de sólidos totais é obtido pela pesagem do resíduo da evaporação de uma amostra correspondendo, pois, a sua fase seca (aquecimento contínuo da amostra entre 103 a 105 °C).

O conhecimento do teor de sólidos totais de um despejo é de reduzido interesse para o conhecimento das características do mesmo. Importantíssimos são os desdobramentos dos sólidos totais em sólidos fixos e sólidos voláteis, ou em sólidos em solução e sólidos em suspensão, resultando obrigatoriamente:

$$\text{Sólidos Fixos (SF) + Sólidos Voláteis (SV) = Sólidos Totais (ST)}$$

$$\text{Sólidos Dissolvidos (SD) + Sólidos em Suspensão (SS) = Sólidos Totais (ST)}$$

Os SS e SD podem, cada um deles, ter analisada a sua parte volátil e fixa resultando SDV, SDF, SSF e SSV. A água pura tem ST nulo.

A diferença de SF (teste com aquecimento a 600 °C) em relação aos ST dá os SV. A grande maioria dos sólidos voláteis é material orgânico (biodegradável e não-biodegradável) e a grande maioria dos sólidos fixos é de material mineral.

#### Demanda Química de Oxigênio (DQO)

O teste de DQO consiste em se oxidar toda amostra através do uso de dicromato de potássio, em meio ácido, medindo-se após, o consumo de reagente utilizado. O teste dura cerca de três horas sendo, pois, bem rápido se comparado a DBO que leva dias.

O resultado final do teste expressa a quantidade (em mg) de oxigênio (do dicromato de potássio -  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) que foi utilizada para a oxidação de um litro de despejo e pode ser assim entendida como uma medida de matéria orgânica, expressa em oxigênio (analogamente em DBO).

Não há dúvida de que no teste são oxidadas, conjuntamente, substâncias orgânicas facilmente putrescíveis, orgânicas de difícil decomposição e substâncias minerais (sulfetos, nitritos). Existem técnicas laboratoriais para medir, separadamente, a demanda inicial (esta, em geral, se dá próxima a 5 minutos de reação), devido à reação com substâncias minerais, permitindo-se obter, então, a parcela devida

especificamente à matéria orgânica. A DQO representa, assim, quase que um valor limite da possibilidade de oxidação total do despejo.

Normalmente, o teste de DQO dá cerca de 90% do oxigênio teoricamente necessário segundo as reações estequiométricas da oxidação do composto puro (reação completa).

#### Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Pelo teste de DBO procura-se determinar qual a máxima quantidade de oxigênio dissolvido que uma água residuária em um tempo “t” poderia retirar de um curso d’água, com o oxigênio mantido próximo à saturação, devido a sua degradação biológica. Portanto, é a quantidade de oxigênio elementar consumida por microorganismos durante a degradação da matéria orgânica, contida na amostra. A DBO não depende só da composição e da concentração da matéria orgânica, mas também do número e da atividade dos microorganismos, da temperatura, da turbulência, além de outros fatores.

A fixação da duração do teste em cinco dias se deve, ao fato de que nesse período a maior parte da demanda de oxigênio da matéria orgânica proveniente de hidratos de carbono está satisfeita, DBO<sub>5</sub>.

#### Comparação dos Resultados das Análises:

De posse dos resultados das análises dos efluentes, pode-se passar à interpretação global dos mesmos. É claro que já se deve saber de suas origens e o porquê de suas características.

A matéria orgânica é medida, por tentativas, através dos seguintes testes:

- Sólidos Voláteis (g de matéria volátil por litro de despejo);
- DBO (g de oxigênio dissolvido gasto na oxidação de 1 litro de despejo);
- DQO (g de oxigênio gasto na oxidação de 1 litro de despejo);

Pela sua representatividade, pode-se considerar, a DBO e a DQO, como as chaves de interpretação inicial e de direcionamento na escolha dos tipos possíveis de tratamento:

a) Nos casos em que a DQO é pouco maior que a DBO (  $DQO / DBO < 2$  )

No caso em que os valores da DBO e a DQO estejam próximos, tem-se uma alta possibilidade de que o despejo seja de características tais que permita o seu tratamento em unidades biológicas convencionais (fossas sépticas, filtros biológicos, lodos ativados convencionais, valos e células de aeração, lagoas, etc.). Parte-se, pois, da premissa, confirmada pela baixa relação, de que praticamente toda matéria orgânica seja biodegradável e que sua remoção seja o objetivo do tratamento.

b) Nos casos em que a DQO é sensivelmente maior do que a DBO

( $DQO / DBO \gg 2$ )

A situação mostrada pela análise indica a presença, nos despejos, de grande quantidade de matéria orgânica não atacável biologicamente.

1ª Alternativa:

Se a matéria orgânica não atacável biologicamente não tiver maior importância sanitária e houver interesse de remover a parte biodegradável, então se pode pensar em usar os tratamentos convencionais biológicos. O efluente do tratamento poderá ter ainda uma alta DQO, mas isso não preocupará pelo fato de que essa matéria não biodegradável não causará dano ao corpo d'água (nesse caso como exemplo).

2ª Alternativa:

Se a matéria orgânica não biodegradável de um despejo for um dos óbices a sua disposição, pouca coisa poderá ser feita com tratamentos biológicos. Ter-se-á que partir para tratamentos físicos e químicos específicos.

1ª hipótese – Grande porcentagem de SSV em relação à SV

Partindo-se dos sólidos voláteis, pode-se estimar a matéria orgânica.

Ao fazer o teste de matéria volátil nos sólidos em suspensão (SSV) e esta participar em grande porcentagem em relação aos sólidos voláteis totais (SV), é válido admitir

que as substâncias causadoras da DQO estejam em suspensão, sendo possível sua remoção, por exemplo, por decantação.

2ª hipótese – Grande porcentagem de sólidos dissolvidos voláteis em relação aos sólidos voláteis totais

No caso da matéria orgânica não biodegradável estar em forma solúvel, a relação SDV/SV deve ser alta. Para esse tipo de despejo, os tratamentos são talvez os mais variados e os mais sofisticados, como por exemplo: filtração em leito de carvão ativado, oxidação química, processo eletrolítico, etc.

O resumo das interpretações das análises é apresentado, a seguir, no Quadro 3.

Resumo das interpretações das análises		
Alternativas		Tratamentos Possíveis
DQO / DBO < 2		Biológico convencional (filtros biológicos, lodos ativados, estabilização por contato, aeração prolongada, lagoas, etc.) DQO / DBO afluente ≈ DQO / DBO efluente
DQO / DBO >> 2	1ª Alternativa A parte não biodegradável não é importante do ponto de vista da poluição	Recomendado tratamento biológico convencional DQO / DBO afluente < DQO / DBO efluente do tratamento
	2ª Alternativa A parte não biodegradável é também causadora de poluição	
	1ª hipótese SSV / SV > 0,8	Poluentes em suspensão Decantação simples, flotação. Decantação com alteração de pH. Decantação com auxílio de floculantes (precipitação química), flotação, etc.
	2ª hipótese SDV / SV > 0,8	Poluentes em forma solúvel Adsorção em leitos de carvão ativado. Oxidação química. Processo eletrolítico. Combustão, etc.

**Quadro 3** - Resumo das Interpretações de análises  
Fonte: BRAILE & CAVALCANTE, 1993

## 3.4 TRATAMENTO DE RESÍDUOS LÍQUIDOS PELO PROCESSO ELETROLÍTICO

### 3.4.1 Tratamento Físico-Químico Tradicional

Em sua concepção básica o tratamento Físico-Químico Tradicional é utilizado para mitigar o potencial impacto ambiental dos resíduos líquidos industriais, pela promoção de reações de coagulação-floculação, que transformam impurezas em flocos “sólidos”, formando genericamente duas fases distintas: efluente líquido tratado e resíduo sólido (lama de tratamento), separados normalmente por sedimentação, flotação e/ou filtração.

As reações que provocam a precipitação química ocorrem no processo tradicional por adição de produtos químicos coagulantes (normalmente, sulfato de alumínio ou cloreto férrico), e/ou pela variação no pH do resíduo líquido com a adição de produtos químicos.

Esses métodos podem ser utilizados para remover material coloidal, cor, turbidez, odor, sais de alguns metais pesados, óleos, compostos tóxicos, etc.

### 3.4.2 Processo Eletrolítico

Teoria semelhante ao tratamento físico-químico tradicional é aplicada ao processo eletrolítico. Nesse caso, os sais de alumínio e ferro estão representados pelos eletrodos (alumínio ou ferro), que atuam como fontes desses metais que irão formar hidróxidos insolúveis, promovendo a desestabilização dos colóides existentes no efluente líquido (SCOTT, 1995).

A eletrofloculação é um processo eletroquímico que ocorre através da passagem da

corrente elétrica polarizada entre eletrodos, submersos no meio aquosos, distribuídos paralelamente no interior do reator, desenvolvendo assim várias reações de oxi-redução.

Por dissociação eletrolítica, ocorrem reações de coagulação, floculação, oxidação, flotação e decantação dos contaminantes em suspensão que, dessa forma, são reduzidos com alta eficiência.

Durante a realização do tratamento, no interior do reator, reações anódicas e catódicas provocam a dissociação das moléculas da água, liberando íons e gases (oxigênio e hidrogênio) fundamentais para a dinâmica do processo. As hidroxilas geradas se associam aos íons alumínio e/ou ferro liberados pela oxidação do metal que compõe o eletrodo, formando hidróxidos insolúveis, colóides que potencializam o desenvolvimento da floculação. Essas reações são processadas em pH adequado e os gases nascentes evoluem em direção ao topo movimentando o conteúdo do reator, carreando os poluentes em suspensão e formando uma espessa espuma.

É boa prática a utilização de polieletrólitos, como auxiliares de floculação, para acelerar as reações de coagulação-floculação, apropriadas para o tratamento de resíduos líquidos industriais e sanitários, agilizando o processo de separação entre os resíduos sólidos que vão se formando e o efluente tratado.

Os agentes poluidores como sais de metais pesados dissociados precipitam como hidróxidos insolúveis; compostos orgânicos dissolvidos, por apresentarem constante iônica, também podem sofrer dissociação liberando radicais que formem moléculas insolúveis, separando-se do meio aquoso por adsorção nos demais flocos. Grupos de moléculas orgânicas solúveis por polaridade com a água podem ser oxidados não só pelo oxigênio nascente nos eletrodos como também por adição extra de um oxidante químico externo (ex.: peróxido de hidrogênio), quando for necessário potencializar essa reação.

O processo de eletrofloculação pode alcançar níveis de redução dos contaminantes superior aos tratamentos físico-químicos convencionais, pois emprega os mesmos princípios potencializados, atuando não só na fração em suspensão e dispersa, como também em parte da fração dissolvida, sendo possível classificá-lo como tratamento secundário.

Como indicado por Crespilho & Rezende (2004), observa-se que a eletrofloculação

está renascendo, pois vários trabalhos vêm sendo realizados e publicados nessa área. No final do século XIX, a eletrofloculação já era bem conhecida. Embora pouco explorada, foi considerada uma técnica promissora. Durante o século XX, algumas plantas piloto começaram a ser estudadas, mas logo foram abandonadas em decorrência da complexidade das etapas que envolvem processos hidrodinâmicos acoplados a sistemas eletroquímicos. Atualmente, vários fenômenos relacionados a processos de coagulação via eletroquímica já são bem conhecidos e podem ser aplicados a modelos hidrodinâmicos.

Wolfgang G. Wiendl, no livro *Processos Eletrolíticos no Tratamento de Esgotos Sanitários* (1998), apresenta um histórico muito rico sobre a utilização da tecnologia eletroquímica quando afirma que as primeiras tentativas de utilização da eletricidade na depuração de esgotos sanitários urbanos remontam ao fim do século XIX. Na mesma época também se iniciavam investigações mais criteriosas a respeito dos processos biológicos. Foram bastante discutidos os resultados, as eficiências, as vantagens e desvantagens dos dois métodos de tratamento.

Ainda, segundo Wiendl (1998), alguns autores como Poon e Brueckener (1975), apresentaram um trabalho referente às suas investigações de laboratório utilizando água do mar como coadjuvante do tratamento que se processava somente no recipiente da eletrólise, sem decantadores, percoladores, filtros, etc.

Cirne (2002), descreve na dissertação “Tratamento de águas residuárias e efluentes sanitários sob a abordagem eletroquímica”, várias experiências realizadas com a utilização do processo eletroquímico aplicado ao tratamento de resíduos líquidos. Outros trabalhos com o tratamento de esgoto sanitário em Oslo (Noruega) são apresentados por Föyn (1959).

Pesquisas de Cenkin e Belevtsev (1985), e Barabanov (1994), mostraram experiências de tratamentos eletrolíticos realizados com esgotos e águas residuárias na Rússia e comentados no *Effluent and Water Treatment Journal*. Por outro lado, Oblinger e colaboradores (1984), relatam a experiência da Ford Motor Company na remoção de óleo do efluente da planta da Livonia.

Barkley e colaboradores (1993), reportam o teste de equipamentos de eletrocoagulação em corrente alternada, realizada em Ohio, Estados Unidos, pela Environmental Protection Agency – EPA;

Trabalhos realizados Beajean (1993), descrevem um processo de eletrofloculação e eletroflotação integrado a um sistema de injeção de ar comprimido, ozônio e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) em reatores eletrolíticos, com eletrodos de ferro, alumínio e/ou grafite visando o tratamento de efluentes.

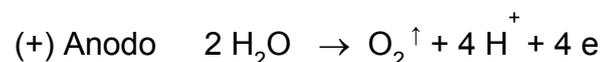
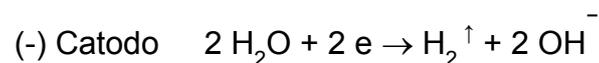
Em 1994, Dietrich (1994), apresentou uma série de testes desenvolvidos com uma estação de eletrofloculação compacta, instalada em duas plataformas de petróleo situadas, respectivamente, no Golfo do México e na costa do Alaska.

Nos últimos anos, muitos outros trabalhos podem ser consultados, desta maneira pode-se constatar que dentro e fora do Brasil a tecnologia eletroquímica aplicada ao processo de tratamento de efluentes líquidos está sendo aprimorada e que seu potencial como alternativa promissora está se confirmando.

#### 3.4.2.1 Eletrofloculação

Gani Jr. (2002), descreve que a eletrofloculação é um fenômeno que se compõe de duas reações eletroquímicas distintas, mas complementares, denominadas “eletroflotação” e “eletrocoagulação”.

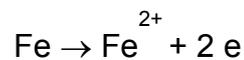
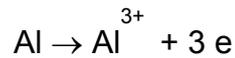
A eletroflotação é um processo eletroquímico que permite gerar micro-bolhas de oxigênio e de hidrogênio. Estas micro-bolhas de dimensões extremamente reduzidas (<0,01 mm), por diferença da sua massa específica em comparação com a massa específica do líquido a tratar, têm a tendência a subir em direção à superfície da célula, levando consigo toda a matéria em suspensão presente, como hidrocarbonetos, colóides, etc., provocando, já nesta fase, uma clarificação do líquido tratado. As reações eletroquímicas que se passam nos eletrodos são:



O oxigênio gerado em uma parte do eletrodo resulta ser muito reativo e eficaz,

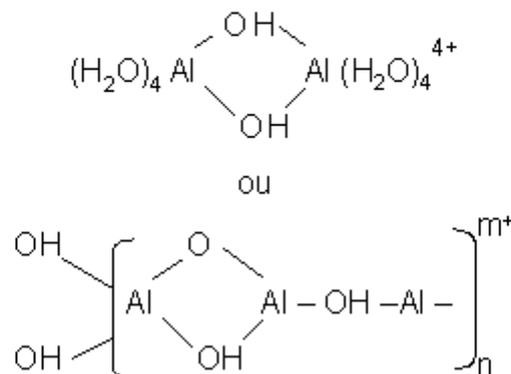
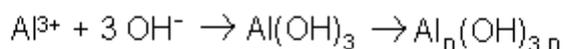
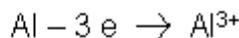
favorecendo pela sua qualidade de oxidante a quebra de eventuais moléculas orgânicas resistentes. Em alguns casos pode-se obter o próprio fenômeno de oxidação, enquanto o hidrogênio produzido no pólo do eletrodo oposto (positivo) é utilizado como redutor sobre moléculas orgânicas.

A eletrocoagulação se caracteriza pela eletrólise realizada com anodos de sacrifício, como ocorre, por exemplo, com o alumínio e o ferro. A passagem de corrente elétrica através deles provoca a sua dissolução conforme as reações:



Uma vez que o valor do pH no reator eletrolítico é mantido em  $6,5 < \text{pH} < 9$ , formam-se imediatamente os hidróxidos correspondentes destes metais, pois os grupos hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ) reagem com os cátions livres, reagindo inclusive com os contaminantes ainda presentes no resíduo.

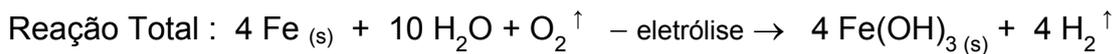
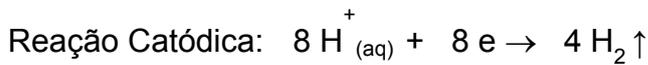
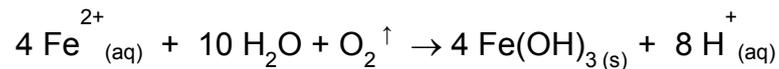
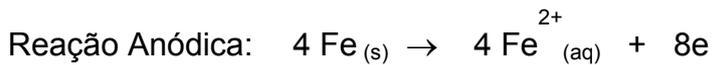
Conforme proposto por Mollah et al. (2001), a dissolução do eletrodo de alumínio produz cátions  $\text{Al}^{3+}$ , que em pH apropriado (alcalino) gera inicialmente compostos  $\text{Al}(\text{OH})_3$  e finalmente se polimerizam em  $\text{Al}_n(\text{OH})_{3n}$ , de acordo com as reações abaixo e as estruturas das moléculas, apresentadas, a seguir, na fig 2:



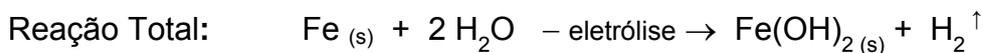
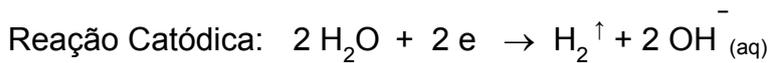
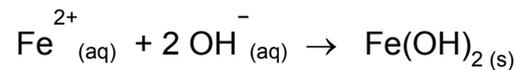
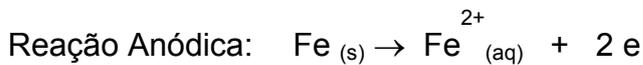
**Fig 2** – Reações e estruturas dímica e polimérica do  $\text{Al}^{3+}$   
Fonte: Mollah et al. (2001)

Dois mecanismos são propostos para explicar as reações que ocorrem nos eletrodos de ferro, que por sua vez gera hidróxido de ferro  $\text{Fe(OH)}_n$ , onde  $n = 2$  ou  $3$ , conseqüentemente, formando hidróxido ferroso e hidróxido férrico.

#### Mecanismo 1



#### Mecanismo 2



Segundo Crespilho & Rezende (2004), ao se aplicar uma diferença de potencial (ddp) entre dois eletrodos imersos em uma solução eletrolítica (no caso, o resíduo líquido), reações eletroquímicas de oxidação e redução começam a ocorrer no ânodo e no catodo, respectivamente. Tais reações podem ser governadas por fenômenos associados à eletrólise, que, por sua vez, dependem da ddp aplicada.

O reator apresentado na fig 3, a seguir, consta, essencialmente, de um recipiente de vidro contendo dois eletrodos metálicos consumíveis (ferro ou alumínio) conectados a uma fonte de corrente contínua e um agitador mecânico. Nota-se que as micro-

bolhas formadas por diferença da sua massa específica em comparação com a massa específica do líquido a tratar, têm a tendência a flotar em direção à superfície da célula, levando consigo toda a matéria em suspensão presente, como hidrocarbonetos, colóides, etc., provocando, já nesta fase, uma clarificação do líquido tratado.

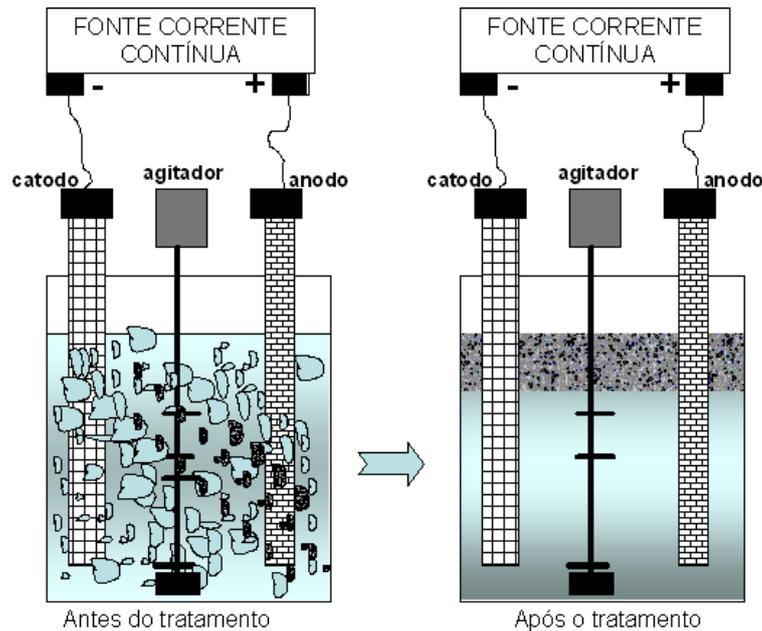
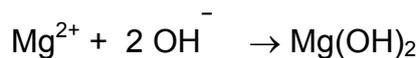
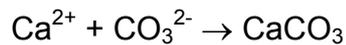


Figura 3 - Esquema de uma célula eletrolítica

Durante a realização da eletrólise no interior do reator, dependendo da natureza do efluente a ser tratado poderá existir maior ou menor facilidade de ocorrer um fenômeno conhecido como passivação dos eletrodos. Uma vez ocorrendo a passivação a corrente transmitida caiu vertiginosamente impedindo a continuidade das reações e a qualidade do tratamento. Isso pode ocorrer tanto para os eletrodos de alumínio, como para os de ferro, e se deve normalmente a um aumento significativo na produção de hidróxidos de ferro e/ou de alumínio, atingindo altas concentrações, ocasionando sua fixação na superfície dos eletrodos impedindo, assim, a passagem da corrente elétrica.

Outro problema que pode causar é a formação de um depósito na superfície dos eletrodos devido ao excesso de material depositado e/ou acumulado nos eletrodos, provenientes do próprio resíduo líquido, principalmente quando acontecem longas paradas para a manutenção do sistema para correção de alguma avaria. A presença

de sais de cálcio e magnésio, também pode ocasionar a formação de carbonatos e hidróxidos insolúveis aderentes à superfície do catodo, impedindo, conseqüentemente a passagem da corrente elétrica. As reações de formação desses depósitos são apresentadas, a seguir:



É importante controlar a utilização do sistema e manter regularmente inspeções visuais na superfície dos eletrodos, realizando ações de limpeza quando for verificada excessiva presença de depósitos no interior do reator.

A utilização da reversão periódica da corrente é fundamental para controlar o desgaste dos eletrodos. Com a simples utilização de uma chave de reversão o desgaste dos eletrodos pode ser mantido homogêneo e o problema da ocorrência da passivação minimizada de forma a manter o sistema em perfeito funcionamento.

#### 3.4.2.2 O uso de polieletrólitos nos tratamentos

De uma maneira geral, os polieletrólitos são polímeros originários de proteínas e polissacarídeos de natureza sintética. E podem ser classificados em: catiônico, aniônico e não-iônico.

Os polieletrólitos catiônicos são aqueles que, quando dissolvidos em água se ionizam, adquirem cargas positivas e atuam como um autêntico cátion. Os polieletrólitos aniônicos, de maneira semelhante, adquirem cargas negativas e atuam como ânion. Já os polieletrólitos não iônicos são aqueles que não se ionizam em água, ou seja, não são polieletrólitos, mas são incluídos nessa categoria devido à semelhança de suas aplicações.

No caso de eficiência da floculação, a carga do polímero e o seu peso molecular são de grande importância, pois, o peso molecular dos polieletrólitos é geralmente muito alto e pode variar desde 5.000 até 10.000.000.

Os polímeros de pesos moleculares maiores são os mais adequados para efetuar a floculação, pois têm cadeias muito longas e por isso são capazes de estabelecer ligações entre partículas diminutas dispersas na água, facilitando, assim, a sua aglutinação e as transformando, conseqüentemente, em partículas relativamente grandes.

Para que a aglutinação de partículas suspensas na água ocorra satisfatoriamente é fundamental que a molécula do polímero seja adsorvida nas superfícies de duas ou mais dessas partículas, para tanto, são fundamentais a carga, o peso molecular e o grupo funcional do polímero.

A carga do polímero serve para neutralizar as cargas da matéria em suspensão na água e o grupo funcional, quanto mais atuante, mais facilitará a adsorção das partículas ao polímero.

O uso de polieletrólitos favorece a aglutinação e melhora sensivelmente a precipitação das argilas e outros sólidos em suspensão, entretanto, tratando-se da alimentação de efluentes industriais é importante avaliar sua atuação química e econômica frente às condições e parâmetros utilizados nos processo eletrolíticos. Entretanto, quanto à capacidade de remoção de material particulado e substâncias oleosas o uso de polieletrólitos é bastante vantajoso.

#### 3.4.2.3 Dimensionamento

Por meio de leis estabelecidas por Faraday, o consumo de elétrons é associado à quantidade total de substâncias reagentes. Tal fato, em eletrocoagulação, está diretamente relacionado ao desgaste do eletrodo (corrosão) no processo de geração do agente coagulante.

Isso significa que a geração de alumínio (ou ferro), em solução, está intimamente relacionada à carga, que, por sua vez, pode ser controlada pela corrente obtida. Assim, a corrente medida por um multímetro em um processo de eletrocoagulação é, a princípio, proporcional à quantidade do metal ionizado gerado em solução. A massa de eletrodo consumida ( $m_{el}$ ), em gramas, durante a eletrólise, pode ser calculada pela seguinte equação:

$$m_{el} = (i \times t \times M) / (F \times n), \text{ onde:}$$

$i$  = corrente aplicada na eletrólise (A)

$t$  = tempo de aplicação da corrente (s)

$M$  = massa molar do elemento do eletrodo ( $\text{g mol}^{-1}$ )

$n$  = nº de elétrons envolvidos na reação de oxidação do elemento do anodo

$F$  = Constante de Faraday ( $9,65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$ )

Sendo que, a massa molar de um elemento, dividida pelo número de elétrons envolvidos na reação é denominada de **Equivalente Químico** ( $\xi$ )

$$\xi = M / n$$

Assim, a partir dos Equivalentes Químicos, podem ser definidos os **Equivalentes Eletroquímicos** ( $\alpha$ ), aplicando-se a divisão pela Constante de Faraday:

$$\alpha = \xi / F \quad \text{ou} \quad \alpha = M / n \cdot F$$

Pela definição da **Primeira Lei de Faraday**: “A massa da substância desprendida (decomposta ou liberada, que reage ou se forma) em um eletrodo é diretamente proporcional à carga elétrica que atravessa a solução”. (WIENDL, WOLFGANG G., 1998).

$$m_{el} = \alpha \cdot (i \cdot t)$$

Esta informação é muito importante, pois, a partir deste cálculo, conhecendo-se a quantidade de íons do metal necessária para promover a coagulação das impurezas, é possível estabelecer a corrente a ser aplicada para um intervalo de

tempo pré-determinado, e a área dos eletrodos que participarão da eletrólise para uma expectativa desejada de vida útil desses eletrodos.

Dessa forma, o tempo (**t**) para que ocorra o desgaste de certa quantidade (**X**) de um determinado eletrodo com Equivalente Eletroquímico ( **$\alpha$** ), por efeito da eletrólise com corrente (**i**), pode ser determinado pela equação abaixo:

$$t = X / \alpha \cdot i$$

Assim, por meio da corrente aplicada pode-se determinar a potência em KW h m<sup>-3</sup> de um reator eletrolítico em fluxo contínuo, de acordo com a equação abaixo:

$$P = ( U \times i ) / ( Q \times 1000 ) , \text{ onde:}$$

i = corrente aplicada na eletrólise (A)

U = potencial (V)

Q = vazão ( m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> )

#### 3.4.2.4 Fatores que influenciam o processo

Vários fatores podem influenciar as reações de eletrólise e conseqüentemente o resultado obtido no tratamento de um resíduo líquido. A seguir são indicados fatores e parâmetros que devem avaliados na especificação de um projeto:

- Tipo de resíduo a ser processado (natureza dos compostos formadores do eletrólito; elementos e substâncias poluidoras presentes; suas concentrações e co-relacionamento com os padrões legais de descarte);
- Material do(s) eletrodo(s) utilizado(s) (desgaste e geometria dos eletrodos);
- Grau de retificação da corrente elétrica;
- Tensão dos eletrodos;
- Densidade de corrente (catódica e anódica);

- Afastamento entre os eletrodos contínuos e paralelos;
- Condutividade elétrica do eletrólito;
- Faixa de pH no meio reacional;
- Tempo e temperatura de reação, entre outros.

O estudo da tratabilidade do resíduo líquido é a forma técnica de se obter dados práticos específicos para a elaboração do projeto de um sistema de tratamento eficiente.

Uma vez projetado e implementado o sistema de tratamento é fundamental o controle contínuo de alguns parâmetros do processo, que garante a qualidade do tratamento realizado e a repetibilidade dos resultados, tais como: faixa de pH; condutividade; tensão; densidade de corrente e tempo de reação.

#### 3.4.2.5 Aplicações

Diversas fontes apresentam importantes aplicações para o processo de tratamento pela tecnologia eletroquímica. Reduções muito representativas em contaminantes e parâmetros controlados pela legislação ambiental, de forma a atrair técnicos e pesquisadores para o desenvolvimento do conhecimento dessa alternativa.

Angelis et al. (1998), descrevem experimentos com efluente industrial não biodegradável, obtendo excelentes resultados quanto à redução do teor de DQO e da biotoxicidade desse resíduo líquido.

Wiendl (1998), apresenta resultados de experiências que qualificam o processo de tratamento eletroquímico aplicado sobre efluentes sanitários, para os parâmetros: DQO; DBO; fósforo; nitrogênio; fertilizantes; metais pesados (mercúrio, manganês e zinco); sulfetos; coliformes (fecais/total) e streptococos fecais.

Gani (2002), credencia o processo para a redução nos resíduos industriais dos

seguintes parâmetros: metais pesados (cromo, níquel e zinco); sólidos totais suspensos; óleos e graxas; fosfatos; DBO e microrganismos.

Chen & Sheng (2003), disponibilizam resultados dos estudos realizados em efluente industrial com reduções adequadas para os parâmetros: DQO; turbidez; sólidos em suspensão e cobre (metal pesado).

Crespilho & Rezende (2004), descrevem resultados que comprovam a aplicabilidade do processo para tratamento de resíduos líquidos com reduções significativas para os parâmetros: metais pesados (cromo, alumínio, ferro, zinco, manganês e cobre); turbidez; óleos e graxas; látex; carbono orgânico total; fluoretos; nitratos; polifenóis; cor (corantes) e sólidos totais.

Brasileiro et al. (2005), relataram experimentos em que realizaram a eletroxidação do fenol presente em águas de produção de campos de petróleo, obtendo bons resultados na redução dos parâmetros DQO (fenol); sulfeto e nitrogênio amoniacal.

#### 3.4.2.6 Vantagens e Desvantagens

O processo eletrolítico é considerado como uma tecnologia limpa em função dos seguintes parâmetros:

- a filosofia e/ou a tendência de diminuir a adição de produtos químicos no tratamento;
- contribui como alternativa aos sistemas físico-químicos tradicionais ao complementar sua capacidade e a eficiência de tratamento;
- emprega reações de oxi-redução que aumentam o potencial de tratamento de compostos recalcitrantes;
- podem operar com jornadas intermitentes em regime contínuo ou em bateladas;

- ocupa pequena área útil, principalmente se for comparado com sistemas de tratamento biológico.

Segundo Crespilho & Rezende (2004), são apresentadas, a seguir algumas vantagens e desvantagens do uso da eletroflotação no tratamento de efluentes:

A) Vantagens:

- requer equipamento simples e de fácil operação, em que a corrente e o potencial podem ser monitorados de maneira automatizada;
- há controle maior do agente coagulante, em comparação com os processos convencionais;
- os flocos formados são mais estáveis, podendo ser removidos por filtração;
- remove partículas coloidais menores, pois o campo elétrico aplicado promove mais rapidamente o contato entre elas, facilitando a coagulação;
- limita o uso de substâncias químicas, minimizando, conseqüentemente, o impacto negativo causado pelo excesso de xenobióticos lançados no ambiente, fato que acontece quando a coagulação química é empregada no tratamento de efluentes;
- as bolhas de gás produzidas durante a eletrólise podem levar o contaminante ao topo da solução, onde pode ser concentrado e removido mais facilmente, por flotação;
- a cela eletrolítica é eletricamente controlada, não necessitando de acessórios secundários, o que requer menos manutenção;
- essa técnica pode ser usada convenientemente em áreas rurais onde a eletricidade não é disponível, desde que um painel solar seja acoplado à unidade.

B) Desvantagens:

- os eletrodos precisam ser substituídos regularmente devido ao desgaste e/ou, caso sofram passivação;

- o uso de eletricidade pode ser caro em alguns lugares;
- um filme de óxido impermeável ou depósito de sais insolúveis e impermeáveis pode ser formado no catodo, conduzindo à perda de eficiência da unidade;
- é requerida alta condutividade do efluente.

## 4 AVALIAÇÃO DO PROCESSO ELETROLÍTICO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS E DOMÉSTICOS

### 4.1 ENSAIOS LABORATORIAIS

Com o intuito de conhecer a tecnologia eletrolítica aplicada ao tratamento de resíduos líquidos, na prática, foi utilizado um equipamento em escala de bancada laboratorial para a realização de alguns testes que pudessem demonstrar e ilustrar como se desenvolvem as reações de eletrólise. O reator de vidro (fig. 4) com capacidade para 2,0 L de efluentes e um fabricado em polietileno (fig.5) para um volume de 7 L de efluentes.

Os testes foram realizados com efluentes líquidos coletados de uma indústria mecânica fabricante de equipamentos para produção de petróleo, de forma a verificar os resultados possíveis de serem alcançados com resíduos correspondentes a este ramo industrial.

Foi escolhido o resíduo desse tipo de indústria, para permitir a verificação do comportamento do tratamento eletroquímico, como alternativa, ao processo físico-químico convencional, que reconhecidamente não possui eficiência para adequá-lo aos padrões de descarte especificados pela legislação ambiental (Norma Técnica NT-202 R.10, de 12/12/1986).

A partir do conhecimento de que os principais poluentes presentes no resíduo desse ramo industrial são: águas de lavagens de peças (contendo detergentes), óleo solúvel, óleo anticorrosivo e lubrificante industrial (óleos e graxas), águas provenientes das cabines de pintura (sólidos em suspensão, teor de zinco) e soluções aquosas contendo fluidos hidráulicos à base de etilenoglicol (gerando cor esverdeada e alta DQO); foram preferencialmente investigados os seguintes parâmetros para avaliação: turbidez, DQO, MBAS, coloração e teor de zinco.

Com base nesses ensaios laboratoriais foi possível acompanhar e avaliar os seguintes parâmetros:

- variação do valor do pH;
- variação da condutividade;
- variação da corrente contínua aplicada durante o tratamento;
- observação da ocorrência da coagulação, floculação, flotação e sedimentação, comparando o comportamento do sistema sem adição e com adição de compostos auxiliares de floculação (polieletrólito aniônico (0,05 – 0,10% p/v) – Polyfloc AP 1120P GE Belts);
- modificação na coloração;
- resíduos não filtráveis totais (RNFT);
- variação da carga orgânica existente no resíduo líquido (principalmente etilenoglicol), controlado pelo ensaio de DQO;
- teor de zinco;
- presença de tensoativos (detergentes) – ensaio de MBAS;

Principais materiais utilizados:

Becher 2000 mL (reações em bateladas);

Reator em polipropileno (reações contínuas);

Eletrodos de ferro (aço);

Fonte de corrente contínua (50 A / 12 V);

Medidor de pH;

Medidor de condutividade;

Agitador magnético e mecânico.

Parâmetros de controle

Ajuste da corrente: 3A (2–3 A) (bateladas) e,

20A (15-20 A) (contínua);

Vazão média: 2,0 L/30 minutos (batelada) e 5,0 L/hora (contínuo);

Densidade (área anódica / volume):  $0,6 \text{ m}^2/\text{L}$

Faixa de pH inicial para a eletrofloculação:  $4,0 < \text{pH} < 6,0$ ;

Faixa de pH para decantação :  $8,0 < \text{pH} < 9,0$ ;

A condutividade do resíduo não deve ser inferior a  $3.000 \text{ } \mu\text{S}/\text{cm}$ ;

Agitação moderada durante toda reação em batelada.

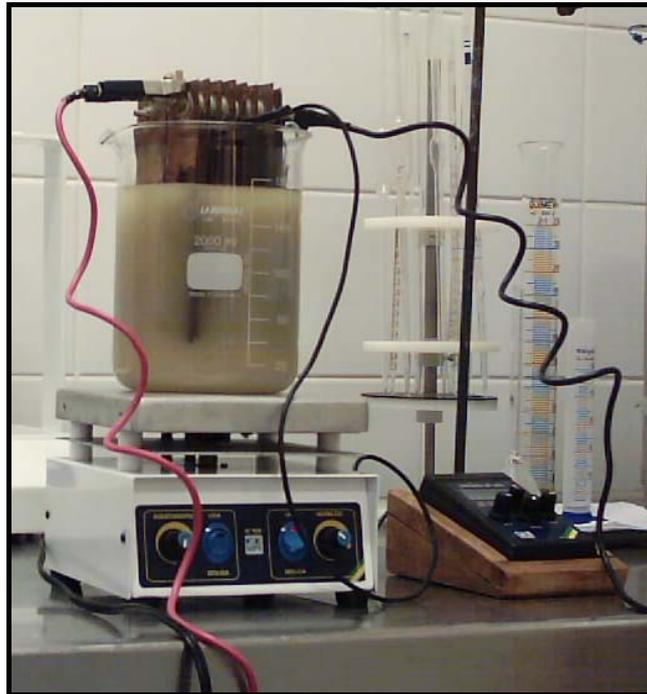


Figura 4 – Vista do reator de vidro (2L) com tratamento em batelada e agitação magnética

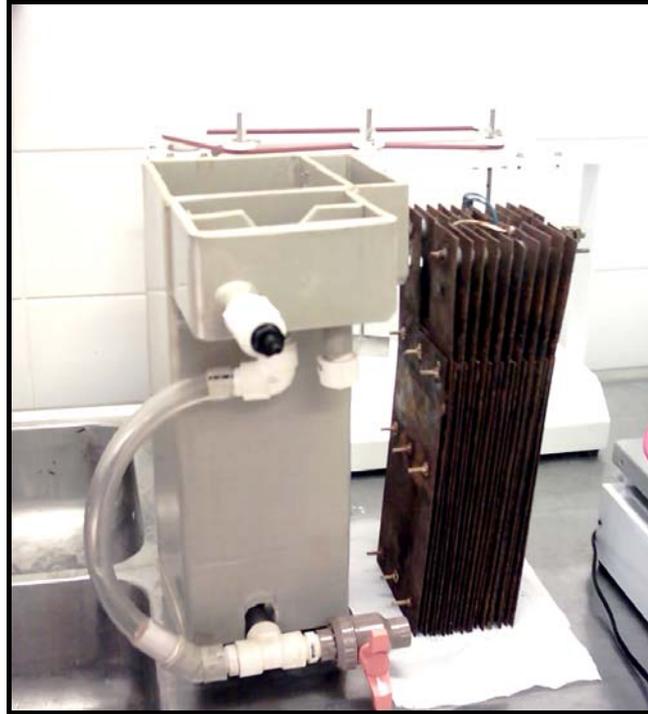


Figura 5 – Vista do reator de polietileno com tratamento contínuo

A seguir, são apresentados na fig 6, os eletrodos de placas de aço utilizadas nos reatores de batelada e no reator contínuo.

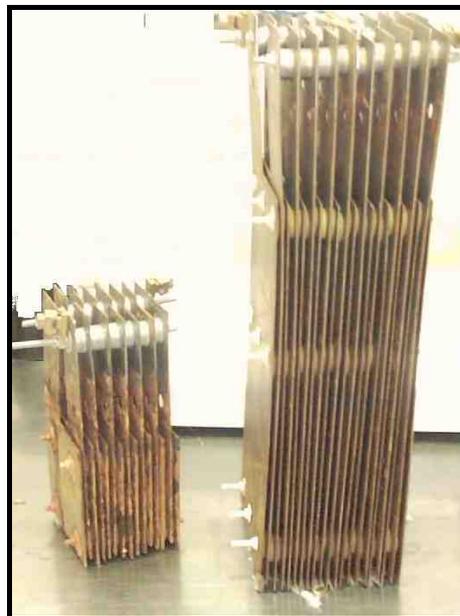


Figura 6 – Aspectos dos eletrodos de placas de aço usadas no reator em batelada e no reator contínuo

A cada ensaio as amostras de efluente bruto foram submetidas inicialmente a uma avaliação de pH e condutividade para se verificar a necessidade ou não de se ajustar esses parâmetros essenciais ao bom desempenho do processo, logo após,

foi fixado o nível de corrente contínua (A) e então se iniciava a contagem do tempo (30 minutos por batelada), até se obter uma boa clarificação.

Durante a realização dos testes foi observado que o processo possui excelente capacidade de promover a coagulação e a floculação do sistema coloidal que torna o resíduo turvo.

Tanto o reator em processamento contínuo quanto o reator em batelada promoveram a transparência ao efluente tratado, demonstrando excelente potencial para essa aplicação, conforme mostra, a seguir, a fig. 7, a excelente flotação de material oleoso mostrado na proveta ao lado do reator.



Figura 7 – Processo mostrando a maior remoção por flotação do efluente oleoso em relação à sedimentação

Pela observação visual constata-se a grande evolução dos gases gerados pelas reações de eletrólise, a formação abundante de espuma e a impressionante capacidade de coagulação dos corantes, eliminando a cor e promovendo a transparência ao resíduo, principalmente com a utilização de polieletrólito aniônico como auxiliar de floculação. Entretanto, cabe registrar que mesmo sem a utilização

do polieletrólito o tratamento apresenta bom resultado, necessitando maior tempo para completar a etapa de flotação e sedimentação.

A seguir será apresentada uma seqüência de fotos (fig 8 a fig. 11) para demonstrar e ilustrar o tratamento de uma amostra de efluente contendo fluido hidráulico à base de etilenoglicol, com tonalidade esverdeada, característica do efluente em questão. O tratamento obtém sucesso quando o material oleoso e a cor são removidos para o descarte final.

A fig 8, mostra o início do tratamento eletroquímico com um fluido hidráulico de cor verde. A fig. 9 mostra que com o decorrer da reação, verifica-se que a tonalidade esverdeada se acentua; com produção crescente de espuma e elevação no valor do pH.



Figura 8 – Início do tratamento com o fluido hidráulico de cor verde



Figura 9 – O aumento da coloração verde em função do tempo e a formação de material floculado na parte superior.

Na seqüência fotográfica, a seguir, as fig.10 e 11, mostram, respectivamente, o processo de coagulação/flotação sem adição de polieletrólito e com adição de polieletrólito. A adição de polieletrólito com auxiliar de floculação diminui o tempo de tratamento eletrolítico, reduz o consumo de energia (eletricidade) e aumenta a capacidade de remoção de produtos oleosos.



Figura 10 – Aspecto da coagulação/flotação sem o auxílio de polieletrólito



Figura 11 – Aspecto da coagulação/flotação com o auxílio de polieletrólito

O tratamento específico para um resíduo líquido oleoso e colorido requer uma série de ensaios laboratoriais utilizando os testes com reatores em batelada e reatores contínuos visando atingir os parâmetros indicados para um descarte dentro da legislação ambiental.

Os resultados macroscópicos foram excelentes em quase todos os ensaios realizados, confirmando as expectativas em relação ao uso da eletrofloculação como alternativa de tratamento para o tipo de efluente estudado, exibindo visualmente a redução da cor, turbidez, sólidos em suspensão e até mesmo uma boa perspectiva para o teor de óleos e graxas. Entretanto, são fundamentais os acompanhamentos analítico e sistemático, com base nos resultados obtidos, principalmente para DQO, óleos e graxas, RNFT, teor de zinco, MBAS (detergente), e cor.

#### 4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE LABORATÓRIO

A seguir, são apresentados os resultados analíticos correspondentes as fontes poluidoras, ensaios de laboratório e comentários de avaliação:

#### 4.2.1 Verificação das fontes de resíduos

Tabela 1 – Levantamento das principais fontes de resíduos da indústria mecânica fabricante de equipamentos para produção de petróleo

IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO								
Data:		14/7/2005						
Objetivo:		Verificar alguns parâmetros das fontes de resíduos						
Laboratório:		Hidroquímica Eng.e Lab. Ltda						
Parâmetros	AMOSTRAS E RESULTADOS							
	Padrão de Qualidade	Método	Bruto ETE	Resíduo óleo solúvel	Resíduo Fluido HW525	Resíduo Fosfato		
DQO mg/L em O <sub>2</sub>	200,0	SM 5220	6380,0	22600,0	52151,0	620,0		
DBO mg/L em O <sub>2</sub> 5d	-	MF439	2040,0	2210,0	8549,0	86,0		
Zinco Total mg/L em Zn	1,0	MF466	9,3	6,1	8,2	14,4		
Detergentes mg/L	2,0	MF417	36,2	181,9	28,8	8,5		
RNFT mg/L	-	MF438	30,0	80,0	33,0	26,0		
Óleos e Graxas mg/L	20,0	MF412	88,0	476,0	169,0	16,0		
Cor	ausente	-	verde	cinza	verde	cinza		

#### Comentários sobre os resultados apresentados na tabela 1

- O resíduo Bruto/ETE corresponde a uma amostra retirada do tanque de homogeneização e representa uma composição média real para tratamento diário;
- As demais amostras foram retiradas dos tanques que segregam esses resíduos antes de serem enviados para a ETE. Correspondem aos resíduos mais concentrados. Normalmente não são tratados nessas concentrações;
- Pode-se observar que a contribuição em termos de DQO é muito acentuada para os resíduos à base de óleo solúvel e fluido hidráulico. De uma forma geral, a carga de poluentes é muito elevada. Até mesmo o resíduo Bruto/ETE (após a homogeneização) apresenta valores difíceis de serem enquadrados conforme a legislação;
- Esse quadro caracteriza a necessidade do desenvolvimento de um processo produtivo mais limpo, de forma a reduzir a geração de carga poluente com valores tão elevados. Devem ser identificados produtos que

tenham qualidade para desempenhar a função desejada, mas que apresentem menor agressividade ao meio ambiente;

- Avaliando a relação entre DQO e DBO (DQO/DBQ >> 2) fica evidente que o efluente apresenta um predomínio de compostos orgânicos não biodegradáveis, o que indica o tratamento por processo físico-químico e desaconselha a utilização de processos biológicos.

#### 4.2.2 Comparação entre o tratamento físico-químico tradicional e a eletrofloculação

Tabela 2 - Resultados de ensaios de laboratório batelada 01

IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO								
Data:			14/7/2005					
Objetivo:			Comparação entre FQ tradicional x Eletrofloculação					
Laboratório:			Hidroquímica Eng.e Lab. Ltda					
Parâmetros			AMOSTRAS E RESULTADOS					
			Padrão de Qualidade	Método	Bruto	FQ com cloro	FQ sem cloro	Eletro
DQO	mg/L	em O <sub>2</sub>	200,0	SM 5220	5075,0	3040,0	2970,0	1850,0
DBO	mg/L	em O <sub>2</sub> 5d	-	MF439	1570,0	-	-	-
Zinco Total	mg/L	em Zn	1,0	MF466	12,4	0,4	0,2	0,2
Detergentes	mg/L		2,0	MF417	66,2	13,7	11,4	2,2
RNFT	mg/L		-	MF438	28,0	5,0	2,0	1,0
Óleos e Graxas	mg/L		20,0	MF412	54,0	< 10	< 10	< 10
Cor			ausente	-	verde	ausente	verde	ausente

Tabela 3 - Resultados de ensaios de laboratório batelada 02

IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO								
Data:			27/7/2005					
Objetivo:			Comparação entre FQ tradicional x Eletrofloculação					
Laboratório:			Hidroquímica Eng.e Lab. Ltda					
Parâmetros			AMOSTRAS E RESULTADOS					
			Padrão de Qualidade	Método	Bruto	FQ com cloro	FQ sem cloro	Eletro
DQO	mg/L	em O <sub>2</sub>	200,0	SM 5220	7000,0	6720,0	-	5830,0
DBO	mg/L	em O <sub>2</sub> 5d	-	MF439	-	-	-	-
Zinco Total	mg/L	em Zn	1,0	MF466	4,4	0,2	-	0,1
Detergentes	mg/L		2,0	MF417	31,0	0,3	-	0,5
RNFT	mg/L		-	MF438	30,0	1,0	-	1,0
Óleos e Graxas	mg/L		20,0	MF412	46,0	< 10	-	< 10
Cor			ausente	-	verde	ausente	-	ausente

Tabela 4 - Resultados de ensaios de laboratório batelada 03

IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO								
Data:			9/8/2005					
Objetivo:			Comparação entre FQ tradicional x Eletrofloculação					
Laboratório:			Hidroquímica Eng.e Lab. Ltda					
Parâmetros	AMOSTRAS E RESULTADOS							
	Padrão de Qualidade	Método	Bruto	FQ com cloro	FQ sem cloro	Eletro		
DQO mg/L em O <sub>2</sub>	200,0	SM 5220	8320,0	6240,0	-	3980,0		
DBO mg/L em O <sub>2</sub> 5d	-	MF439	-	-	-	-		
Zinco Total mg/L em Zn	1,0	MF466	7,2	0,2	-	0,2		
Detergentes mg/L	2,0	MF417	12,4	0,5	-	0,8		
RNFT mg/L	-	MF438	20,0	1,0	-	1,0		
Óleos e Graxas mg/L	20,0	MF412	26,0	< 10	-	< 10		
Cor	ausente	-	verde	ausente	-	ausente		

Comentários sobre os resultados apresentados nas tabelas 2, 3 e 4

- Os ensaios realizados para comparar o desempenho do processo eletrolítico em relação ao físico-químico tradicional, para esse tipo de resíduo, indicam que embora o percentual de redução do parâmetro DQO apresente melhores valores (aproximadamente, 25% de redução para o tratamento físico-químico tradicional e 44% de redução para o processo eletrolítico), ambos não foram capazes de adequar esse parâmetro aos padrões ambientais legais, no entanto tenha havido uma redução considerável do potencial poluente;
- Quanto aos demais parâmetros, houve uma certa equivalência no desempenho dos processos, demonstrando que em relação a estes os tratamentos atenderiam e apresentariam resultados abaixo dos valores especificados.

#### 4.2.3 Avaliação dos testes de eletrofloculação

A seguir apresentam-se as tabelas relativas aos resultados dos ensaios de laboratório.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios de laboratório batelada 04

IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO								
Data:		24/8/2005						
Objetivo:		Teste Eletrofloculação						
Laboratório:		Hidroquímica Eng.e Lab. Ltda						
Parâmetros	AMOSTRAS E RESULTADOS							
	Padrão de Qualidade	Método	Bruto	FQ com cloro	FQ sem cloro	Eletro		
DQO mg/L em O <sub>2</sub>	200,0	SM 5220	23580,0	-	-	7230,0		
DBO mg/L em O <sub>2</sub> 5d	-	MF439	-	-	-	-		
Zinco Total mg/L em Zn	1,0	MF466	13,6	-	-	1,1		
Detergentes mg/L	2,0	MF417	21,8	-	-	3,4		
RNFT mg/L	-	MF438	60,0	-	-	4,0		
Óleos e Graxas mg/L	20,0	MF412	156,0	-	-	10,0		
Cor	Ausente	-	verde	-	-	ausente		

Tabela 6 - Resultados dos ensaios de laboratório batelada 05

IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO								
Data:		19/9/2005						
Objetivo:		Teste Eletrofloculação						
Laboratório:		Hidroquímica Eng.e Lab. Ltda						
Parâmetros	AMOSTRAS E RESULTADOS							
	Padrão de Qualidade	Método	Bruto	FQ com cloro	FQ sem cloro	Eletro		
DQO mg/L em O <sub>2</sub>	200,0	SM 5220	2100,0	-	-	750,0		
DBO mg/L em O <sub>2</sub> 5d	-	MF439	-	-	-	-		
Zinco Total mg/L em Zn	1,0	MF466	6,0	-	-	0,7		
Detergentes mg/L	2,0	MF417	4,9	-	-	1,5		
RNFT mg/L	-	MF438	18,0	-	-	1,0		
Óleos e Graxas mg/L	20,0	MF412	55,0	-	-	< 10		
Cor	Ausente	-	verde	-	-	ausente		

Tabela 7 - Resultados dos ensaios de laboratório batelada 06

IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO								
Data:		5/10/2005						
Objetivo:		Teste Eletrofloculação						
Laboratório:		Hidroquímica Eng.e Lab. Ltda						
Parâmetros	AMOSTRAS E RESULTADOS							
	Padrão de Qualidade	Método	Bruto	FQ com cloro	FQ sem cloro	Eletro		
DQO mg/L em O <sub>2</sub>	200,0	SM 5220	4385,0	-	-	1485,0		
DBO mg/L em O <sub>2</sub> 5d	-	MF439	-	-	-	-		
Zinco Total mg/L em Zn	1,0	MF466	4,6	-	-	0,8		
Detergentes mg/L	2,0	MF417	14,0	-	-	1,2		
RNFT mg/L	-	MF438	22,0	-	-	1,0		
Óleos e Graxas mg/L	20,0	MF412	41,0	-	-	< 10		
Cor	ausente	-	verde	-	-	ausente		

Tabela 8 - Resultados dos ensaios de laboratório batelada 07

IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO								
Data:			7/11/2005					
Objetivo:			Teste Eletrofloculação					
Laboratório:			Hidroquímica Eng.e Lab. Ltda					
Parâmetros	AMOSTRAS E RESULTADOS							
	Padrão de Qualidade	Método	Bruto	FQ com cloro	FQ sem cloro	Eletro		
DQO mg/L em O <sub>2</sub>	200,0	SM 5220	1255,0	-	-	530,0		
DBO mg/L em O <sub>2</sub> 5d	-	MF439	-	-	-	-		
Zinco Total mg/L em Zn	1,0	MF466	3,2	-	-	0,2		
Detergentes mg/L	2,0	MF417	6,4	-	-	1,1		
RNFT mg/L	-	MF438	10,0	-	-	1,0		
Óleos e Graxas mg/L	20,0	MF412	30,0	-	-	< 10		
Cor	ausente	-	verde	-	-	ausente		

Comentários sobre os resultados apresentados nas tabelas 5, 6, 7 e 8

- Os ensaios envolvendo apenas a verificação do desempenho do processo eletrolítico confirmam a tendência observada nos testes anteriores em que, os resultados não atingiram valores inferiores aos padrões legais de descarte. Apesar de apresentar uma redução média de 64% nos valores de DQO, isso não é suficiente para o atendimento as normas ambientais;
- Os ensaios com fluido hidráulico à base de etilenoglicol não apresentaram uma redução significativa do DQO indicando uma grande dificuldade de oxidação deste composto no efluente;
- A adição de polieletrólito como auxiliar de floculação comprovadamente produz resultados excelentes na clarificação, floculação, diminuindo o tempo total de tratamento;
- Para os demais parâmetros, igualmente importantes para o controle da poluição hídrica, os resultados indicam valores adequados ao descarte ou para sua utilização como água de reuso.

#### 4.3 AVALIAÇÃO DE UNIDADES ELETROLÍTICAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES EM ESCALA INDUSTRIAL

Com a finalidade de reunir informações fidedignas obtidas em empreendimentos

onde o processo eletrolítico esteja funcionando efetivamente em escala industrial, foram identificadas empresas que permitiram uma avaliação *in loco* para disponibilizar o registro desses exemplos de estações de tratamento existentes, mas que servirão de modelo para a avaliação do potencial de contribuição que o processo eletrolítico pode dar como alternativa de tratamento.

As razões sociais das três empresas visitadas não serão divulgadas, por motivos éticos, porém elas estão situadas no Estado do Rio de Janeiro e atuam no seguinte segmento: duas empresas de cosméticos de médio porte e uma empresa mecânica de grande porte. A unidade de tratamento de efluente sanitário é administrada pelo Município de Macaé.

#### **4.3.1 Avaliação do processo eletrolítico na indústria de cosméticos**

Segundo seus gestores, as duas empresas de produção de cosméticos visitadas estão efetivamente funcionando, apresentando excelentes resultados e atendendo aos padrões de lançamento de efluentes, conforme a legislação ambiental pertinente.

Ambas procuraram utilizar o processo eletrolítico pelo mesmo motivo: atingir eficiência de tratamento superior ao que estava sendo obtida pelo processo físico-químico tradicional e, além disso, pelo pouco espaço disponível para o tratamento de efluentes líquidos. Os parâmetros utilizados no controle analítico são: DQO, MBAS, fenóis, óleos e graxas.

A Empresa A promove o tratamento diretamente pelo processo eletrolítico. Após a homogeneização do resíduo líquido que chega na estação de tratamento vinda de várias fontes de geração, faz-se o ajuste de pH e, a seguir, o resíduo é submetido à célula eletrolítica. Ao final do processo o efluente tratado passa por dois filtros, um com enchimento de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e outro com carvão ativo, complementando o tratamento.

O teor de DQO desse tipo de resíduo líquido bruto chega a 15.000 mg/l, sendo considerado de alta dificuldade para tratamento.

A seguir, são apresentados nas fig. 12 uma vista do reator eletrolítico com cerca de 4 m de comprimento. O equipamento dessa empresa é do tipo horizontal e atualmente estão ampliando (duplicando) a capacidade de tratamento do processo eletrolítico para poder melhor atender ao ritmo de trabalho da fábrica.



Figura 12 – Vista do reator eletrolítico horizontal onde se observa os resíduos flotados (cor escura).

A Empresa B, embora tenha um efluente semelhante, resolveu seu problema de tratabilidade de forma diferente. Mantiveram o tratamento físico-químico já existente como um sistema primário e com esse procedimento reduziram em cerca de 70 % o DQO. Posteriormente, este efluente passa pelo tratamento eletrolítico para redução final a fim de atingir os padrões fixados pela legislação ambiental. As

As fig. 13 e 14, a seguir, mostram, respectivamente, a unidade de tratamento físico-químico e a estação de tratamento eletrolítico.

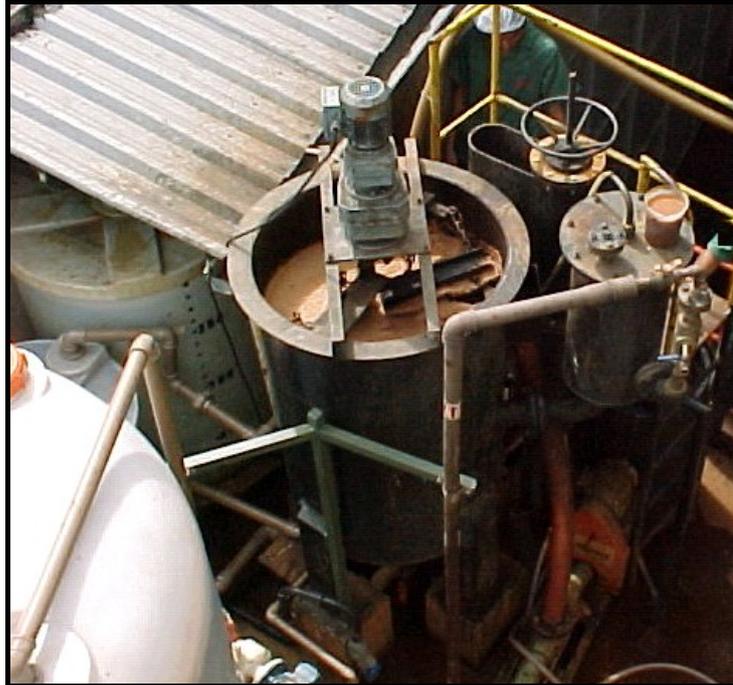


Figura 13 – Unidade de tratamento físico-químico convencional



Fig. 14 – Unidade de tratamento eletrolítico

#### 4.3.2 Avaliação do processo eletrolítico no tratamento de efluente sanitário

A estação de tratamento de esgoto sanitário doméstico do distrito serrano de Glicério, no município de Macaé, é uma estação especial, pois foi implantada em 1996 e, portanto, está por fazer dez anos de existência. É uma estação já

mencionada em outros trabalhos sobre esse tema, de forma que, é muito importante para a credibilidade do processo poder comprovar que esta instalação continua em pleno funcionamento, em conformidade com a legislação ambiental, atendendo a uma população regular de 1.000 habitantes (duplicada, no verão, devido a grande procura dessa região para prática da canoagem esportiva no Rio São Pedro).

Dentro do Programa de Saneamento do município de Macaé, está sendo utilizado o conceito de Tecnologia Limpa para o tratamento de efluentes. A ETE de Glicério foi reformada e ampliada, passando a utilizar a eletrofloculação para o tratamento de 12 m<sup>3</sup>/dia de efluentes. Além disso, mais 320 residências, que antes jogavam seus esgotos diretamente no Rio São Pedro, foram ligadas à rede coletora local.

As fig. 15 e 16, a seguir, mostram a vista da estação de tratamento de efluentes sanitários de Glicério localizada no Município de Macaé.



Figura 15 – Vista geral da estação de tratamento de Glicério



Figura16 – Estação de tratamento eletrolítico – Parte superior do reator

Complementando o tratamento pelo processo eletrolítico, o efluente é filtrado em quartzo, carvão ativo, oxidado pela passagem em radiação ultravioleta (fig. 17) e preservado pela dosagem de hipoclorito (cloro ativo).

Parte do efluente líquido tratado retorna ao rio e a outra parte é utilizada para abastecer o pequeno lago existente na propriedade onde está instalada a ETE – Glicério, e para rega de jardinagem, dentro no distrito.

O lodo resultante do tratamento é enviado a leitos de compostagem, para a produção de adubo orgânico, também empregado para jardinagem.

Realmente é gratificante comprovar o fechamento de um ciclo de tratamento com total eficiência e verificar nas pessoas envolvidas a satisfação de sentir que estão atuando de forma correta, em defesa do meio ambiente.



Figura 17 - Vista do tratamento com o filtro de quartzo, o filtro de carvão ativo e equipamento para oxidação com radiação ultravioleta.

#### **4.3.3 Avaliação do processo eletrolítico em indústria fabricante de equipamentos para produção de petróleo.**

Recentemente, foi implantado o processo eletrolítico numa empresa mecânica de grande porte que constrói equipamentos para produção de petróleo.

O processo eletrolítico faz parte do projeto que está sendo implementado para modernizar a Estação de Tratamento de Resíduos Líquidos Industriais que já existia na empresa, porém, não apresentava capacidade para o tratamento dos efluentes gerados, principalmente, em decorrência da presença de fluidos hidráulicos à base de etilenoglicol. O diagrama de tratamento de efluentes é apresentado na fig. 18.

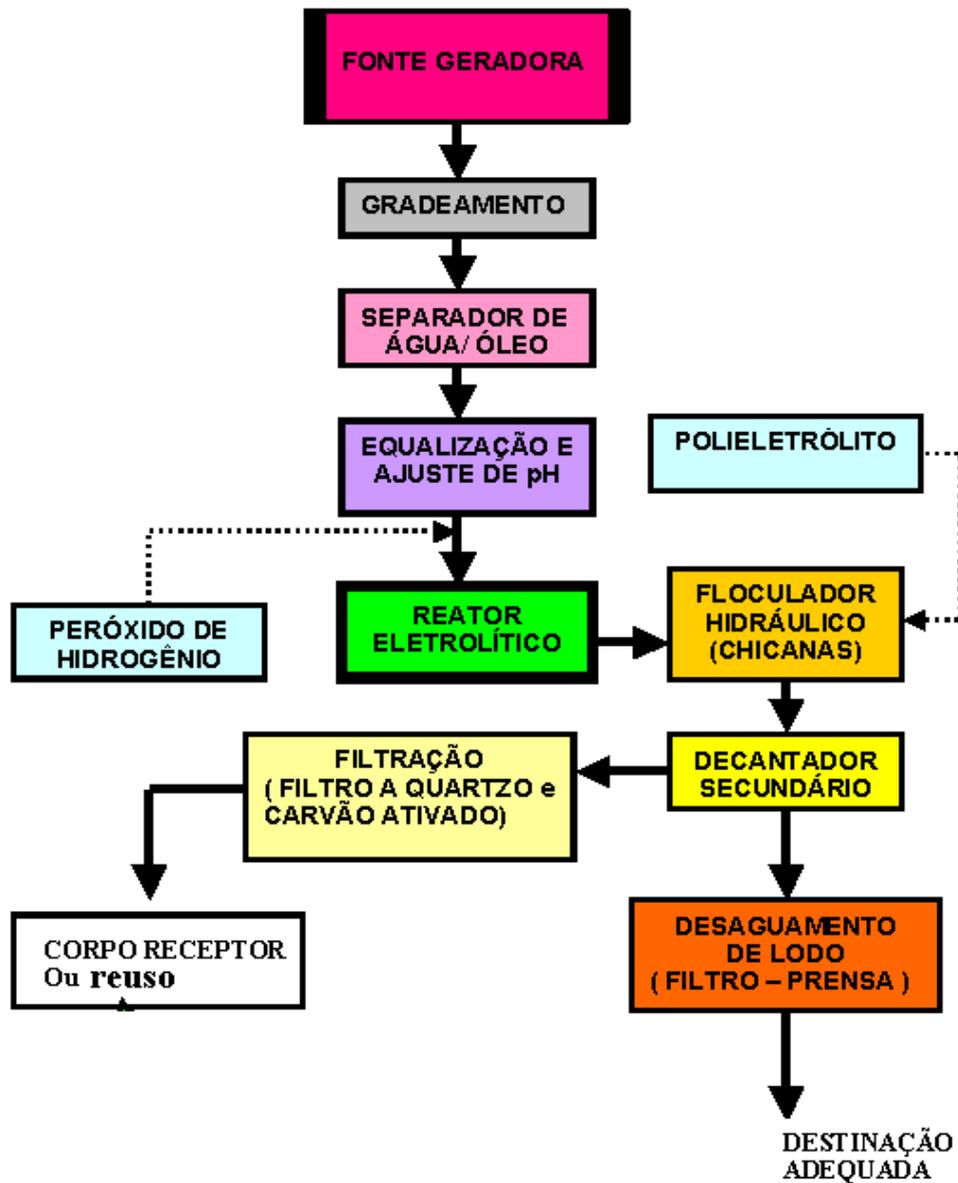


Figura 18 – Diagrama de bloco de tratamento de efluentes  
 Fonte: Manual de operação da ETE

O projeto implantado por essa empresa que utiliza a adição de peróxido de hidrogênio para incrementar a oxidação dos compostos orgânicos mais resistentes. O sistema foi desenvolvido e patenteado pela empresa Sanetech Com. Serv. Ambientais Ltda, como eletrofloculação oxidativa, para empregar a ação do peróxido e hidrogênio ( $H_2O_2$ ) catalisada pelos íons ferrosos liberados no anodo (Reação de Fenton adaptada).

Etapas do tratamento:

### 1ª Etapa – Primária

Na primeira etapa do tratamento as águas residuárias resultante de cada etapa da atividade produtiva são captadas em caixas elevatórias e daí recalçada para a segunda etapa do tratamento.

Como cada fonte geradora apresenta em seus efluentes uma composição química própria, com sólidos sedimentáveis; sólidos grosseiros e/ou óleos sobrenadantes, cada caixa de captação (elevatórias) possui mecanismos de retenção e separação, como placas defletoras, drenos, e separadores de água/ óleo, capazes de removerem estes resíduos antes de serem recalçados.

### 2ª Etapa – Secundária

Na segunda etapa todas as correntes de efluentes são recebidas em um tanque de equalização onde é adicionado peróxido de hidrogênio e ajustado o pH ( $4 < \text{pH} < 6$ ). O efluente fica neste tanque sob aeração por 12 horas e então é recalçado para o reator eletrolítico. Após a oxidação o pH é novamente ajustado, agora para 8 a 9, e em seguida passa para a decantação secundária, filtração em quartzo, filtração em carvão ativado e desaguamento de lodo em filtro – prensa.

Após estas etapas é realizada uma análise de DQO para verificação da qualidade do tratamento e para definir sobre o lançamento do efluente no corpo receptor (atendendo aos padrões de lançamento), ou então o envio para tanque de armazenamento e utilização como água de reuso.

Os sólidos formados e retidos no filtro prensa são encaminhados para disposição final após análise química de caracterização.



Figura 19 -Vista do Reator Eletrolítico, da fonte retificadora de corrente contínua e do painel de controle do processo.

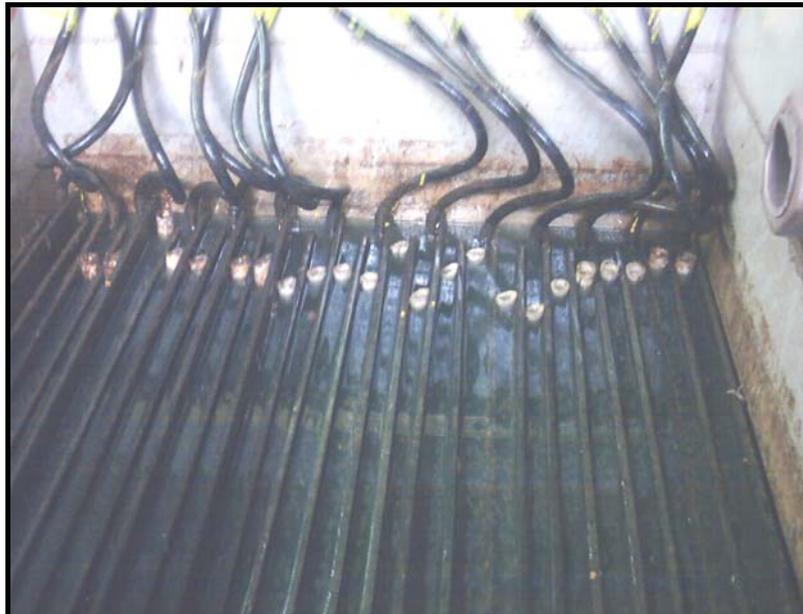


Figura 20 – Vista do interior da célula eletrolítica

Descrição das etapas do tratamento:

Gradeamentos:

Separam os sólidos grosseiros, removendo tampas plásticas, trapos e quaisquer outros corpos flutuantes que possam causar problemas aos equipamentos subsequentes como bombas, registros, tubulações, etc.

Separação água/ óleo :

Os separadores de água/óleo atuam por diferença de densidade fazendo com que os óleos sobrenadantes fiquem retidos em locais reservados, para remoção posterior, e a água continue o fluxo sem interrupções.

Equalização:

Em função da diversidade das fontes geradas nas linhas de produção da empresa, as correntes de efluentes apresentam composições variadas, o que dificulta um ajuste eficiente das condições operacionais do sistema de tratamento.

A equalização tem a finalidade de homogeneizar o efluente, tornando uniforme o pH, temperatura, sólidos, DQO, DBO, vazão e outros parâmetros físico-químicos, regularizando, assim, as condições do tratamento.

Ajuste de pH:

O pH do efluente equalizado é ajustado por dosagem de ácido e/ou base para atender as condições ideais da eletrofloculação na 2ª etapa do tratamento, onde é adicionado peróxido de hidrogênio a 0,5% (volume).

Eletrofloculação (Reator Eletrolítico) :

No processo de Eletrofloculação o efluente passa pelo Reator Eletrolítico de fluxo ascendente, entre os eletrodos, placas planas de aço-carbono dispostas paralelamente entre si, por onde é aplicada corrente elétrica polarizada com cerca de 400 A (2 volt).

#### Ajuste de pH:

O pH do efluente oxidado é ajustado por dosagem de ácido e/ou base para atender as condições ideais de coagulação e precipitação no decantador secundário.

#### Floculador Hidráulico:

No floculador hidráulico existente na saída do Reator Eletrolítico ocorre a adição do agente auxiliar de floculação, polieletrólito aniônico, objetivando aumentar o tamanho dos flocos da eletrofloculação, acelerando a sedimentação no decantador secundário. Na floculação hidráulica, a energia de agitação é conseguida com o uso de chicanas, onde o líquido efetua movimento e fluxo do tipo pistão, sinuoso horizontal ou vertical.



Figura 22 - Vista do floculador hidráulico.

#### Decantação Secundária:

No decantador secundário os flocos formados no reator eletrolítico e adensados no floculador hidráulico são separados por sedimentação. A fig. 23 mostra a retirada da amostra para a verificação da qualidade da floculação. As fig. 24 e 25, respectivamente, comparam a adição ou não de polieletrólitos no tratamento de efluentes.



Figura 22 - Retirada de amostra para verificação no nível de coagulação após eletrólise.



Figura 23 – Tratamento sem polieletrólito



Figura. 24 – Tratamento com polieletrólito

#### Desaguamento do lodo :

O lodo acumulado no poço de lodo do decantador secundário é recalado para um filtro-prensa de placas, onde por filtração forçada são separados os sólidos (lodo; flocos), formando um bolo desidratado (torta) com concentração de matéria seca na ordem de 25 a 35%.

A filtração é realizada por meio de telas de pano filtrante ajustadas entre placas retangulares verticais em série com orifícios para a saída do líquido. O líquido intersticial se separa da massa de lodo, passa pela tela e pelos orifícios das placas e é posteriormente recolhido, retornando para o tanque de equalização. Logo após a

prensagem, a torta é recolhida após a abertura das placas caindo na bandeja suporte e daí para seu destino final.

### Filtração em leito de quartzo

O efluente ao sair do decantador secundário ainda apresenta pequena quantidade material em suspensão (formações coloidais) com elevado tempo de sedimentação. O filtro com leito de quartzo apresenta alta eficiência na remoção de sólidos finos, incluindo a remoção de ferro, produzindo um efluente bem clarificado.

### Filtração em leito de carvão ativado:

O efluente ao sair do filtro de quartzo passa pelo filtro de carvão ativado para remoção de orgânicos e alguma cor persistente (fig. 26).

Esta estação foi projetada para tratar em bateladas ou em corrente contínua a vazão máxima de 2,0 m<sup>3</sup>/h. Está utilizando uma fonte retificadora de corrente com capacidade máxima de 500 A (corrente contínua), com um consumo de 40A / 220 V.

O sistema não está em funcionamento efetivo, pois, apesar de produzir um efluente tratado muito bem clarificado, filtrado e límpido, os resultados analíticos ainda registram a presença de compostos orgânicos dissolvidos, acarretando valores ainda em desacordo com os padrões legais de descarte no corpo receptor.

Está definido que será instalado um equipamento para oxidação suplementar com radiação ultravioleta (foto-oxidação), como um polimento final, com o intuito de complementar o tratamento e obter resultados analíticos em conformidade com os padrões legais.



Figura 25 – Vista dos filtros de quartzo e de carvão ativo.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 CONCLUSÕES

Após vários meses de estudos, ensaios de laboratório, visitas, avaliações de resultados analíticos, confirmações e pesquisas bibliográficas, baseado em todas as informações recebidas e compreendidas, ficou evidente que, para os vários tipos de resíduos líquidos, aquosos e/ou oleosos, a qual a pesquisa se focou, não houve uma comprovação total da hipótese inicial de que o Processo Eletrolítico poderia atender as necessidades das indústrias de equipamentos para produção de petróleo, no que concerne ao tratamento e descarte dos efluentes líquidos gerados por esse ramo industrial, em conformidade com os padrões de legislação ambiental vigente. Entretanto, a base de conhecimento adquirido neste estudo levou as seguintes conclusões:

- o sistema de gestão ambiental aplicado às indústrias mecânicas fabricantes de equipamentos para a produção de petróleo é uma ferramenta importante no gerenciamento dos resíduos gerados visando adequar o processo produtivo em harmonia com a preservação ambiental;
- os principais resíduos líquidos, aquosos e/ou oleosos, provenientes dos vários segmentos mecânicos na produção de equipamentos para a produção de petróleo são: os óleos solúveis (utilizados em centros de usinagem); óleos lubrificantes e anticorrosivos; inibidores de corrosão, fluidos hidráulicos (utilizados em testes hidráulicos para verificar possíveis vazamentos); desengraxantes, sabões e detergentes (águas de lavagens de peças e ambientes); e produtos químicos específicos de setores de tratamento de superfícies metálicas (galvanoplastia);
- a diversidade de resíduos dos diversos segmentos do processamento industrial obriga um tratamento baseado na segregação de produtos químicos e/ou no agrupamento de produtos com características semelhantes com a finalidade de obter resultados promissores no tratamento final dos efluentes;

- de acordo com os testes laboratoriais realizados e com o acompanhamento da instalação industrial apresentada foi verificado que o processo eletrolítico promoveu certo nível de tratamento no resíduo contendo etilenoglicol, clarificando o efluente e, dentro do sistema utilizado, obteve ótimos resultados quanto à redução da cor; redução no teor de óleos e graxas; no teor de zinco e detergentes (tensoativos). O processo eletrolítico não conseguiu adequar o valor da DQO aos valores padronizados para descarte, mas apresentou redução parcial e demonstrou poder contribuir para alcançar a solução;
- os ensaios laboratoriais realizados com fluido hidráulico à base de etilenoglicol não apresentaram uma redução significativa do DQO indicando uma grande dificuldade de oxidação deste composto no efluente;
- a adição de polieletrólito como auxiliar de floculação comprovadamente produz resultados excelentes na clarificação, diminuindo conseqüentemente o tempo total de tratamento;
- o processo confirmou ser muito fácil de ser operado, exibe simplicidade para automação e necessita realmente de espaço reduzido para sua instalação.
- quanto à questão do consumo de energia é fácil constatar pelo porte do retificador apresentado (40 A/220 V) e sua baixa potência (8,8 KW), que não se trata de nenhum valor que inviabilize seu uso, pelo contrário, no exemplo o reator opera com uma vazão de 2,0 m<sup>3</sup>/h, produzindo água tratada com o consumo de 4,4 KWh/m<sup>3</sup> ou 0,0044 KWh/L, ou seja o custo desta instalação é irrisório;
- outra facilidade que pode ser observada é a possibilidade que o processo tem para trabalhar de forma intermitente, característica dos processos físico-químicos, o que difere completamente dos processos biológicos que necessitam permanecer em funcionamento 24 horas por dia, principalmente, quando é computado o custo de energia dos aeradores;
- muitos pontos positivos foram apresentados comprovando sua contribuição como alternativa tecnológica, para que, associado ao

tratamento físico-químico tradicional e a outras técnicas químicas de oxidação avançada, possa servir de ferramenta para a resolução de problemas como a tratabilidade de resíduos complexos, a exemplo da indústria fabricante de equipamentos para produção de petróleo. Com isso, mais uma vez fica claro que, independente dos esforços e dos desenvolvimentos tecnológicos a atitude mais racional está na implementação de um sistema de gestão ambiental que previna a ocorrência dos impactos ambientais promovendo a utilização de processos produtivos mais limpos;

- finalmente é fundamental construir a consciência técnica crítica no uso de produtos químicos nas propostas e nos tratamentos visando à segurança dos empreendimentos, a qualidade de vida e a preservação ambiental.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A análise e a discussão dos resultados concernentes a este estudo sobre tratamento de efluentes, permitem apresentar as seguintes sugestões:

- estudar o desenvolvimento de um programa visando à formulação de fluidos hidráulicos, óleos sintéticos, etc. para que sejam menos poluentes e/ou com suas formulações permitam uma oxidação para redução da carga orgânica quando forem lançados nos corpos d'água;
- desenvolver um programa de redução e/ou substituição do uso de produtos químicos tóxicos e poluentes nos diversos segmentos das indústrias mecânicas;
- desenvolver novas células eletrolíticas para aumentar a performance dos equipamentos no tratamento de efluentes industriais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELIS, Dejanira F. et al. Eletrólise de resíduos poluidores: efluentes de uma indústria liofilizadora de condimentos. *Química Nova*, São Paulo, v. 21, jan./fev., 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR ISO 9001:2000*: sistema de gestão da qualidade. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR ISO 14001:2004*: sistema de gestão ambiental: especificação e diretrizes para uso. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NT-202 R.10*: critérios e padrões para o licenciamento de atividades poluidoras. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NT-213 R.4*: critérios e padrões para o controle da toxicidade em efluentes líquidos de origem industrial. Rio de Janeiro, 1990.

BARATA, M. *Auditoria ambiental: uma nova ferramenta de gestão empresarial*. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.

BARROS, Raphael T. de V.; et al.. *Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

BRAILE, Pedro Márcio; CAVALCANTE, José Eduardo W. A. *Manual de tratamento de águas residuárias industriais*. São Paulo: Cetesb, 1993.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei 9.605 de 12 de dezembro de 1998 Dispõe sobre os Crimes Ambientais. *Diário Oficial da União*, de 12 de dezembro de 1998

BRASILEIRO, I. M.N. et al. Eletrooxidação do fenol presente em águas de produção de petróleo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P& D EM PETRÓLEO E GÁS, 3. Salvador, 2005

CAVALIERE, A. S. *Avaliação de desempenho ambiental: uma proposta de relatório e indicadores de desempenho ambiental para a divulgação dos resultados da empresa*. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.

CENTRO BRASILEIRO PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - CEBDS. *Relatório de sustentabilidade empresarial*. Rio de Janeiro: CEBDS, 1997.

CHAVES, L.A.O.; MAINIER, F.B. Análise crítica do processo de licenciamento ambiental com foco no estudo de riscos ambientais para empreendimentos petrolíferos off-shore. In: CONGRESSO ACADÊMICO SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO DO RIO DE JANEIRO (Cadma-RJ): Administração para um desenvolvimento sustentável. *Anais...* Rio de Janeiro, Dez/2004. Disponível em: <http://www.ebape.fgv.br/cadma/htm/cadma.sma.htm> . Acesso em: 04 jul., 2005.

CHEN L. Lai, SHENG H.Lin. Electrocoagulation of chemical mechanical polishing (CMP) wastewater from semiconductor fabrication.. *Chemical Engineering Journal*, Elsevier, 2003.

CONSELHO NACIONAL DOMEIO AMBIENTE (Brasil). CONAMA 357, de 17 de março de 2005, Classifica corpos de água e define as diretrizes ambientais. Brasília, *Diário Oficial da União*, 2005.

COUTO, M.G.; ALMEIDA, V.B.; MAINIER, F.B. Responsabilidade civil, penal e administrativa do auditor ambiental à luz do direito brasileiro. In: CONGRESSO NACIONAL EM EXCELÊNCIA EM GESTÃO,2. *Anais...* Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 12/14 de agosto, 2004.

CRESPILHO, Frank Nelson; REZENDE, Maria Olímpia Oliveira. *Eletroflotação Princípios e Aplicações*. São Carlos: Rima, 2004.

D'AVIGNON, A. *Normas ambientais ISO 14000: como podem influenciar sua empresa*. Rio de Janeiro: Confederação Nacional da Indústria, 1995 e 1996.

DEQUACHIM SA. – Industrial Wastewater Treatment by Electrochemistry. Disponível em: <http://www.dequachim.com/html/electrochemical.html>. Acesso em: 15 jun., 2005.

DIRETRIZ de controle de carga orgânica em efluentes líquidos de origem industrial, DZ-205 R.05, de 07 de agosto de 1991.

DIRETRIZ do programa de autocontrole de efluentes líquidos, DZ-942 R.07, de 01 de agosto de 1990.

DOMÉNECH, X, Química Ambiental. *El impacto ambiental de los residuos*. Madrid: Miraguano Ediciones, 1994, 254p.

EDF INDUSTRIE. *Traitement des eaux par É lectrocoagulation station d'épuration zéro-rejet liquide*. Disponível em: <http://www.tris-online.com/07.php>. Acesso em: 15 jun., 2005.

EDF INDUSTRIE. *Traitement des Effluents par Electrocoagulation*. Disponível em: <http://www.tris-online.com/12.php>. Acesso em: 15 jun., 2005.

GANI, A. JR. Eletrocoagulação no tratamento de efluentes. *Tratamento de Superfícies*, São Paulo, Ano XXIII nº 111, ABTS, 2002, p 20-24.

GILBRAIR, A. de Oliveira et al. Eletroquímica e meio ambiente: estudos mecanísticos e possibilidades de aplicação. In: FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS - FIC , 3. *Anais...* Rio Claro, SP, 2003.

GIORDANO, G. *Tratamento e Controle de Efluentes Industriais*. UERJ, 2004. Disponível em: <http://electrochem.cwru.edu/ed/encycl/art-e02-environm.htm> Acesso em: 23 Jul., 2005.

IBANEZ, Jorge G. *Environmental Electrochemistry*. Iberoamericana University. Março, 2004. Disponível em: <http://electrochem.cwru.edu/ed/encycl/art-e02-environm.htm> Acesso em: 10 Ago, 2005

IBANEZ, Jorge G. Redox Chemistry and the Aquatic Environment Examples and Microscale Experiments. *Chemical Education International*, [s.l.], v. 6, n. 1, 2005.

IBANEZ, Jorge G. Saneamento Ambiental por Métodos Eletroquímicos. *Química Nova na Escola*, São Paulo, n. 15, Maio, 2002.

ISOVIRTUAL, Ltda. *Principais Mudanças Quanto aos Requisitos da ISO 14000:2004*. Disponível em: [http://www.isovirtual.com.br/iso14001\\_mudancas.asp](http://www.isovirtual.com.br/iso14001_mudancas.asp) Acesso em: 22 jul., 2005.

KARL, Imhoff; KLAUS, R. *Manual de tratamento de águas residuárias*. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

LA ROVERE, E. (coord.) *Manual de auditoria ambiental para estações de tratamento de esgotos domésticos.*, Dezembro de 1997. Mimeo.

LA ROVERE, E.; BARATA, M. A. Aplicação de auditoria ambiental nas empresas no Brasil. *Boletim Técnico da IAIA*, [s.l.], n. 2, 1996.

LA ROVERE, E.L. (coord.) *Manual de auditoria ambiental*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2000.

LENOIE, P.; LAPLANTE, B.; ROY, M. Can Capital Markets Create Incentives for Pollution Control *Ecological Economics*. 26(1), 1998.

LIECHOSCKI, D.A. & MAINIER, F.B. As relações dos sistemas de qualidade no controle de riscos à saúde e ao meio ambiente pelo uso de agrotóxicos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL TRANSDISCIPLINAR DIREITO E MEIO AMBIENTE. *Anais...* Porto Alegre: PUCRS, 2004. CD-ROM

- MAIMON, D. *Passaporte verde – gestão ambiental e competitividade*. Qualitymark, Rio de Janeiro, 1996.
- MOLLAH, M.Y.A. et al. Electro coagulation (EC): Science and Applications. *Elsevier – Journal Hazardous Materials*, [s.l.], v.5, n.1, 2001.
- NUNES, José Alves. *Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais*. Sergipe: J. Andrade, 2004.
- OLIVEIRA BRETT, A. M.; BRETT, C.M; A. *Eletroquímica, princípios, métodos e aplicações*. Coimbra, Portugal: Almedina, 1996
- OLIVEIRA, Gilbrair Alcântara et al. *Eletroquímica e meio ambiente: estudos mecanismos e possibilidades de aplicação*. Rio Claro, SP: FIC, 2003.
- PASSOS, J. J. Calmon. *Comentários ao Código de Processo Civil*. Rio de Janeiro : Forense, 1984.
- RIO DE JANEIRO. Decreto estadual nº 1.633 de dezembro de 1997. Dispõe sobre o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP, de 21 de dezembro de 1977.
- SANTOS, L.M. Moreira dos. *Avaliação ambiental de processos industriais*. Ouro Preto: ETFOP, 2002.
- SCOTT, K. Electrochemical Processes for Clean Technologies. *The Royal Society of Chemistry*, Cambridge, England, 1995.
- SILVA, J. F. C. *Tratamento de águas residuárias e efluentes sanitários sob a abordagem eletroquímica*. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2002.
- SIQUEIRA, J.L.Dutra. Uso do peróxido de hidrogênio para tratamento de efluentes. *Revista Gerenciamento Ambiental*, Rio de Janeiro, n. 2, jun/jul, 1998.
- UNCTAC. *Guidance Manual accounting and financial reporting for environmental costs and liabilities*. Nações Unidas, Geneva, 1999.
- VILAR, Eudésio Oliveira et al. *A engenharia eletroquímica aplicada aos problemas ambientais*. Campina Grande-PB: UFCG, 2002.
- WIENDL, Wolfgang Guilherme. *Processos eletrolíticos no tratamento de esgotos sanitários*. Rio de Janeiro: ABES, 1998.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)