

UNIVERSIDADE FEEVALE

ZOLAIR GASPAR FRITSCH

AVALIAÇÃO DO APROVEITAMENTO DA ÁGUA PLUVIAL E REÚSO DE
EFLUENTE NA INDÚSTRIA QUÍMICA

Novo Hamburgo

2012

ZOLAIR GASPAR FRITSCH

AVALIAÇÃO DO APROVEITAMENTO DA ÁGUA PLUVIAL E REÚSO DE
EFLUENTE NA INDÚSTRIA QUÍMICA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Industrial Química pela
Universidade Feevale.

Orientador Prof.: Carlos Augusto do Nascimento

Novo Hamburgo

2012

ZOLAIR GASPAR FRITSCH

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Industrial Química, com título **Avaliação do aproveitamento da água pluvial e reuso de efluente na Indústria Química**, submetido ao corpo docente da Universidade Feevale, como requisito necessário para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Industrial Química – Habilitação em Gerenciamento Ambiental.

Aprovado por:

Professor Orientador Me. Carlos Augusto Nascimento
Universidade Feevale

Professora Dra. Daniela Montanari Migliavacca Osório (Banca examinadora)
Universidade Feevale

Professor Dr. Fernando Rosado Spilki (Banca examinadora)
Universidade Feevale

Me. Júlio César Macedo (Banca examinadora)

Novo Hamburgo, 21 de Junho de 2012.

Dedico esta conquista a Deus e a minha família,
pela compreensão, amor e por estarem sempre ao meu lado
sem a ajuda de vocês esta realização não seria possível!
A Universidade que transforma nossos sonhos em realidade!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por iluminar e guiar meu caminho em todos os momentos, obrigado por estar ao meu lado conduzindo-me com sua mão e me abençoando a cada novo desafio.

Ao meu filho Vinícius que cresceu durante a minha formação e que me aguardava toda noite para fazermos juntos nossa oração noturna agradecendo por estarmos todas as noites juntos.

Ao meu esposo Régis por ter tido paciência e por estar sempre comigo me dando força e sendo meu suporte.

A toda minha família que sempre me apoiou, agradeço por entenderem todos os momentos em que não pude estar com vocês devido a compromissos na Universidade.

Ao Professor Orientador Me. Carlos Augusto Nascimento pela dedicação, atenção, carinho amizade e paciência neste período de estudo. A todos os professores que fizeram parte da minha vida acadêmica, pelo ensinamento que me foi passado, elementos fundamentais para a conclusão deste curso.

Aos meus amigos, colegas de aula e de trabalho pela amizade, e principalmente pelos momentos de companheirismo e de ajuda mútua.

À empresa TFL do Brasil Indústria Química - por oferecer todo apoio e estrutura para realização da pesquisa.

Aos professores da banca avaliadora Daniela Montanari Migliavacca Osório, Fernando Rosado Spilki e ao Senhor Júlio César Macedo que prontamente aceitaram o convite para contribuir e enriquecer este trabalho.

RESUMO

Fritsch, Zolair Gaspar. **Avaliação do aproveitamento da água pluvial e reuso de efluente na Indústria Química**. Orientador: Carlos Augusto Nascimento. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2012. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Industrial Química.

A utilização de efluentes tratados como água de abastecimento nos processos produtivos industriais é uma realidade cada vez mais atual, o consumo sustentável associado ao crescimento das restrições quanto ao consumo prioritário das águas de abastecimento, as condicionantes ambientais e econômicas, impulsionam a necessidade de repensar o reuso de água. O reuso tem se mostrado como uma importante ferramenta para minimizar os problemas de reduzida disponibilidade hídrica, além de fornecer vantagens competitivas. Este trabalho teve como objetivo avaliar, em escala de bancada, um tratamento terciário que possibilite o reuso do efluente tratado, como fonte de abastecimento para o processo produtivo de uma indústria Química. O efluente tratado gerado na referida indústria possui tratamento primário (físico-químico) e secundário Tratamento (biológico) para atender a legislação Municipal, Estadual e Federal. No entanto o efluente tratado ainda contém elevada concentração de Dureza, Cloretos, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Sólidos Dissolvidos Totais, Cor Aparente e Turbidez o que impede seu uso como água de processo. Os testes utilizando sistema de coagulação-floculação-filtração no efluente tratado não apresentaram resultados satisfatórios para atendimento do padrão de reuso, tendo a diluição do efluente tratado com água pluvial seguido tratamento de filtração com carvão ativado atendido o padrão de reuso.

Palavras chave: Reuso, Indústria Química, Carvão Ativado.

ABSTRACT

Fritsch, Zolair Gaspar. **Evaluation of the use of rainwater and reuse of wastewater in the Chemical Industry.** Advisor: Carlos Augusto Nascimento. Novo Hamburgo: University Feevale, 2012. Completion of Course Work of Industrial Engineering Chemistry.

The use of treated wastewater as a water supply in industrial processes is increasingly a reality today, sustainable consumption associated with the growth of restrictions on the primary consumer of drinking water, environmental constraints and economic drives the need to rethink the water reuse. The reuse has been shown as an important tool to minimize the problems of reduced water availability, and offer competitive advantages. The objective of the present study was to evaluate, in a bench scale, a tertiary treatment that enables the reuse of treated wastewater, as a source of supply for the production process of a chemical industry. The treated wastewater generated in this industry have primary treatment (physical and chemical) and secondary treatment (biological) to comply with environmental legislation Municipal, State and Federal. However, the treated effluent still contains high concentration of hardness, chlorides, Chemical Oxygen Demand, Biochemical Oxygen Demand, Total Dissolved Solids, Turbidity and Apparent Color which prevents its use as process water. The test system using coagulation-flocculation-filtration in the treated wastewater did not show satisfactory results for the standard of service reuse, and the dilution of the wastewater treated with rainwater followed treatment with activated carbon filtration met the standard for reuse.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Volume de água captada por tonelada de produto.....	20
Figura 2 - Custo de tratamento da água captada por tonelada de produto fabricado	20
Figura 3 - Custos de tratamento e volume de efluente lançado por tonelada de produtos.....	27
Figura 4 - Percentual de reciclo do efluente na indústria química	29
Figura 5- Tarifas da água de abastecimento em 2011	44

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Consumo de água na TFL do Brasil Indústria Química Ltda	43
Tabela 2 - Cronograma de coleta das amostras.....	47
Tabela 3 - Diluições realizadas.....	47
Tabela 4 - Características físicas e dimensões do filtro de areia.....	50
Tabela 5 - Ensaio físico-químico e Metodologias utilizadas.....	50
Tabela 6 - Caracterização do efluente tratado.....	52
Tabela 7 - Caracterização do efluente antes e após tratamento	53
Tabela 8 - Resultados comparativos 30' e 60'	55
Tabela 9 - Resultados da caracterização da amostra de água pluvial após 60 minutos de precipitação.....	56
Tabela 10 - Resultados da caracterização da amostra diluída 1:1	58
Tabela 11 - Resultados da caracterização da amostra diluída 1:2	59
Tabela 12 - Resultados da caracterização da amostra diluída 1:3	60
Tabela 13 - Resultados da caracterização da amostra diluída 1:4	61
Tabela 14 - Redução da concentração de poluentes com as diluições efetuadas ...	62
Tabela 15 - Resultados obtidos com testes de coagulação/floculação.....	63
Tabela 16 - Resultados obtidos com teste de filtros de areia	64
Tabela 17 - Resultados obtidos com testes de filtros de carvão ativado	65
Tabela 18 - Resultado da caracterização das diluição 1:1 após filtração com carvão ativado.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Faturamento líquido da Indústria Química Brasileira em 2011	16
Quadro 2 - Segmentos que compõem as indústrias Químicas.....	17
Quadro 3 - Composição das Indústrias químicas no Rio Grande do Sul.....	18
Quadro 4 - Requisito de qualidade para uso industrial	24
Quadro 5 - Contaminantes naturais da água	25
Quadro 6 - Critérios e diretrizes da U.S.E.P.A para água de reuso industrial	34
Quadro 7 - Requisitos para a qualidade da água em processos industriais.....	35
Quadro 8 - Matriz para análise de projetos de reuso.....	36
Quadro 9 - Efeitos de Contaminantes em Efluentes.....	38
Quadro 10 - Eficiência de adsorção do carvão ativado	41
Quadro 11 - Resultados do ensaio de Jar-T-Test	49

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIQUIM – Associação Brasileira das Indústrias Químicas
CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONSEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente
ClO₂ – Dióxido de cloro
CO₂ – Gás Carbônico
CDTC – Centro de Desenvolvimento Tecnológico do Couro
DRH – Departamento de Recursos Hídricos
ETEs – Estação de Tratamento de Efluentes
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
LCQ – Laboratório de Controle de Qualidade
MO – Matéria Orgânica
NBR – Normas Brasileiras Regulamentadoras
OD – Oxigênio Dissolvido
O₃ – Ozônio
P&D – Pesquisa e desenvolvimento
pH – Potencial hidrogeniônico
PM – Peso molecular
ppm – Partes por milhão
rpm – rotações por minuto
SDT – Sólidos dissolvidos totais
SDI – Índice de densidade de sedimentos
SEMAE- Secretaria Municipal de Água e Esgoto
SEMMAM – Secretaria Municipal de Meio Ambiente
UV – Radiação ultravioleta

SUMÁRIO

1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
1.1	CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA QUÍMICA.....	15
1.2	INDÚSTRIA QUÍMICA NO RIO GRANDE DO SUL.....	18
1.3	CONSUMO INDUSTRIAL DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO.....	19
1.4	PRINCIPAIS USOS DA ÁGUA NA INDÚSTRIA	21
1.5	QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO	22
1.5.1	<i>Impurezas Presente na Água</i>	25
2	EFLUENTES INDUSTRIAIS.....	26
2.1	EFLUENTES GERADOS PELA INDÚSTRIA QUÍMICA.....	26
3	REUSO DA ÁGUA	28
3.1	FORMAS DE REUSO DE ÁGUA.....	30
3.1.1	<i>Reuso Macroexterno</i>	31
3.1.2	<i>Reuso Específico</i>	31
3.2	ASPECTOS LEGAIS DO REUSO DE ÁGUA.....	32
3.2.1	<i>Crítérios para Reuso Industrial</i>	33
3.3	ESTRATÉGIAS DE PLANEJAMENTO PARA REUSO.....	36
3.4	TRATAMENTO TERCIÁRIO/AVANÇADO UTILIZADO EM SISTEMA DE REUSO	37
3.4.1	<i>Clarificação</i>	39
3.4.2	<i>Filtração</i>	39
3.4.3	<i>Carvão Ativado</i>	40
3.5	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA.....	41
3.6	PRODUTOS E MERCADO.....	42
3.7	ABASTECIMENTO DA ÁGUA POTÁVEL NA INDÚSTRIA QUÍMICA PESQUISADA	42
3.7.1	<i>Balanço hídrico</i>	43
3.7.2	<i>Custo atual</i>	44
3.8	EFLUENTES GERADOS NA INDÚSTRIA.....	45
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	46

4.1 COLETA DE AMOSTRAS	46
4.2 PREPARO DAS DILUIÇÕES	47
4.3 ENSAIOS REALIZADOS	48
4.3.1 <i>Ensaio de Bancada com Efluente Tratado</i>	48
4.3.2 <i>Ensaio Físico-químico</i>	50
5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	51
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE TRATADO PARA REUSO DIRETO	51
5.1.1 <i>Ensaio de Bancada com o Efluente Tratado</i>	52
5.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA PLUVIAL	54
5.2.1 <i>Resultados da Caracterização da Primeira Coleta</i>	54
5.2.2 <i>Resultados da Caracterização da Segunda Coleta</i>	56
5.3 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DAS DILUIÇÕES	57
5.4 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DAS DILUIÇÕES APÓS ENSAIOS REALIZADOS	63
5.4.1 <i>Resultados de Cor e Turbidez após Ensaio de Coagulação e Floculação</i>	63
5.4.2 <i>Resultados dos Testes de Filtração</i>	64

INTRODUÇÃO

Os mananciais mais acessíveis utilizadas para as atividades sociais e econômicas da humanidade são os volumes de água estocados nos rios e lagos de água doce, que somam apenas cerca de 200 mil km³ (Rebouças, 1999).

O Brasil destaca-se no cenário mundial pela descarga de água doce de seus rios, uma produção hídrica de 177.900 m³/s. Representa 53% da produção de água doce do continente Sul Americano e 12% do total mundial (Nuvolari et al, 2010).

Através dos tempos, aprimorando uma tecnologia em constante desenvolvimento, o homem concebeu, projetou e construiu este complexo sistema de engenharia ambiental, que é o sistema urbano e industrial de abastecimento de água, com o qual capta, condiciona, transporta, acumula e distribui este líquido para os mais diversos fins (Lemes, 1990).

O crescimento econômico e a manutenção das condições de qualidade de vida da população dependem, não somente da tecnologia, mas principalmente da conscientização sobre a importância desse insumo e conseqüentemente na forma do seu uso por todos os setores. Atualmente é necessário repensar o consumo de água buscando a redução ou a eliminação de lançamentos de efluentes em corpos d'água.

O consumo de água por atividade distingue três grandes áreas: a agricultura atualmente considerada de maior consumo, seguida pela indústria e por fim as atividades domésticas (UNESCO, 2004), estima-se que em 100 anos o consumo para uso industrial passou de 30 km³/ano para 1350 km³/ano (Padilha, 1999).

As indústrias químicas utilizam grande quantidade de água como matéria prima o que implica em um custo financeiro considerável. Tendo em vista a futura cobrança pela captação de água e lançamento de efluentes em mananciais hídricos, um aumento do valor da taxa de consumo e os constantes racionamentos de água de abastecimento provocada pela escassez de água nos rios e lagos, problemas que pareciam distantes hoje são realidade.

Devido a tal realidade são necessários investimentos em desenvolvimento tecnológico na busca de soluções para a ampliação da oferta de água, como a

utilização da água de reuso, e a captação da água da chuva, além de ações para a eficiente gestão da demanda, reduzindo os índices de perdas e desperdícios (Saulchúk et al, 2006).

Dentre os segmentos usuários da água o setor industrial tem demonstrado grande preocupação em relação ao problema de escassez de água e na busca de alternativas tem evidenciado que pode transformar as exigências legais em vantagens competitivas.

Assim o reuso e a captação de água pluvial tornam-se alternativas eficazes para reduzir os impactos causados pela indústria além de torná-la fornecedora de sua própria água de consumo diminuindo a quantidade de água potável utilizada.

O objetivo geral deste estudo foi avaliar a possibilidade de reuso do efluente tratado de uma indústria química por meio de ensaios físico-químicos visando a sua reutilização para fabricação de produtos químicos e processos industriais ligados a indústria coureira.

Os objetivos específicos da pesquisa aplicados à prática de reuso de água em indústria química incluem: i) Levantar as características do efluente tratado e verificar se os parâmetros atendem aos padrões de qualidade proposto para reuso direto; ii) Avaliar a possibilidade do reuso do efluente após tratamento sequencial adicional; iii) Avaliar o reuso através de diluições do efluente tratado com água pluvial a partir da caracterização físico-química; iv) Propor e avaliar um tratamento simplificado para as diluições visando o atendimento dos padrões de qualidade de reuso; v) Contribuir para a gestão dos recursos hídricos na indústria.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

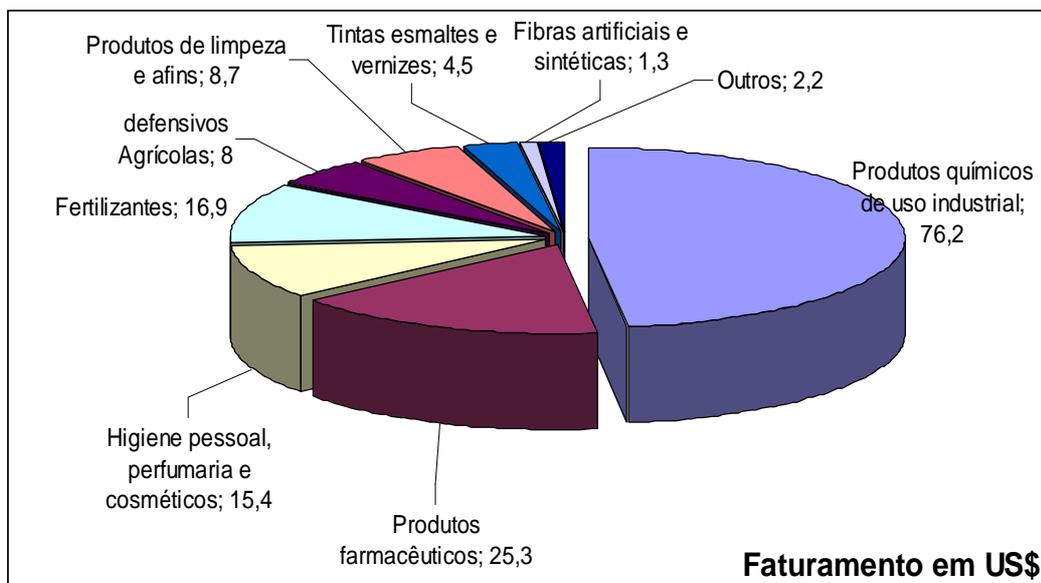
Esta revisão bibliográfica apresenta a caracterização do setor industrial químico no Brasil e no Rio Grande do Sul, abordando o consumo industrial e os principais usos da água, a qualidade requerida para os diversos fins industriais, a geração de efluentes pelo setor, conceituação, formas e aspectos legais de reuso seguida da classificação e as diretrizes para o reuso de água, por fim são abordadas as estratégias de planejamento para o reuso industrial.

1.1 CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA QUÍMICA

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM, 2009) o Brasil ocupa a sétima posição no ranking mundial de países fabricantes de produtos químicos, que é liderado pela China, seguidos de Estados Unidos, Japão, Alemanha, Coréia e França.

A indústria química brasileira teve um faturamento líquido de US\$158,5 bilhões em 2011, representando um crescimento de 23,4% em relação a 2010, sendo atualmente a quarta maior participação no PIB industrial (FORNARI, 2012).

O Quadro 1, apresenta o faturamento líquido da indústria química brasileira em 2011, dividida por seus diversos seguimentos.



Fonte: adaptado de FORNARI, 2012

Quadro 1 - Faturamento líquido da Indústria Química Brasileira em 2011

Este desempenho do segmento industrial químico é representado pela composição de várias indústrias. Em 2006 a ABIQUIM, juntamente com o Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE), definiu uma nova Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), validado a partir de 2007. O Quadro 2 apresenta esta composição.

Grupos de Produtos Conforme o CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas.	
Fabricação de Produtos Químicos Inorgânicos	
<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de cloro e álcalis; • Fabricação de intermediários para Fertilizantes; 	
Fabricação de outros produtos inorgânicos;	
Fabricação de produtos químicos orgânicos	
<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de produtos petroquímicos básicos; <ul style="list-style-type: none"> ○ Intermediário para plástico; ○ Intermediário para plastificantes; ○ Intermediário para resinas termofixas; ○ Intermediário para fibras sintéticas; • Fabricação de intermediários para resinas e fibras; • Fabricação de outros produtos químicos orgânicos não especificados anteriormente; <ul style="list-style-type: none"> ○ Corantes e pigmentos orgânicos; ○ Solventes industriais; ○ Intermediários para detergentes; ○ Plastificantes; ○ Outros produtos químicos orgânicos 	
Fabricação de resinas e elastômeros	
<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de resinas termoplásticas; • Fabricação de resinas termofixas; • Fabricação de elastômeros; 	

Continua

Conclusão

Grupos de Produtos Conforme o CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas.
<p>Fabricação de produtos e preparados químicos diversos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de adesivos e selantes; • Fabricação de adesivos de uso industrial; • Fabricação de adesivos e selantes; • Fabricação de explosivos; • Fabricação de aditivos de uso industrial; • Fabricação de catalisadores; • Fabricação de produtos químicos não especificados anteriormente
Fabricação de fibras artificiais e sintéticas
<p>Fabricação de defensivos agrícolas e desinfetantes domissanitários:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de defensivos agrícolas; • Fabricação de desinfetantes domissanitários
<p>Fabricação de sabões, detergentes, produtos de limpeza, cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de sabões e detergentes sintéticos; • Fabricação de produtos de limpeza e polimento; • Fabricação de cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal;
<p>Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas e produtos afins:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes e lacas; • Fabricação de tintas de impressão; • Fabricação de impermeabilizantes, solventes e produtos afins.
<p>Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de produtos farmoquímicos; • Fabricação de medicamentos para uso humano; • Fabricação de medicamentos para uso veterinário; • Fabricação de preparações farmacêuticas;

Fonte: IBGE, 2006

Quadro 2 - Segmentos que compõem as indústrias Químicas

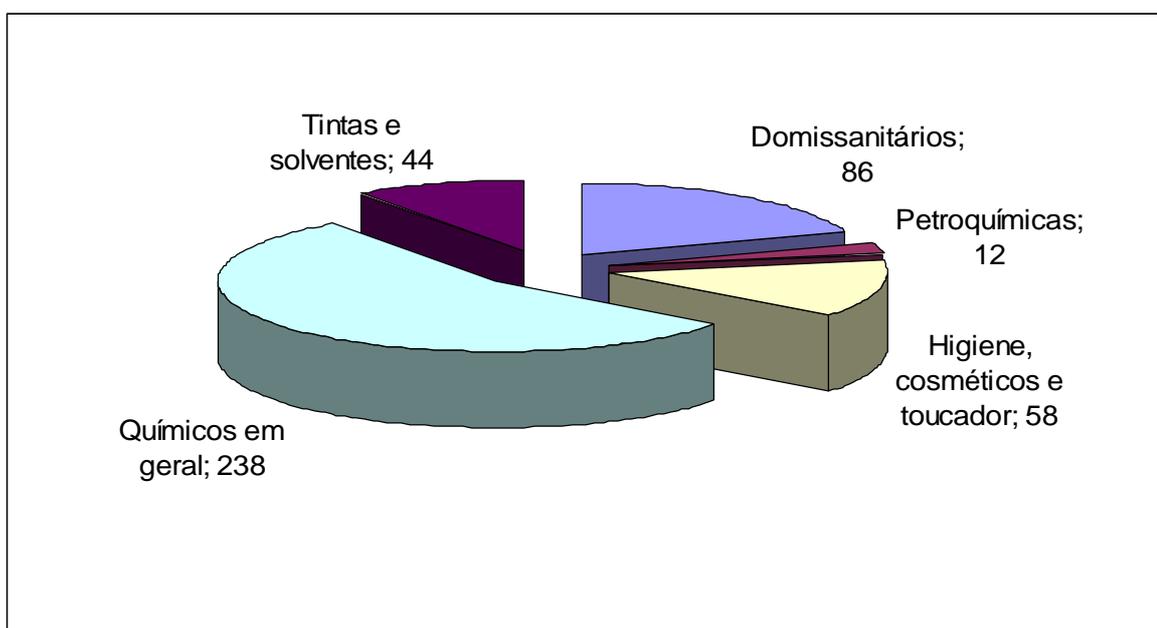
Segundo o IBGE o CNAE tem como principal propósito ser uma classificação standardizada das atividades econômicas produtivas, promovendo um conjunto de categorias para serem usadas na coleta e divulgação de estatísticas por tipo de atividade econômica. A indústria de transformação envolve a transformação física, química e biológica de materiais, substâncias e componentes com finalidade de se obterem novos produtos.

O Estado de São Paulo apresenta a maior concentração de indústrias químicas seguido pelo Estado do Rio de Janeiro e o Estado do Rio Grande do Sul na terceira posição nacional (ABIQUIM, 2010).

1.2 INDÚSTRIA QUÍMICA NO RIO GRANDE DO SUL

Conforme dados divulgados pela Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul (FIERGS) o segmento apresentou um crescimento de 3,8% em 2011.

O setor químico do Estado do Rio Grande do Sul faz parte da indústria de transformação e a partir de dados do Sindicato das Indústrias químicas do Estado do Rio Grande do Sul (SINDIQUIM) é dividida por setores de atuação conforme apresentado na Quadro 3.



Quadro 3 - Composição das Indústrias químicas no Rio Grande do Sul
Fonte: SINDIQUIM, 2011

Com um crescimento previsto para 2012 de 1,25 vezes o PIB nacional a indústria gaúcha terá como consequência o crescente uso de recursos hídricos para subsidiar esta demanda produtiva. A água é essencial no segmento industrial químico, pois está presente em todos os processos conforme apresentado na seção 1.4, que descreve sobre principais uso da água na indústria (ABIQUIM, 2011).

A busca pelo uso sustentável da água no setor industrial impulsiona inovações tecnológicas por soluções de reaproveitamento ou diminuição deste consumo. O abastecimento do setor pode advir de diferentes fontes: do sistema de abastecimento público de água potável, água de poço tubular ou profundo, água pluvial captada dos telhados e áreas construídas, a captação de rios, lagos ou córregos e ainda a reciclagem ou reuso (NUVOLARI et al, 2010).

1.3 CONSUMO INDUSTRIAL DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO

Considerado o segundo maior consumo de água doce no mundo e sendo responsável por aproximadamente 14% do consumo de água doce no Brasil, a indústria faz uso nas mais diversas atividades utilizando-a como matéria prima, reagente, solvente, veículo, transmissão de calor, agente de resfriamento, fonte de energia, instalações sanitárias, refeitórios, controle de emissões atmosféricas quando usada em lavadores de gases entre outros (SAULCHÚCK et al, 2006).

De acordo com o relatório de atuação responsável da ABIQUIM do ano de 2008 a indústria química esta totalmente envolvida com as questões ambientais, melhorias nos processos produtivos, o uso de melhores tecnologias (com equipamentos mais eficientes para refrigeração dos sistemas, por exemplo), e, principalmente, o reciclo de efluentes reduziram de forma importante o consumo de água na indústria nos últimos anos. A captação de água por parte das associadas da ABIQUIM foi reduzida em 27% no período de 2001 a 2008, trazendo economia aproximada de R\$ 1,74 por tonelada de produto fabricado, quando comparados os valores gastos nestes dois anos.

Na Figura 1 esta apresentada a quantidade de água captada por tonelada de produto químico produzido, e a Figura 2 o custo envolvido por tonelada de produto fabricado com o tratamento da água captada.

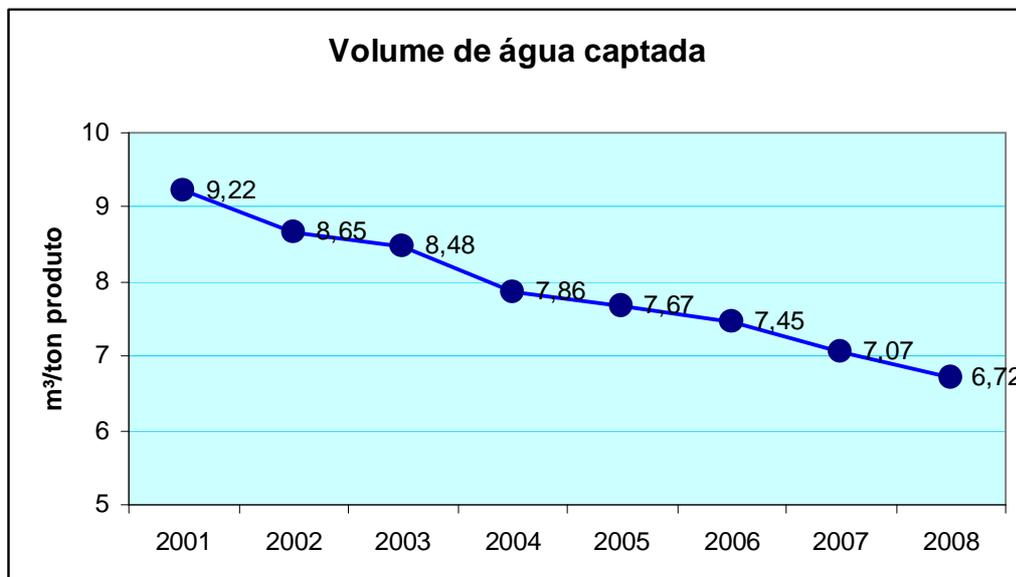


Figura 1 - Volume de água captada por tonelada de produto
 Fonte: ABIQUIM, 2008

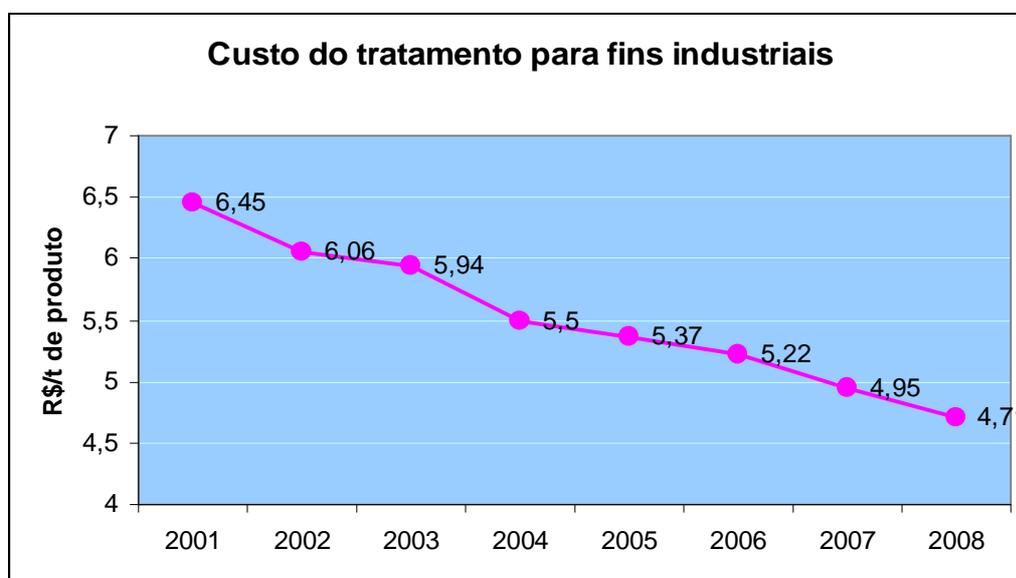


Figura 2 - Custo de tratamento da água captada por tonelada de produto fabricado
 Fonte: ABIQUIM, 2008

Conforme dados do relatório, Considerando-se a produção informada em 2008, o valor economizado pelo conjunto das associadas da ABIQUIM com tratamento de água para fins industriais atingiu cerca de oitenta e três milhões de reais.

O que demonstra a preocupação do setor com a questão do gerenciamento dos recursos hídricos e a forma de repensar o uso destes recursos.

1.4 PRINCIPAIS USOS DA ÁGUA NA INDÚSTRIA

Segundo a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP, 2004), na indústria a água encontra as seguintes aplicações:

- a) **Matéria-prima:** a água será incorporada ao produto final, a exemplo do que ocorre nas indústrias de cervejas e refrigerantes, indústrias de produtos de higiene pessoal e limpeza doméstica, indústria de cosméticos, indústrias de alimentos e conservas e indústria farmacêutica indústria de tintas, etc.
- b) **Uso como fluido auxiliar:** como fluido auxiliar, pode ser utilizada em diversas atividades, destacando-se a preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, veículo, ou ainda, para as operações de lavagem.
- c) **Uso para geração de energia:** no aproveitamento da energia potencial ou cinética, a água é utilizada no seu estado natural, podendo-se utilizá-la na forma bruta, captada de um rio, lago, ou outro sistema de reserva, devendo-se impedir que materiais de grandes dimensões, detritos, danifiquem os dispositivos de geração de energia.
- d) **Uso como fluido de aquecimento e/ou resfriamento:** nestes casos, a água é utilizada como fonte de energia para aquecimento, principalmente na forma de vapor, ou então, para remover o calor de misturas reativas ou outros dispositivos que necessitem de resfriamento devido à geração de calor ou então devido às condições de operação estabelecidas, pois a elevação de temperatura pode comprometer o desempenho do sistema, bem como danificar algum equipamento.
- e) **Consumo humano:** uso em cozinha e refeitórios, uso nos sanitários, para higiene pessoal, bebedouros.
- f) **Outros usos:** Utilização de água para combate a incêndio, rega de áreas verdes, lavagem de equipamentos ou instalações e incorporação em diversos subprodutos gerados nos processos industriais sejam na fase sólida, líquida ou gasosa.

1.5 QUALIDADE DA ÁGUA D E ABASTECIMENTO

A qualidade da água depende do uso a que esta se destina, mas é de extrema importância saber qual a qualidade necessária para cada processo produtivo, este capítulo abordará parâmetros físico-químicos de qualidade da água para os mais diversos fins.

Na busca da qualidade da água para consumo é necessário estabelecer uma relação entre qualidade/aplicação que contenha um conceito de sustentabilidade, de viabilidade técnica, econômica, política e ambiental. Desta forma se faz necessário uma análise preliminar da qualidade da água, com objetivo de quantificar os requisitos mínimos exigidos para cada aplicação. (MUSTAFÁ, 1998).

Segundo a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2006) publicado no Manual de conservação e reuso de água para a indústria a qualidade da água é definida em função de características físicas, químicas, microbiológicas e radioativas, apresentando para cada tipo de aplicação o grau de qualidade exigido conforme segue:

- a) **Consumo humano:** água potável, atendendo às características estabelecida pela Portaria MS 518 (atualizada pela portaria MS 2.914 de 2011) - Norma de qualidade da água para consumo humano, do Ministério da Saúde.
- b) **Matéria prima:** Para esse tipo de uso, o grau de qualidade da água pode variar significativamente, podendo-se admitir a utilização de uma água com característica equivalente ou superior à da água utilizada para consumo humano, tendo-se como principal objetivo a proteção da saúde dos consumidores finais e/ou a garantia da qualidade final do produto. Na Indústria alimentícia, por exemplo, a água deve apresentar um alto grau de pureza.
- c) **Fluido auxiliar:** Da mesma forma que a água é utilizada como matéria-prima, o grau de qualidade da água para uso como um fluido auxiliar irá depender do processo à que esta se destina. Caso essa água entre em contato com o produto final, o grau de qualidade será mais ou menos restritivo, em função do tipo de produto que se deseja

obter. Não havendo contato da água com o produto final, esta poderá apresentar um grau de qualidade menos restritivo que o da água para consumo humano, principalmente com relação à concentração residual de agentes desinfetantes.

- d) **Geração de energia:** dependendo do processo de transformação utilizado a água deverá apresentar graus muito diferentes de qualidade. No aproveitamento da energia potencial ou cinética, a água é utilizada no seu estado natural, podendo-se utilizá-la na forma bruta, captada de um rio, lago, ou outro sistema de reservação, devendo-se impedir que materiais de grandes dimensões, detritos, danifiquem os dispositivos de geração de energia. Já para o aproveitamento da energia térmica, após aquecimento e vaporização da água por meio do fornecimento de energia térmica, a mesma deve apresentar um elevado grau de qualidade, para que não ocorram problemas nos equipamentos de geração de vapor ou no dispositivo de conversão de energia;
- e) **Fluido de aquecimento e/ou resfriamento:** Para a utilização da água na forma de vapor, o grau de qualidade deve ser bastante elevado, enquanto a utilização da água como fluido de resfriamento requer um grau de qualidade bem menos restritivo, devendo-se levar em consideração a proteção e a vida útil dos equipamentos com os quais esta água irá entrar em contato.

Conforme demonstrado para cada tipo de utilização da água existe a necessidade de atendimento de padrões. Para a limpeza dos equipamentos de processo, pode ser necessário utilizar uma água com elevado grau de pureza, principalmente quando os processos a serem desenvolvidos não tolerarem a presença de outras substâncias químicas e/ou microrganismos como, por exemplo, nas indústrias farmacêuticas, eletrônicas, de química fina e fotográfica, entre outras (FIRJAN, 2006).

Conforme apresentado para cada tipo de utilização existe a necessidade de atendimento de padrões de qualidade, o Quadro 4 apresenta alguns dos principais requisitos de qualidade da água para os mais diversas atividades industriais.

Indústria e Processo	Parâmetros (mg/L, exceto quando especificado o valor)														
	Cor (UH)	Alcali- nidade (CaCO ₃)	Cloreto	Dureza (CaCO ₃)	Ferro	Manga- nês	Nitrato	pH (unida- des)	Sulfato	SDT	Sólidos Suspen- sos	Sílica	Calcio	Magne- sio	Bicar- bonato
Textil															
Engomagem	5			25	0,3	0,05		6,5 - 10,0		100	5,0				
Lavagem	5			25	0,1	0,01		3,0 - 10,5		100	5,0				
Branqueamento	5			25	0,1	0,01		2,0 - 10,5		100	5,0				
Tingimento	5			25	0,1	0,01		3,5 - 10,0		100	5,0				
Papel e Celulose															
Processo Mecânico	30		1000		0,3	0,1		6 - 10							
Processo Químico															
Não Branqueado	30		200	100	1,0	0,5		6 - 10		10	50	20	12		
Branqueado	10		200	100	0,1	0,05		6 - 10		10	50	20	12		
Produtos Químicos															
Cloro e Alcali	10	80		140	0,1	0,1		6,0 - 8,5			10		40	8	100
Carvão de alcatrão	5	50	30	180	0,1	0,1		6,5 - 8,3	200	400	5		50	14	60
Compostos orgânicos	5	125	25	170	0,1	0,1		6,5 - 8,7	75	250	5		50	12	128
Compostos inorgânicos	5	70	30	250	0,1	0,1		6,5 - 7,5	90	425	5		60	25	210
Plásticos e resinas	2	1,0	0	0	0,005	0,005	0	7,5 - 8,5	0	1,0	2,0	0,02	0	0	0,1
Borracha sintética	2	2	0	0	0,005	0,005	0	7,5 - 8,5	0	2,0	2,0	0,05	0	0	0,5
Produtos Farmacêuticos	2	2	0	0	0,005	0,005	0	7,5 - 8,5	0	2,0	2,0	0,02	0	0	0,5
Sabão e detergentes	5	50	40	130	0,1	0,1			150	300	10,0		30	12	60
Tintas	5	100	30	150	0,1	0,1		6,5	125	270	10		37	15	125
Madeira e resinas	200	200	500	900	0,3	0,2	5	6,5 - 8,0	100	1000	30	50	100	50	250
Fertilizantes	10	175	50	250	0,2	0,2	5	6,5 - 8,5	150	300	10	25	40	20	210
Explosivos	8	100	30	150	0,1	0,1	2	6,8	150	200	5	20	20	10	120
Petróleo			300	350	1,0			6,0 - 9,0		1000	10		75	30	
Ferro e Aço															
Laminação a quente								5 - 9							
Laminação a frio								5 - 9		10					
Diversas															
Frutas e vegetais enlatados	5	250	250	250	0,2	0,2	10	6,5 - 8,5	250	500	10	50	100		
Refrigerantes	10	85			0,3	0,05									
Curtimento de couro	5		250	150	50			6,0 - 8,0					60		
Cimento		400	250		25	0,5	0	6,5 - 8,5	250	600	500	35			

Quadro 4 - Requisito de qualidade para uso industrial
Fonte: FIRJAN, 2006 (apud NEMEROW; DASGUPTA, 1991)

Os dados apresentados no Quadro 4 são valores indicativos, pois muitos se referem a indústrias de outros países, mas que podem ser úteis para uma avaliação inicial. O grau de qualidade da água requerido para um determinado uso hoje, pode ser muito diferente do grau de qualidade da água que tenha sido utilizada no passado ou que venha a ser utilizado no futuro, pois com o desenvolvimento tecnológico, problemas associados à escassez de recursos naturais e poluição, podem surgir restrições com relação ao uso da água com o grau de qualidade até então considerado adequado (FIRJAN, 2006).

1.5.1 Impurezas Presente na Água

A água possui cinco tipos básicos de contaminantes naturais conforme Quadro 5.

Sólidos em suspensão	Silte, ferro precipitado, colóides, etc.
Sais dissolvidos	Contaminantes iônicos, tais como sódio, cálcio sulfato etc.
Materiais orgânicos	Trihalometanos, ácidos húmicos e outros contaminantes não iônicos.
Microorganismos	Bactérias, vírus, cistos de protozoários, algas, fungos etc.
Gases dissolvidos	Sulfeto de hidrogênio, metano etc.

Quadro 5 - Contaminantes naturais da água
Fonte: SPERLING, 1996

Dos contaminantes descritos acima é importante o reconhecimento quantitativo dos sólidos e dos organismos presente na água (SPERLING, 1996).

Quando à água for incorporado ao produto se faz necessário um controle de qualidade da mesma para atender os padrões legais, a necessidade de aplicação e controle das alterações efetuadas em sua qualidade. Esta avaliação deverá levar em consideração as características físicas, biológicas e químicas da água (SAULCHÚK et al, 2006).

2 EFLUENTES INDUSTRIAIS

Após a utilização das águas pelas indústrias, os diversos resíduos e ou energias são incorporados alterando-lhes as suas características físicas, químicas e sensoriais, gerando assim os efluentes líquidos. De acordo com a Norma Brasileira — NBR 9800/1987, efluente líquido industrial é o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanações de processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico.

Processos produtivos podem gerar efluentes líquidos cujas características físicas, químicas e biológicas do efluente industrial são variáveis com o tipo de indústria, com o período de operação, com a matéria prima utilizada, com a reutilização de água etc. Com isso, o efluente líquido pode ser solúvel ou com sólidos em suspensão, com ou sem coloração, orgânico ou inorgânico, com temperatura baixa ou elevada (SAULCHÚK et al, 2006).

Todo tratamento de efluentes deve satisfazer a legislação que regula a qualidade do efluente final e do corpo receptor. É indispensável, considerar os padrões permitidos para lançamento, a classificação dos rios, a qualidade final requerida após o lançamento, os estudos de impactos, atentando sempre para o que dispõem as normas, resoluções, decretos, leis estaduais e federais (Nuvolari et al, 2010).

2.1 EFLUENTES GERADOS PELA INDÚSTRIA QUÍMICA

A indústria de transformação, apesar de avanços realizados na área ambiental ainda gera efluentes decorrentes do processo produtivo, neste capítulo apresentamos o volume de efluentes gerados pela indústria química por tonelada de produtos fabricados, segundo avaliação do relatório de atuação responsável realizado pela ABIQUIM em 2008. A Figura 3 apresenta o volume de efluente lançado e o custo do tratamento por tonelada de produto.

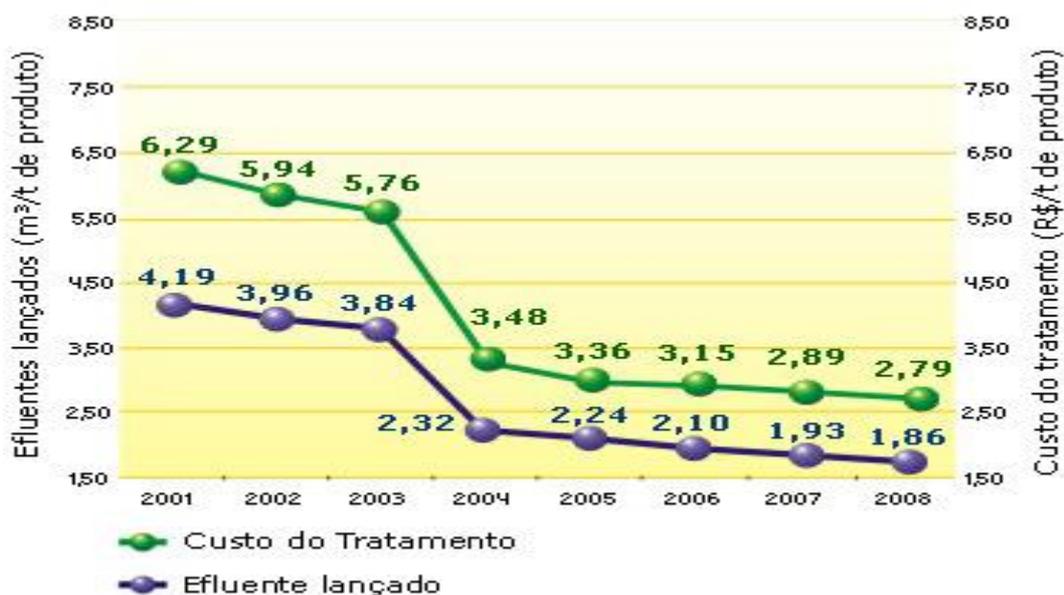


Figura 3 - Custos de tratamento e volume de efluente lançado por tonelada de produtos
Fonte: ABIQUIM, 2008.

Segundo os dados do relatório da ABIQUIM a redução no volume de efluentes registrou queda de, aproximadamente, 55%, no período de 2001 a 2008, trazendo economia de R\$ 3,50 por tonelada de produto fabricado. Com base no ano de 2008, a economia total no tratamento de efluentes atingiu valores da ordem de cento e sessenta milhões de reais, quando comparados aos custos de 2001.

3 REUSO DA ÁGUA

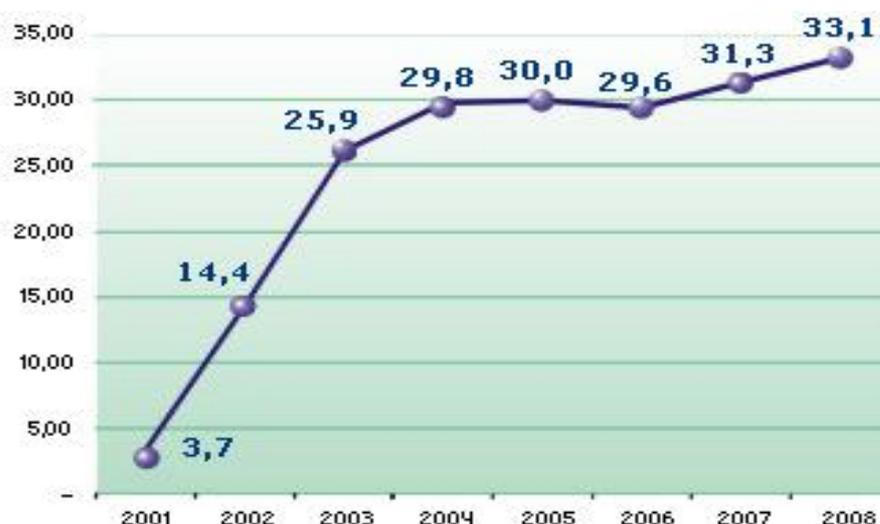
Devido ao crescimento expressivo da indústria química e apesar de investimentos realizados e tecnologias implantadas que diminuíram o volume de água consumida e o volume de efluentes gerados por tonelada produzida, existe uma preocupação do segmento quanto ao futuro do uso dos recursos hídricos assim como a tributação pela captação e futura cobrança pelo lançamento pode-se pensar no reuso para aproveitamento dos efluentes gerados em ciclo fechado.

A reciclagem ou reuso da água já tem sido realizada a milhares de ano pelo ciclo hidrológico. A água presente no solo sofre tratamento por evaporação e condensa depois, na forma de chuva retorna tratada. (SAULCHÚK et al, 2006).

O termo “reuso de água” começou a ser usado na década de 1980, quando as águas para abastecimento foram onerando os produtos que tinham como matéria-prima em sua fabricação a água. Como o preço do produto aliado a sua qualidade, são fatores determinantes para o sucesso de uma empresa, a indústria passou a procurar, dentro de suas próprias plantas, a solução para o problema, tentando reaproveitar o máximo seus próprios efluentes (MANCUSO e SANTOS, 2003).

O reuso da água favorece a redução da demanda sobre os mananciais substituindo a água de qualidade superior por outra de qualidade inferior, que seja compatível com o uso requerido. Utilizando águas de efluentes tratados para atendimento das demandas internas aplica-se o conceito de produtos sustentáveis preservando os recursos hídricos (FILHO, 2008 apud TOMAZELA, 2008).

A Figura 4 apresenta o percentual de reciclo de efluente na Indústria Química.



Fonte: ABIQUIM, 2008

Figura 4 - Percentual de reciclo do efluente na indústria química

Entre 2001 e 2004 o reciclo de efluentes passou de 3,7% para 25,9% incrementando em 700% a reciclagem do mesmo. O percentual de incremento de reciclo entre 2004 e 2008 é de 11%.

O aumento no número de indústrias químicas que passaram a adotar sistemas de tratamento em circuito fechado foi o principal motivo para o aumento registrado a partir de 2003, e que em 2008 atingiu o percentual de 33% de efluentes reciclados (ABIQUIM, 2008).

Para a implantação da prática de reuso é preciso ter consciência de que esta não substitui a necessidade de água total de uma planta industrial, pois existem limitações de ordem técnica, operacional, econômica e ambiental que restringem a utilização em sistemas internos (fechados). Portanto, é necessária uma avaliação do potencial de reuso, com base nas características da água disponível para captação, do efluente gerado e da água para as aplicações de reuso, além dos padrões de emissão de efluentes, bem como de um estudo econômico. Isto deve estar contemplado dentro de um Sistema de Gerenciamento Ambiental (SGA) (NUVOLARI, 2010 apud MARRON JUNIOR, 2006).

O reuso do efluente em ciclo fechado foi impulsionado em 2007 pela portaria FEPAM Nº. 074, de 16 de outubro de 2007, revogada pela Portaria 056 de 2009, que limitou os pedidos de licenciamento de novos empreendimentos ou ampliação de empreendimentos existentes com médio e alto potencial poluidor hídrico nas Bacias Hidrográficas do Rio dos Sinos. Esta restrição foi imposta pelo órgão ambiental

devido a contaminação do Rio dos Sinos que resultou na mortandade de milhares de peixes em outubro de 2006.

3.1 FORMAS DE REUSO DE ÁGUA

Existe uma série de classificações, criadas por diversos autores que levam em consideração vários aspectos relacionados com grau de planejamento, maneira de como ocorre o reuso e finalidade de uso.

O conceito mais antigo sobre reuso de água foi idealizado pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006), onde é definido reuso direto, indireto e reciclagem interna:

- a) Reuso direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquíferos e água potável.
- b) Reuso indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é lançada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída.
- c) Reciclagem: é o reuso da água internamente às instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

Segundo Hespanhol (2003) o reuso para fins industriais pode ser visualizado por diferentes aspectos, conforme as possibilidades existentes no contexto interno ou externo das indústrias. Este autor classifica o reuso industrial nas seguintes modalidades: reuso macroexterno, macrointerno e reuso interno específico ou reciclagem.

Mierzwa (2005) classifica o reuso industrial de forma simplificada sugerindo apenas as modalidades macroexterna e macrointerna, incorporando o reuso interno ou reciclagem dentro da modalidade macrointerna.

3.1.1 Reuso Macroexterno

O reuso macroexterno é definido como o reuso de efluentes provenientes de estações de tratamento administradas por concessionárias municipais, estaduais ou ainda de outras indústrias. Para este caso a indústria deve estudar técnica e financeiramente a viabilização de um sistema de tratamento adicional, necessário para atender a novos padrões de qualidade, mais os de adução e distribuição do efluente (JUNIOR, 2006).

Geralmente, o sistema é viável se existir uma concentração razoável de indústrias que se associem ao programa de reuso, em um raio de aproximadamente cinco quilômetros no entorno da estação de tratamento e recuperação para reuso (MANCUSO e SANTOS, 2003).

3.1.2 Reuso Específico

O reuso específico consiste em efetuar a reciclagem de efluente de quaisquer processos industriais, nos próprios processos nos quais são gerados, ou em outros processos que se desenvolvem em sequência e que suportam qualidade compatível com o efluente (MANCUSO e SANTOS, 2003).

A prática do reuso específico pode ser implantada de duas maneiras distintas (MIERZWA, 2002):

- a) Reuso em cascata: neste caso, o efluente originado por um determinado processo é diretamente utilizado em um processo subsequente, pois suas características são compatíveis com os padrões de qualidade da água utilizada. Este tipo de reuso é conhecido como reuso em cascata. Apesar desta modalidade de reuso parecer simples, em certos casos o efluente do processo anterior não atinge a qualidade do processo seguinte, sendo necessário utilizar os métodos de reuso parcial do efluente e da mistura do efluente com água de abastecimento público.

- b) Reuso de efluentes tratados: é o tipo de reuso mais discutido atualmente e consiste na utilização de efluentes já submetidos a um processo de tratamento. Neste caso a escolha do processo de tratamento em que o efluente será submetido, depende da qualidade exigida pelo local onde a água recuperada será utilizada.

São considerados exemplos típicos de reuso específico às operações de pintura em indústrias automobilísticas e de eletrodomésticos, onde as águas de lavagem que ocorrem sucessivamente, oriundas de decapagem, desengorduramento, fosfatização, etc., podem após tratamento serem recicladas no próprio processo de lavagem(MIERZWA, 2002).

Não existem parâmetros definidos para a qualidade de água de reuso. Cada atividade industrial define o que é padrão aceitável. O projeto para reuso deve iniciar a partir das necessidades e especificações da indústria e de seus processos produtivos. Neste caso a água entra como matéria prima no circuito de controle de qualidade. A falta de parâmetros e a extensa diversidade requerida impedem também a aprovação de uma legislação para regular o reuso (SAULCHUK et al, 2006).

3.2 ASPECTOS LEGAIS DO REUSO DE ÁGUA

O reuso das águas servidas já é uma realidade na vida dos brasileiros, o Brasil ainda não possui uma posição oficial e legal dirigida a esta tecnologia. A falta de legislação específica, aliada a desinformação científica, alimenta o receio de aplicação desta alternativa. Sem reconhecê-la como uma ação viável, técnica e jurídica, o mercado industrial, agropecuário e a sociedade não se sentem segura para sua aplicação (NUVOLARI et al, 2010).

A regulamentação relacionada à utilização dos recursos hídricos para qualquer finalidade tem como objetivo manter uma relação harmônica entre as atividades humanas e o meio ambiente (SAULCHUK et al, 2006).

A constituição Brasileira de 1988 estabelece a dominialidade dos recursos hídricos, que podem ser federais, no caso de corpos de água transfronteiriços, interestaduais ou que faça divisa com um ou mais estados, ou estaduais, se

contidos inteiramente em um único estado da federação (MANCUSO e SANTOS, 2003).

A lei nº. 9.433/97 cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos que segundo Saulchuk et al (2006), estabelece os seguintes instrumentos de gerenciamento:

- Outorga pelo direito de uso de recursos hídricos;
- Cobrança pelo uso da água;
- Enquadramento dos corpos d'água em classes de uso;
- Sistema de informações sobre recursos hídricos;
- Planos de recursos hídricos.

A primeira regulamentação que tratou de reuso de água no Brasil foi a norma técnica NBR 13.696, de setembro de 1997. Na Norma, o reuso é abordado como uma opção à destinação de esgotos de origem essencialmente doméstica ou com características similares.

O tratamento de efluente deverá atender a legislação Resolução CONAMA n.º 357/2005 e CONAMA 430/2010 que define a qualidade de água em função do uso bem como a NBR13969/97, o decreto Federal N.º 5.440, de 04 de maio de 2005 que estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimentos, as resoluções Estaduais (CONSEMA 128/2006 e CONSEMA 129/2006) e Municipais caso existam.

O Ministério da Saúde dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade pela portaria MS 2.914 de 12 de dezembro de 2011.

3.2.1 Critérios para Reuso Industrial

A **U.S. Environmental Protection Agency** (U.S. EPA, 2004) no capítulo quarto do seu guia de reuso de água, sugere diretrizes para o reuso industrial em países e localidades que não possuem legislação definida. O Quadro 6 apresenta estes critérios, diretrizes e tratamento para a prática do reuso industrial.

Tipo de reuso	Tratamento	Qualidade da água recuperada ¹	Monitoramento da água recuperada	Distância mínima de proteção ²	Comentário
Reuso industrial Resfriamento em única passagem (circuito aberto)	Secundário Desinfecção	-pH= 6-9 -DBO≤30 mg/L; -SST ≤30 mg/L; -Coliformes	-pH– semanal; -DBO– semanal; - SST – diário; -Coliformes – diário.	- 90 metros de áreas acessíveis ao público.	-O vapor/ <i>spray</i> levado pelo vento não deve alcançar áreas
Reuso industrial Resfriamento em única passagem(cir cuito aberto)		fecais ≤200 em 100mL ^{4,5} ; -Cl ₂ residual 1mg/L(mínimo) ³ ;	-Cl ₂ residual – contínuo.		acessíveis aos trabalhadores e ao público.
Reuso industrial Recirculação em torres de resfriamento	Secundário; Desinfecção (coagulação química e filtração podem ser necessárias)	-Variável dependendo do número de recirculações. -pH= 6-9 -≤30 mg/L DBO; -≤30 mg/L SST; -≤200 coliformes fecais em 100mL ^{4,5} ; - 1mg/L Cl ₂ residual (mínimo) ³ ;	-pH – semanal; -DBO – semanal; - SST – diário; -Coliformes – diário; - Cl ₂ residual – contínuo.	- 90 metros de áreas acessíveis ao público. Pode ser reduzido ou eliminado se for alcançado um alto grau de desinfecção.	- O vapor/ <i>spray</i> levado pelo vento não deve alcançar áreas acessíveis aos trabalhadores e ao público. Tratamento adicional é habitualmente empregado por usuários para prevenir incrustações, corrosão, atividade biológica, entupimento e espuma.

Fonte: adaptado de USEPA 625/R-04/108(2004)

Quadro 6 - Critérios e diretrizes da U.S.E.P.A para água de reuso industrial

¹ Salvo notações diferentes, a aplicação dos limites de qualidade recomendados para água recuperada é no ponto de descarte das instalações de tratamento.

² Distâncias mínimas de proteção são recomendadas para proteger as fontes de água potável de contaminações e para proteger as pessoas de riscos de saúde devido à exposição à água recuperada.

³ Tempo mínimo de contato: 30 minutos

⁴ Baseado numa média de 7 dias (técnicas usada:fermentação em tubos ou filtro membrana).

⁵ O número de coliformes fecais não devem exceder 800/100mL em nenhuma amostra. Algumas lagoas de estabilização podem estar aptas a atingir estes limites de coliformes sem desinfecção.

A U.S.EPA (2004) também especifica requisitos para a qualidade da água recuperada para reuso em diversos processos industriais. No Quadro 7 são apresentados requisitos de qualidade de água para alguns tipos de processos industriais na cidade de Nova York.

Parâmetro	Papel e celulose			Química	Petro & carvão	Têxteis		Cimento
	Polpa mecânica	Polpa Química parda	Polpa Química branqueada			Sizing Suspension	Lavagem, branqueamento e	
Cu	-	-	-	-	0,05	0,01	-	-
Fe	0,3	1,0	0,05	0,1	1	0,	0,1	2,5
Mn	0,1	0,5	0,05	0,1	-	0,05	0,01	0,5
Ca	-	20	20	68	75	-	-	-
Mg	-	12	12	19	30	-	-	-
Cl	1000	200	200	500	300	-	-	250
HCO ₃	-	-	-	128	-	-	-	-
NO ₃	-	-	-	5,0	-	-	-	-
SO ₄	-	-	-	100	-	-	-	250
SiO ₂	-	50	50	50	-	-	-	35
Dureza	-	100	100	250	350	25	25	-
Alcalinidade	-	-	-	125	-	-	-	400
SDT	-	-	-	1000	1000	100	100	600
SST	-	10	10	5	10	5	5	500
Cor	30	30	10	20	-	5	5	-
pH	6 - 10	6 - 10	6 -10	6,2-8,3	6- 9	-	-	6,5 – 8,5

Fonte: Adanski et al., 2000.adaptado de USEPA 625/R-04/108(2004)
Quadro 7 - Requisitos para a qualidade da água em processos industriais.

Mierzwa (2005) cita que muitas aplicações ao reuso exigem que um número maior de parâmetros sejam avaliados e atendidos, de modo que os riscos ao processo, ao produto ou ao sistema diminuam.

3.3 ESTRATÉGIAS DE PLANEJAMENTO PARA REUSO

O sucesso de planos de reuso depende da maneira e profundidade com que as ações e atitudes a seguir forem efetivamente implementadas (HESPANHOL, 1999).

- a) Critérios de avaliação das alternativas de reuso propostas;
- b) Escolha de estratégias de uso único ou uso múltiplo do efluente;
- c) Provisões gerenciais e organizacionais estabelecidas para administrar o esgoto e para selecionar e implementar o plano de reuso;

<p>Natureza do problema</p> <p>Quais os volumes de efluente produzidos?</p> <p>Onde o efluente é produzido?</p> <p>Quais são as características do efluente produzido?</p> <p>Quais são as alternativas de disposição possível?</p>
<p>Viabilidade legal</p> <p>Usos que podem fazer do efluente, de acordo com a legislação existente, se disponível?</p> <p>Caso não exista legislação específica (nível federal e estadual), que uso pode se fazer do efluente dentro das diretrizes da organização?</p>
<p>Viabilidade política e social</p> <p>Qual a percepção do órgão ambiental quanto ao reuso do efluente?</p> <p>Qual a atitude dos grupos internos onde o efluente tem possibilidade de ser utilizado?</p> <p>Quais são os benefícios potenciais do reuso para o ambiente de trabalho?</p> <p>Quais são os riscos potenciais do reuso?</p>
<p>Viabilidade econômica</p> <p>Quais são os custos de capital envolvido?</p> <p>Quais são os custos de operação e manutenção envolvidos?</p> <p>Qual é o valor da taxa de retorno?</p> <p>Quais são os benefícios do sistema de reuso?</p> <p>Quais são os custos de implantação de um sistema terciário que viabilize o reuso no processo industrial?</p> <p>Qual é a relação custo benefício do projeto de reuso?</p>
<p>Viabilidade operacional</p> <p>São os recursos humanos e a capacidade operacional local adequada para a atividade de operação e manutenção do sistema de tratamento?</p>

Fonte: Hespanhol, 1999 – adaptada
Quadro 8 - Matriz para análise de projetos de reuso

A análise do Quadro 8 observa aplicabilidade da legislação existente no item viabilidade legal, como não existe definição desta, para uso industrial deve-se após sua implantação adaptar os sistemas existentes para seu atendimento.

3.4 TRATAMENTO TERCIÁRIO/AVANÇADO UTILIZADO EM SISTEMA DE REUSO

A grande maioria das indústrias no Brasil apresenta tratamento primário e secundário, geralmente os tratamentos primários e secundários não fornecem água própria para reuso e por isso o tratamento terciário se faz necessário.

Como a utilização da água define o grau de purificação, para que se possa projetar o tipo de tratamento a ser implementado, de forma a alcançarmos um produto final adequado para utilização proposta em projeto, devemos também considerar o tamanho das partículas a serem removidas, assim como a densidade do meio líquido, a temperatura, o pH, ações e reações químicas e biológicas, entre outros. Entende-se como tratamento terciário a tecnologia de remoção de impurezas, aplicada após os tratamentos preliminar, primário, secundário. Nesta fase busca-se a remoção de partículas que não foram removidas nos processos anteriores (NUVOLARI et al, 2010).

O tratamento avançado de efluentes pode remover constituintes, os quais podem ser agrupados em quatro categorias: (1) orgânicos residuais, colóides inorgânicos e sólidos suspensos, (2) constituintes orgânicos dissolvidos, (3) constituintes inorgânicos dissolvidos e (4) constituintes biológicos. Os efeitos potenciais desses constituintes nos efluentes das estações de tratamento de efluentes (ETEs) podem variar consideravelmente. Alguns desses efeitos são listados no Quadro 9 (LAUTENSCHLAGER, 2006).

O tratamento terciário é geralmente constituído de unidades de tratamento físico-químico que têm como finalidade a remoção complementar da matéria orgânica e de compostos não biodegradáveis, de nutrientes, de poluentes tóxicos e/ou específicos de metais pesados, de sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes, e de patogenias por desinfecção dos efluentes tratados. Tem o objetivo de completar o tratamento secundário, sempre que as condições

locais exigirem um grau de depuração excepcionalmente elevado. (NUVOLARI et al, 2010).

Constituinte Residual	Efeito
Colóides orgânicos, inorgânicos e sólidos em suspensão.	
Sólidos em suspensão	Podem causar o depósito de lodos ou interferir na transparência da água.
	Podem prejudicar a desinfecção por proteger os organismos.
Sólidos coloidais	Podem afetar a turbidez do efluente
Matéria Orgânica (particulada)	Pode proteger bactérias durante a desinfecção, pode consumir fontes de oxigênio.
Matéria orgânica dissolvida	
Carbono orgânico total	Pode consumir oxigênio
Orgânicos refratários	Tóxicos para ser humano: carcinogênicos.
Compostos orgânicos voláteis	Tóxicos para ser humano: carcinogênicos, formam oxidantes fotoquímicos.
Compostos farmacêuticos	Impacta espécies aquáticas (ex. disfunções endócrinas, mutação sexual).
Surfactantes	Causam espumas e podem interferir na coagulação.
Matéria inorgânica dissolvida	
Amônia	Aumenta o consumo de cloro para desinfecção.
	Pode ser convertido a nitrato e pode consumir oxigênio.
	Com fósforo, pode induzir o crescimento descontrolado e de algas.(Eutrofização)
	Não ionizada forma produto tóxico aos peixes.
Nitrato	Estimula o crescimento aquático e de algas.
Fósforo	Estimula o crescimento aquático e de algas.
	Pode interferir na coagulação.
	Pode interferir no abrandamento cal-soda.
Cálcio e Magnésio	Aumenta a dureza e sólidos dissolvidos totais.
Sólidos dissolvidos totais	Interfere nos processos industriais e na agricultura.
Biológicos	
Bactérias	Podem causar doenças
Protozoários	Podem causar doenças
Vírus	Podem causar doenças

Fonte: Metcalf & Eddy, 2003 apud Lautenschlager, 2006
 Quadro 9 - Efeitos de Contaminantes em Efluentes

Os principais processos simplificados de tratamento de efluentes líquidos a nível terciário são:

3.4.1 Clarificação

A clarificação é uma tecnologia utilizada para remover partículas coloidais, que conferem cor e turbidez à água. Este processo ocorre através da adição de produtos químicos para oxidação da matéria orgânica, a desestabilização (coagulação) e o crescimento (floculação) das partículas coloidais, de forma a facilitar a sua separação posterior por decantação (MUSTAFÁ, 1998).

Na maioria dos efluentes industriais, muitas vezes os flocos formados necessitam de maior densidade para poderem sedimentar em decantadores, sendo necessário a aplicação de auxiliares de floculação, polieletrólitos que aumentam a velocidade de sedimentação dos flocos e a resistência às forças de cisalhamento. Os testes para escolha da melhor dosagem de insumos químicos podem ser determinados por meio de ensaios em *Jar Test* (VON SPERLING, 1996).

3.4.2 Filtração

A filtração é um importante processo no tratamento de efluentes, comumente utilizada para a remoção de flocos biológicos residuais em efluentes sedimentados do tratamento secundário, e para remoção de precipitados residuais de sais de metais ou precipitação de fosfatos com cal. A filtração é utilizada como operação de pré-tratamento antes do efluente alimentar as colunas de carvão ativado, por exemplo este processo combina mecanismos físicos e químicos de remoção de sólidos, sendo normalmente usado como uma etapa final, imediatamente antes da desinfecção e da disposição final e ou do reuso. O processo de filtração consiste na passagem do efluente através de leito de material granular para remoção de sólidos, o que exige eventuais lavagens com água em contra corrente para remoção do material retido (MANCUSO e SANTOS, 2009).

3.4.3 Carvão Ativado

A adsorção em carvão ativado promove a remoção de matéria orgânica solúvel e é utilizada quando se necessita de tratamento com qualidade elevada, após o tratamento biológico ou após o tratamento físico químico por coagulação/floculação, sedimentação e filtração, sendo considerado um tratamento de polimento (FILHO, 2009).

É um material poroso de origem natural, que possui grande área superficial interna (500 a 1.500 m²/g) desenvolvida durante a ativação por técnicas de oxidação controlada. Todos os materiais que possuem alto percentual de carbono fixo podem ser ativados. O principal objetivo da ativação é a criação de uma estrutura interna altamente porosa necessária para adsorção. O processo de ativação é essencialmente uma oxidação controlada, conduzida em fornos especiais, onde a matéria-prima é submetida a uma carbonização em que a unidade e materiais voláteis são removidos através da elevação da temperatura (MORIKAWA, 1990).

A matéria orgânica adsorve na superfície dos poros das partículas de carvão, até que sua capacidade de adsorção seja exaurida, sendo necessária sua regeneração que é feita por meio do seu aquecimento até volatilização do material adsorvido, tornando os poros do carvão livres e regenerados (FILHO, 2009).

Uma das grandes aplicações do carvão ativado é o tratamento das águas potáveis e industriais e de efluentes líquidos. O Quadro 10 apresenta a eficiência de remoção de alguns compostos orgânicos, organoclorados e cloro pelos processos de adsorção com carvão ativado.

Compostos	Adsorção(%)
Carbono Orgânico total	72 – 82
Cloro	98
Clorofórmio	98,1
2 – Cloronaftaleno	>83
Hexaclorobutadieno	99,9
Hexaclorociclopentadieno	99,9
Hexacloroetano	99,8
Naftaleno	>99,4
Tetracloroeto de carbono	97,3
Tetracloroetano	> 99,7
Tolueno	> 99,9

Fonte: Mustafá, 1998
Quadro 10 - Eficiência de adsorção do carvão ativado

3.5 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A história da TFL do Brasil Ltda iniciou-se em 1944, na forma de uma empresa local fundada com o nome Indústria Química Sul Riograndense, que visava à fabricação de produtos químicos e seu respectivo comércio. Depois de quatro anos, adquiriu sua área atual de produção em São Leopoldo.

Visando a obtenção de tecnologia e equipamentos para dispersões acrílicas no Brasil, a empresa, em 1966 vendeu 20% do seu capital para a indústria Alemã ROHM GmbH. A ROHN comprou sucessivamente todo o capital social, da empresa, nos 12 anos seguintes, dando início à estruturação da empresa com a razão social de Rohm Brasileira Indústria Química LTDA.

Em 1989 foi duplicada a capacidade produtiva, permitindo a diversificação de seus produtos, incluindo uma nova linha destinada ao acabamento de couros. Em 1990 a matriz Rohm GmbH passou a ser controlada pela Huls AG, ramo químico da Veba AG (geração de energia, mineração e serviços e um dos maiores conglomerados indústrias da Alemanha). A Huls do Brasil, de São Paulo foi inaugurada em 1993 denominada a partir de então divisão de vendas Huls.

Em 1º de janeiro de 1996 os departamentos de pele/curtumes do grupo Huls da Alemanha (Rohm GmbH e Stockhausen) e Ciba-Geigy da Suíça, formam uma JOINT-VENTURE conferindo ao grupo a mais completa linha de produtos para tratamento de couro no contexto mundial (TFL).

No ano de 2004, foi inaugurado o centro de desenvolvimento tecnológico couro (CDTC). Único da América latina, que atua com o objetivo de desenvolver artigos juntamente com os clientes interessados em adquirir produtos e serviços da empresa, que busca atualizar-se com tendências da moda para o setor coureiro.

Desta forma, surgiu a TFL do Brasil Ltda que é uma empresa de capital e tecnologia internacional, que possui a sua matriz instalada em Weil AM Rei, Alemanha, unidades produtivas na França, Brasil, Argentina, Itália, China, Índia, Turquia e Estados Unidos, atuando especificamente na produção de produtos químicos destinados a manufatura do couro. A TFL está presente em 90 países, contando com 50 agentes e distribuidores.

3.6 PRODUTOS E MERCADO

A TFL trabalha com uma vasta linha de produtos, voltados para o processo de curtimento de peles, visando à qualidade superior do couro como produto final. Pode-se citar como produtos da empresa desengraxantes, resinas acrílicas, pigmentos, depilantes, descalcinantes, conservantes, recurtentes, agentes para alto esgotamento de cromo e enzimas.

3.7 ABASTECIMENTO DA ÁGUA POTÁVEL NA INDÚSTRIA QUÍMICA PESQUISADA

Neste capítulo apresentamos o abastecimento de água utilizado na indústria objeto desta pesquisa, o balanço hídrico, o consumo de água no processo e o custo atual com o abastecimento.

O abastecimento de água da TFL do Brasil Indústria Química Ltda e realizado pelo SEMAE (Secretaria Municipal de Água e Esgoto) e devido a situação de demanda no Município a Indústria já sente problemas de escassez e sobretaxação de água em períodos de baixa vazão no Rio dos Sinos.

3.7.1 Balanço hídrico

A coleta de informações da quantificação das fontes de captação e devolução de líquidos da empresa TFL foi realizada durante o período de 01 a 31 de janeiro de 2012.

A água utilizada para fabricação de produtos e higiene pessoal é abastecida pela concessionária Municipal de São Leopoldo SEMAE (Secretaria Municipal de Água e Esgoto), a água subterrânea devido à alta contaminação de ferro é impróprio para uso na fabricação de produtos sendo utilizada atualmente para irrigação de jardim, lavagem de embalagens e para o sistema de combate a incêndio. A Tabela 5 apresenta o consumo médio mensal em 2009, 2010 e 2011.

Tabela 1 - Consumo de água na TFL do Brasil Indústria Química Ltda

ANO	Nº de dias trabalhados no ano (dias)	SEMAE (m³)	POÇO (m³)
2009	253	876,75	180,5
2010	250	910,43	83,58
2011	259	863,17	150,65

Fonte: Elaborada pelo autor

O uso adicionado aos produtos fabricado soma 72% do volume total de água consumida da concessionária.

A perda de vapor para a atmosfera ocorre principalmente por vazamentos através de flanges de tubulações, gaxetas e flanges de válvulas, controle de pressão do sistema de vapor analisado foi de no máximo 5%.

Os efluentes líquidos da TFL representam 30,67% do total da água utilizada. Os valores utilizados como referência no cálculo da média mensal de efluentes

tratados tiveram como base os volumes gerados nos anos de 2008, 2009 e 2010 apresentando o valor de 271 m³/mês.

3.7.2 Custo atual

A tarifa média da água de abastecimento varia de acordo com a faixa de consumo conforme apresenta Figura 1.

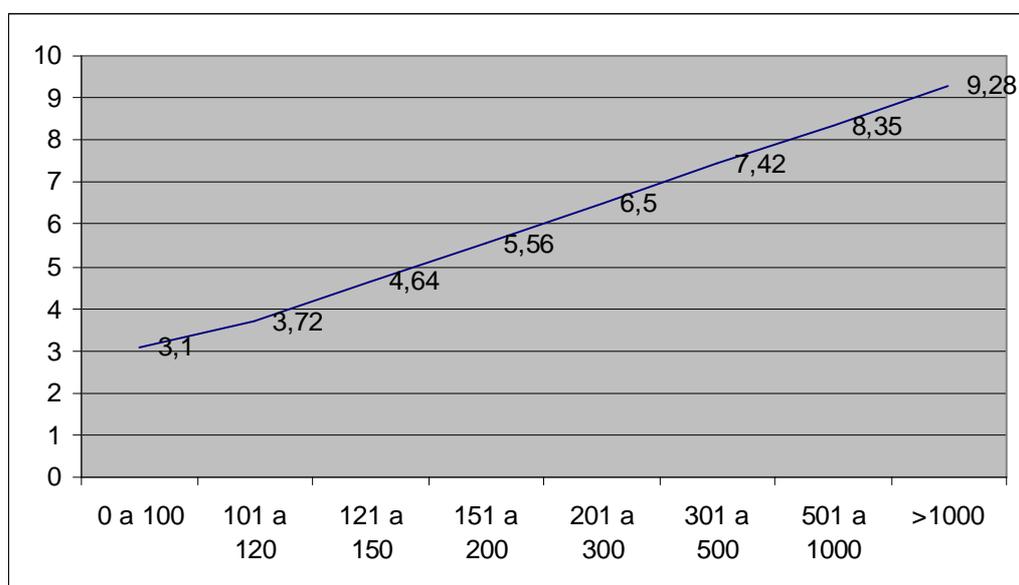


Figura 5- Tarifas da água de abastecimento em 2011

De acordo com o consumo médio de 2011 o valor do metro cúbico ficou na faixa de 501 a 1000 m³, com valor de R\$ 8,35 o metro cúbico. Sendo que o custo anual com o abastecimento foi de R\$ 86417,49.

O estudo prevê o uso da água de captação da chuva, mais o efluente do tratamento secundário e em caso de baixo volume de captação temos a alternativa de tratamento da água subterrânea.

3.8 EFLUENTES GERADOS NA INDÚSTRIA

O sistema de tratamento da TFL do Brasil é responsável pelo tratamento das águas residuais dos processos produtivos, laboratórios de controle de qualidade (LCQ), pesquisa e desenvolvimento (P&D) e aplicação este denominado centro de desenvolvimento tecnológico do couro (CDTC), higienização de embalagens e refeitório industrial.

O sistema de tratamento compreende tratamento preliminar, primário(físico-químico) e secundário (sistema biológico- Lagoa aerada facultativa).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo descreve os métodos empregados no desenvolvimento da pesquisa. O experimento foi realizado no laboratório de controle de qualidade da TFL do Brasil Indústria Química Ltda. As determinações físico-químicas foram realizadas no laboratório da indústria química e parte no laboratório de empresa especializada, localizada no município de Porto Alegre-RS. Inicialmente é apresentada metodologia para a coleta de amostras, em seguida são descritos as diluições efetuadas com as amostras do efluente tratado e da água pluvial. Encerramos o capítulo apresentando os ensaios de bancada bem como as metodologias, os equipamentos e materiais utilizados.

4.1 COLETA DE AMOSTRAS

As coletas das amostras de efluente tratado foram realizadas nos meses de março, abril e maio de 2012. Na coleta foi empregada amostragem composta, durante um período de 3 horas de funcionamento da ETE. Foram coletados na saída do Vertedor Triangular 20 litros de hora em hora compondo uma amostra de 60 litros de efluente tratado. As amostras foram coletadas em duas bombonas plásticas novas, previamente ambientadas com capacidade de 50 litros cada. Estas amostras foram separadas três alíquotas, uma para caracterização físico-química, uma para realização de ensaios de coagulação/floculação/sedimentação e filtração e uma para os testes de diluições.

Para coleta da água da chuva foi utilizada uma bomba diafragma P4 modelo PPAPP/WFS/WF/PTV, marca Wilden para realizar a transferência da tubulação de drenagem para bombonas plásticas novas previamente ambientadas de 50 Litros cada.

Uma amostra foi coletada durante os primeiros 30 minutos de precipitação totalizando 50 litros e uma amostra após a primeira hora de precipitação totalizando

50 litros. Das duas amostras foram retiradas alíquotas de 4 litros para realização de ensaios físico-químicos de caracterização da amostra. A Tabela 1 apresenta o cronograma de coleta das amostras de água do efluente e pluvial.

Tabela 2 - Cronograma de coleta das amostras

Amostras	1.º Coleta	2.º Coleta	3.º Coleta
Efluente Tratado	27/03/2012	09/04/2012	30/05/2012
Água Pluvial	NC*	09/04/2012	30/05/2012

Fonte: Laudos de coleta

*NC: Não coletado

4.2 PREPARO DAS DILUIÇÕES

Das amostras coletadas de efluente tratado e água pluvial, após vigorosa agitação foram retirados 20 litros, desta amostra com auxílio de uma proveta graduada de 1000 mL foram separadas as alíquotas e misturadas nas proporções (efluente:água pluvial) 1:1, 1:2, 1:3 e 1:4, em um segundo frasco de 20 litros novo previamente ambientado.

Estas diluições foram submetidas a determinações laboratoriais, ensaios de coagulação/floculação/sedimentação e filtração. A Tabela 2 apresenta as diluições e os ensaios realizados em cada amostra, bem como os volumes utilizados.

Tabela 3 - Diluições realizadas

Diluição (efluente:água pluvial)	Quantidade de efluente (Litros)	Quantidade de água pluvial (Litros)	Quantidade total de amostra (Litros)
1:1	10	10	20
1:2	7	14	21
1:3	5	15	20
1:4	4	16	20

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 ENSAIOS REALIZADOS

4.3.1 Ensaios de Bancada com Efluente Tratado

A amostra de efluente tratado foi submetida a testes de coagulação/floculação/sedimentação e filtração, em dois diferentes filtros, um com camada de areia e outro com camada de carvão ativado.

As amostras diluídas da primeira alíquota foram submetidas a tratamento de coagulação/floculação e sedimentação. A segunda alíquota foi submetida à filtração com areia e a terceira alíquota foi submetida à filtração com carvão ativado.

4.3.1.1 Teste de Coagulação/Floculação

Os testes de coagulação e floculação foram aplicados na amostra de efluente tratado e nas diluições efetuadas, realizado no laboratório da indústria química empregando-se um *Jar Test* de bancada, Modelo JT102.6, Marca MILAN, com regulador eletrônico de velocidade entre 0 e 180 rpm.

O agente coagulante utilizado foi o policloreto de alumínio – PAC (10% v/v- nome comercial Polifloc18[®] da empresa Matrix), o auxiliar de floculação utilizado foi o FXA6[®] polímero aniônico da empresa Faxon Química (0,1% p/v), a velocidade de rotação e o tempo de mistura utilizados nos testes foram adotados segundo aqueles recomendados por Richter (2009). Após as etapas de mistura rápida e lenta, permitiu-se que os flocos formados sedimentassem.

O Quadro 11 apresenta os dados utilizados no ensaio de coagulação/floculação e sedimentação.

Jarro	Coagulante (ppm)	Floculante (ppm)	Decantação (Segundos)	Limpidez	pH
1	50	5	20	Boa	8,04
2	100	5	20	Boa	8,00
3	150	5	22	Muito Boa	7,96
4	200	5	36	Muito Boa	7,92
5	250	5	45	Muito Boa	7,82
6	300	5	52	Muito Boa	7,73

Quadro 11 - Resultados do ensaio de Jart-Test
Fonte: RICHTER, 2009

Após a sedimentação, se avaliou visualmente os testes e foi escolhida a dosagem do jarro número três, que apresentou melhor características quanto à limpidez, tamanho do floco e tempo de sedimentação.

Na amostra do efluente repetiu-se o teste com a concentração escolhida de coagulante e auxiliar de floculação em seis jarros para termos quantidade suficiente de amostra a ser filtrada. Após a sedimentação a amostra do decantado foi submetida à filtração.

4.3.1.1 Testes de Filtração

Para realização dos testes de filtração, foram montados sistema piloto de filtração composto por um filtro de areia e um filtro de carvão ativado. O equipamento para a realização do processo de filtração em nível piloto consistiu em uma coluna de PVC com 51 cm de altura e 6,2 cm de diâmetro contendo o meio filtrante. Ambas as colunas com altura útil de 45 cm-totalizando área útil de 1357,9 cm². O material filtrante (filtro 1 areia e filtro 2 carvão ativado) foi retido com auxílio de um tecido filtrante colocado no fundo da coluna.

O sistema piloto de filtragem com recheio de areia proposto no experimento foi utilizado 3 Kg do material filtrante a granulometria do material utilizado esta apresentado na Tabela 3.

Tabela 4 - Características físicas e dimensões do filtro de areia

Material	Diâmetro das partículas	Altura do leito (cm)
Areia média	0,6 mm a 2,4 mm	20
Areia Grossa	2,0 a 4 mm	20
Brita Nº. 0	2,4 a 12,5 mm	5

Fonte: elaborado pelo autor

A areia foi lavada várias vezes para retirar partículas que pudessem estar aderidas. Em seguida a areia foi seca em estufa a 50°C.

Na coluna de carvão ativado empregou-se uma amostra de 1 Kg BT FX CATIV G carvão ativado granulado de origem vegetal de primeira calcinação, da empresa Faxon Química, as características do material filtrante estão apresentadas no Anexo I.

Após agitação a amostra foi aplicada no topo da coluna e retirada pelo fundo. Primeiramente no filtro de areia e em seguida no filtro de carvão ativado. Foi utilizada filtragem lenta com taxa de filtração entre 3 a 6m³/m². dia.

4.3.2 Ensaio Físico-químicos

As amostras do efluente tratado, da água pluvial e das quatro diluições foram encaminhadas para análise logo após sua coleta, a Tabela 4 apresenta os parâmetros avaliados, as metodologias usadas, assim como o local de análise.

Tabela 5 - Ensaio físico-químicos e Metodologias utilizadas

Parâmetros	Laboratório	Metodologia
DQO	Interno TFL	SM 5210D
Sólidos Sedimentáveis	Interno TFL	SM 2540 F
Sólidos Suspensos Totais	Interno TFL	SM 2540 D
Sólidos Dissolvidos Totais	Interno TFL	SM 2540 C
Dureza	Interno TFL	SM 2340 C
Alcalinidade Parcial	Interno TFL	SM 2320 B
Nitrogênio Total	Interno TFL	SM 4500 B -N
Nitrogênio Amoniacal	Interno TFL	SM 4500 C -NH ₃

Continua

Conclusão		
Parâmetros	Laboratório	Metodologia
DBO ₅ *	Externo	SM 5210 B
Cor Aparente	Externo	SM 2120 B
Turbidez	Externo	SM 2130 B
Cloretos	Externo	SM 4500 CL-C
Cálcio*	Externo	EPA 200.7– ICP OES
Ferro*	Externo	EPA 200.7 – ICP OES
Magnésio*	Externo	EPA 200.7 – ICP OES
Manganês*	Externo	EPA 200.7 – ICP OES
Coliformes Totais *	Externo	SM 9222 B
Coliformes Termotolerantes*	Externo	SM 9222 D
Contagem de Bactérias heterotróficas*	Externo	SM 9215 D

* apenas para amostras de efluente tratado e água pluvial
 Fonte: elaborado pelo autor

5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos neste trabalho.

Na avaliação da qualidade requerida para água de processo foi definido junto às áreas de pesquisa e desenvolvimento, gerência de produto e gerência industrial da TFL do Brasil, os parâmetros que deveriam ser avaliados e os padrões da água de reuso, pois estes impactam diretamente na qualidade do produto final. A partir destas demandas foi construído o padrão para reuso da água no processo da TFL do Brasil Indústria química Ltda.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE TRATADO PARA REUSO DIRETO

A amostra de efluente tratado avaliada neste trabalho para reuso direto apresentou características conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 6 - Caracterização do efluente tratado

Parâmetros	Unidade	Padrão para reuso	Efluente
Cor Aparente	uH	30	221
Turbidez	UT	10	39,8
Cloretos	mg/L	250	676
Dureza	mg/L	250	289
Sólidos sedimentáveis	mL/L	<0,1	<0,1
DBO ₅	mg/L	5	44
DQO	mg/L	10	156
Cálcio	mg/L	60	76,3
Sólidos suspensos	mg/L	5	2
SDT	mg/L	1000	2502
NTK	mg/L	20	49,9
NA	mg/L	20	44,40
Contagem de bactérias	UFC/mL	Ausência	11800
Coliformes totais	UFC/100 mL	Ausência em 100 mL	8400
Coliformes termotolerantes	UFC/100 mL	Ausência em 100 mL	7200

Fonte: Elaborado pelo autor

Devido à alta contaminação biológica, assim como os parâmetros de cor, turbidez, sólidos dissolvidos, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e cloretos que ultrapassaram os limites definidos para uso no processo produtivo da indústria, conclui-se que os resultados encontrados inviabilizam o reuso direto do efluente tratado.

5.1.1 Ensaios de Bancada com o Efluente Tratado

Este item apresenta os resultados obtidos nos ensaios de bancada realizado com amostra do efluente tratado empregando-se sequencialmente a

coagulação/floculação e sedimentação seguida de filtração. A Figura 6 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 7 - Caracterização do efluente antes e após tratamento

Parâmetros	Unidade	Padrão para reuso	Efluente tratado	Efluente após ensaio	% Remoção
Cor Aparente	uH	30	221	127	42,5
Turbidez	UT	10	39,8	25,2	36,7
Cloretos	mg/L	250	676	493	27,07
Dureza	mg/L	250	289	265	8,3
Sólidos sedimentáveis	mL/L	<0,1	<0,1	0	100
DBO ₅	mg/L	5	44	40	9,1
DQO	mg/L	10	156	140	10,3
cálcio	mg/L	60	76,3	52,2	31,6
Sólidos suspensos	mg/L	5	<2,0	2	-
SDT	mg/L	1000	2394	2502	-
Contagem de bactérias	UFC/mL	Ausência	11800	20700	-
NTK	mg/L	20	49,9	30,14	40,0
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	20	44,40	30,63	31,0
Coliformes totais	UFC/100mL	Ausência em 100 mL	8400	12200	-
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	Ausência em 100 mL	7200	11200	-

Fonte: Elaborado pelo autor

Quando comparados ao efluente bruto o efluente tratado apresenta remoção total de sólidos sedimentáveis, remoção de 40% para cor e nitrogênio total, acima de 30% para turbidez, cálcio e nitrogênio amoniacal, mesmo assim ainda apresenta resultados de cor, turbidez e cloretos acima do limite exigido.

Os parâmetros apontam também característica de patogenicidade acima do ideal para o reuso do efluente mesmo após o tratamento físico-químico. Os parâmetros microbiológicos avaliados apresentaram acréscimo na contagem de coliformes totais, termotolerantes e bactérias heterotróficas, esta contaminação pode estar relacionada com a manipulação das amostras durante os ensaios, ou com a

camada filtrante que apesar da lavagem e secagem a 50°C em estufa, podem ter contribuído não foram suficientes para remoção destes contaminantes.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA PLUVIAL

A água pluvial foi coletada em duas datas, conforme descrito na metodologia, na primeira caracterização foram realizadas duas coletas distintas, uma nos primeiros 30 minutos de precipitação e outra após sessenta minutos de precipitação.

Este capítulo apresenta a comparação entre as amostras coletadas após 30 minutos e 60 minutos, bem como a caracterização realizada na segunda data.

5.2.1 Resultados da Caracterização da Primeira Coleta

Na primeira verificação realizada foram comparados os resultados de análise da amostra coletada durante os trinta minutos iniciais de precipitação e após uma hora de precipitação. Os valores encontrados na verificação das duas amostras foram comparados entre si e com os padrões de qualidade para reúso. Foram avaliados os parâmetros de alcalinidade parcial, dureza, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total e amoniacal, cloretos, cálcio, magnésio, manganês, ferro, demanda química de oxigênio, sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos totais, coliformes totais, coliformes termotolerantes e contagem de bactérias heterotróficas das duas amostras analisadas comparando-as com os limites do padrão de qualidade definido pela empresa. A Tabela 8 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 8 - Resultados comparativos 30' e 60'

Parâmetros	Unidade	Padrão para reuso	Pluvial 30'	Pluvial 60'
Cor Aparente	uH	30	344	36
Turbidez	UT	10	51,2	6,48
Alcalinidade Parcial	mg/L	125	0	0
Cloretos	mg/L	250	74,1	12,6
Manganês	mg/L	10	0,204	0,019
Magnésio	mg/L	0,1	5,32	0,76
Ferro	mg/L	0,1	15,2	1,05
Dureza	mg/L	250	143	18,47
Sólidos sedimentáveis	mL/L	<0,1	0,3	0,1
DBO ₅	mg/L	5	57	3
DQO	mg/L	10	226,56	9,44
cálcio	mg/L	60	23,4	6,28
Sólidos suspensos	mg/L	5	152	26
SDT	mg/L	1000	608	36
Contagem de bactérias	UFC/mL	Ausência	26600	1770
NTK	mg/L	20	51,83	3,05
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	20	48,96	0
Coliformes totais	UFC/100mL	Ausência em 100 mL	17900	500
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	Ausência em 100 mL	7600	330

Fonte: Elaborado pelo autor

A amostra coletada nos trinta minutos iniciais de precipitação não atende os limites de qualidade de reuso para os parâmetros DBO, nitrogênio total e amoniacal, turbidez, ferro, DQO, cor aparente e sólidos suspensos totais. A amostra coletada após os sessenta minutos de precipitação atende todos os limites dos parâmetros analisados exceto para o parâmetro ferro, que apresentou 0,95 mg/L, acima do limite para reuso. Este resultado e os parâmetros biológicos excluem também a amostra coletada após sessenta minutos de precipitação, pois a amostra apresenta resultados acima dos limites de qualidade para reuso definidas pela empresa, o que inviabiliza seu uso.

Avaliou-se que a amostra de água pluvial dos primeiros trinta minutos de precipitação apresenta qualidade muito inferior à amostra de água pluvial coletada após uma hora de precipitação. Este fato pode estar relacionado a material depositado nos telhados, calhas e pavimentações principalmente pela contribuição das cargas e descargas de produtos químicos realizados na área fabril, que nos minutos iniciais acaba sendo arrastados para a drenagem.

5.2.2 Resultados da Caracterização da Segunda Coleta

Por apresentar melhores resultados à amostra de água pluvial coletada após os 60 minutos de precipitação foi utilizada nos ensaios de diluição, quanto da primeira data de coleta, quanto para a segunda. As amostras foram caracterizadas em cada coleta.

A Tabela 9 apresenta os resultados dos ensaios realizados na amostra de água pluvial após 60 minutos de precipitação nas duas coletas realizadas (09/04/2012 e 30/05/2012) durante a realização da pesquisa.

Tabela 9 - Resultados da caracterização da amostra de água pluvial após 60 minutos de precipitação

Parâmetros	Unidade	Padrão para reuso	Pluvial 60' 1.º Coleta	Pluvial 60' 2.º Coleta
Cor Aparente	uH	30	46	61
Turbidez	UT	10	6,48	8,77
Alcalinidade Parcial	mg/L	125	0	0
Cloretos	mg/L	250	12,6	2,78
Manganês	mg/L	10	0,019	0,017
Magnésio	mg/L	0,1	0,765	0,872
Ferro	mg/L	0,1	1,055	0,533
Dureza	mg/L	250	18,47	19,6
Sólidos sedimentáveis	mL/L	<0,1	0,3	0,1
DBO ₅	mg/L	5	3	3
DQO	mg/L	10	9,44	0
cálcio	mg/L	60	6,278	6,409

Continua

Conclusão

Parâmetros	Unidade	Padrão para reuso	Pluvial 60' 1.º Coleta	Pluvial 60' 2.º Coleta
Sólidos suspensos	mg/L	5	26	16
SDT	mg/L	1000	36	44
Contagem de bactérias	UFC/mL	Ausência	1770	83000
NTK	mg/L	20	3,05	6,32
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	20	0	5,79
Coliformes totais	UFC/100mL	Ausência em 100 mL	500	55000
Coliformes termotolerantes	UFC/100mL	Ausência em 100 mL	330	14000

Fonte: Elaborado pelo autor

Avaliados os resultados encontrados na caracterização da amostra de água pluvial das coletas realizadas durante a pesquisa observa-se que a água pluvial não pode ser aplicada diretamente no processo produtivo sem tratamento, pois não atende aos padrões de qualidade para cor aparente, ferro, sólidos suspensos totais, e para os parâmetros microbiológicos.

Observa-se que há variabilidade nos resultados principalmente para os parâmetros biológicos avaliados, isto pode estar relacionado ao grande período de estiagem entre a coleta de abril/2012 e de maio/2012 provocando acúmulo de poluentes na drenagem pluvial e ou na área dos telhados.

5.3 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DAS DILUIÇÕES

Este item apresenta os resultados obtidos com as diluições efetuadas com o efluente tratado à água pluvial, que foram avaliados os resultados para a diluição de 1:1, 1:2, 1:3 e 1:4, sem nenhum tratamento adicional. As diluições foram realizadas para as duas coletas realizadas (09/04/2012 e 30/05/2012), na amostra pluvial coletada com 60 minutos após o início da chuva.

A Tabela 10 apresenta os resultados da caracterização da diluição 1:1 de efluente com água pluvial dos parâmetros alcalinidade parcial, nitrogênio amoniacal e total, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, turbidez, sólidos dissolvidos totais, demanda química de oxigênio, cor aparente, dureza e cloretos.

Tabela 10 - Resultados da caracterização da amostra diluída 1:1

Parâmetros	Unidade	Padrão para reuso	Diluída 1:1 1º Coleta	Diluída 1:1 2º Coleta
Cor Aparente	uH	30	126	91
Turbidez	UT	10	18,5	13,3
Cloretos	mg/L	250	311	250
Dureza	mg/L	250	226,3	201,3
Sólidos sedimentáveis	mL/L	<0,1	0,1	<0,1
DQO	mg/L	10	94,4	90,6
Sólidos suspensos	mg/L	5	5	10
SDT	mg/L	1000	856	1007
NTK	mg/L	20	16,26	33,69
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	20	8,09	23,16
Alcalinidade Parcial	mg/L	125	9,87	13,16

Fonte: Elaborado pelo autor

A amostra diluída 1:1 da primeira coleta apresentou os parâmetros de turbidez, cor aparente, demanda química de oxigênio e cloretos fora dos limites da qualidade do padrão para reuso, enquanto que na amostra diluída 1:1 da segunda coleta apenas alcalinidade parcial e sólidos sedimentáveis dureza e cloretos atendem ao padrão de reuso.

A Tabela 11 apresenta os resultados da caracterização da diluição 1:2 de efluente com água pluvial dos parâmetros alcalinidade parcial, nitrogênio amoniacal e total, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, turbidez, sólidos dissolvidos totais, demanda química de oxigênio, cor aparente, dureza e cloretos.

Tabela 11 - Resultados da caracterização da amostra diluída 1:2

Parâmetros	Unidade	Padrão para reuso	Diluída 1:2 1º Coleta	Diluída 1:2 2º Coleta
Cor Aparente	uH	30	83	92
Turbidez	UT	10	12,1	13,5
Cloretos	mg/L	250	147	183
Dureza	mg/L	250	140,5	152,8
Sólidos sedimentáveis	mL/L	<0,1	0,2	<0,1
DQO	mg/L	10	94,4	56,88
Sólidos suspensos	mg/L	5	9	4
SDT	mg/L	1000	436	747
NTK	mg/L	20	11,18	23,16
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	20	6,03	17,37
Alcalinidade Parcial	mg/L	125	7,52	1,97

Fonte: Elaborado pelo autor

A diluição 1:2 da primeira coleta apresentou os parâmetro de sólidos suspensos totais, turbidez, cor aparente, demanda química de oxigênio acima dos limites do padrão de reuso, sendo que a amostra diluída 1:2 da segunda coleta apresentou os parâmetros de nitrogênio total e turbidez, cor aparente, demanda química de oxigênio acima dos limites para qualidade de reuso no processo produtivo.

A Tabela 12 apresenta os resultados da caracterização da diluição 1:3 de efluente com água pluvial dos parâmetros alcalinidade parcial, nitrogênio amoniacal e total, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, turbidez sólidos dissolvidos totais, demanda química de oxigênio, cor aparente, dureza e cloretos.

Tabela 12 - Resultados da caracterização da amostra diluída 1:3

Parâmetros	Unidade	Padrão para reuso	Diluída 1:3 1º Coleta	Diluída 1:3 2º Coleta
Cor Aparente	uH	30	83	82
Turbidez	UT	10	12,1	12
Cloretos	mg/L	250	85,2	134
Dureza	mg/L	250	118,55	119,7
Sólidos sedimentáveis	mL/L	<0,1	0,2	<0,1
DQO	mg/L	10	84,96	23,7
Sólidos suspensos	mg/L	5	6	4
SDT	mg/L	1000	436	931
NTK	mg/L	20	9,15	15,79
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	20	4,33	10,52
Alcalinidade Parcial	mg/L	125	1,97	3,76

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme resultados apresentados na Tabela 12 a amostra diluída 1:3 da primeira coleta apresentou os parâmetros de sólidos suspensos totais, turbidez cor aparente e demanda química de oxigênio fora dos limites da qualidade do padrão para reuso, enquanto que na amostra diluída 1:3 da segunda coleta turbidez, cor aparente e demanda química de oxigênio não atendem ao padrão de reuso.

A Tabela 13 apresenta os resultados da caracterização da diluição 1:4 de efluente com água pluvial dos parâmetros alcalinidade parcial, nitrogênio amoniacal e total, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais, turbidez sólidos dissolvidos totais, demanda química de oxigênio, cor aparente, dureza e cloretos.

Tabela 13 - Resultados da caracterização da amostra diluída 1:4

Parâmetros	Unidade	Padrão para reuso	Diluída 1:4 1º Coleta	Diluída 1:4 2º Coleta
Cor Aparente	uH	30	75	82
Turbidez	UT	10	10,8	12
Cloretos	mg/L	250	79,9	103
Dureza	mg/L	250	98,5	103,85
Sólidos sedimentáveis	mL/L	<0,1	0,2	<0,1
DQO	mg/L	10	75,52	23,7
Sólidos suspensos	mg/L	5	12	3
SDT	mg/L	1000	436	401
NTK	mg/L	20	7,11	11,58
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	20	3,81	8,95
Alcalinidade Parcial	mg/L	125	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se que a amostra diluída 1:4, Tabela 13, da primeira coleta apresentou os parâmetros de sólidos suspensos totais, turbidez e cor aparente, demanda química de oxigênio fora dos limites da qualidade do padrão para reuso para os parâmetros avaliados, enquanto que na amostra diluída 1:4 da segunda coleta turbidez cor aparente, demanda química de oxigênio fora não atende ao padrão de reuso.

A Tabela 14 apresenta o percentual de redução obtido apenas com a diluição em todos os parâmetros avaliados.

Tabela 14 - Redução da concentração de poluentes com as diluições efetuadas

Parâmetros	Diluição 1:1 Redução (%)	Diluição 1:2 Redução (%)	Diluição 1:3 Redução (%)	Diluição 1:4 Redução (%)
AP	21	54	80	100
NA	47	60	75	78
NTK	34	55	67	75
SST	56	62	71	56
Turbidez	42	53	56	59
SDT	40	62	56	73
DQO	40	51	65	68
Cor Ap.	42	53	56	58
Dureza	49	65	71	76
Cl	28	58	72	77

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisaram-se os resultados de todas as diluições efetuadas e verificou-se características semelhantes para todas as amostras, visto que a água pluvial e a água do efluente tratado possuem elevada turbidez e cor aparente, avaliou-se que mesmo diluindo as amostras na proporção 1:4 com água pluvial e obtendo com isso 68% de remoção as amostras ainda apresentam altas concentrações de DQO.

O parâmetro de turbidez apresentou redução máxima de 59% e mesmo obtendo este percentual de redução não atendem os padrões estabelecidos no padrão para reuso, que é de 10 NTU.

Assim, nenhuma diluição atende aos padrões de reuso para o processo produtivo, mas esta condição já era esperada visto que a água pluvial captada também não atendeu 100% dos parâmetros avaliados. Porém esta avaliação era importante para determinar quais parâmetros seriam alterados, para então verificar a possibilidade de após as diluições tratar estas amostras em processo físico-químico. Os parâmetros cloretos, dureza, cálcio e sólidos dissolvidos totais após a diluição passaram a atender os padrões de reuso.

5.4 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DAS DILUIÇÕES APÓS ENSAIOS REALIZADOS

5.4.1 Resultados de Cor e Turbidez após Ensaio de Coagulação e Floculação

Este item apresenta os resultados da caracterização das amostras diluídas que foram submetidas a ensaios de floculação/coagulação seguidos de sedimentação.

Inicialmente por questão econômica, avaliou-se os parâmetros de cor e turbidez, caso estes apresentem resultados dentro da qualidade de reuso passa-se a avaliar os demais.

A Tabela 15 apresenta os resultados de cor e turbidez das amostras diluídas, após o ensaio realizado, 1:1, 1:2, 1:3 e 1:4.

Tabela 15 - Resultados obtidos com testes de coagulação/floculação

Amostras	Cor (U.C)	Remoção (%)	Turbidez (NTU)	Remoção (%)
Diluição 1:1	126		18,5	
Coagulação/floculação	120	4,76	16,0	14,0
Diluição 1:2	83		12,1	
Coagulação/floculação	80	3,61	12	0,83
Diluição 1:3	83		12,1	
Coagulação/floculação	80	3,61	12,0	0,83
Diluição 1:4	75		10,8	
Coagulação/floculação	75	0	10,0	7,4

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados apresentaram valor de remoção máxima para cor de 4,76% e remoção de turbidez máxima de 14,0%.

A análise dos resultados dos ensaios de coagulação/floculação indica que somente o processo de coagulação/floculação não é suficiente para obtenção da qualidade de água desejada para cor aparente (30), turbidez (10) reutilização no processo produtivo.

Durante a realização dos testes não houve formação de flocos, conseqüentemente não houve alteração das características das amostras avaliadas, condições estas confirmadas nos resultados.

5.4.2 Resultados dos Testes de Filtração

5.4.2.1 Resultados de Cor e Turbidez após Filtração com Filtros de Areia

Este item apresenta os resultados da caracterização de cor e turbidez das amostras diluídas que foram submetidas a ensaios de filtração com sistema piloto de filtro de areia.

Nesta etapa seguiu-se o mesmo critério, verificou-se cor e turbidez, caso estes apresentem resultados dentro da qualidade de reuso passa-se a avaliar os demais.

A Tabela 16 apresenta os resultados de cor e turbidez das amostras diluídas 1:1, 1:2, 1:3 e 1:4, são comparados os valores antes e após o ensaio realizado assim como o percentual de remoção.

Tabela 16 - Resultados obtidos com teste de filtros de areia

Parâmetros	Cor (U.C)	Remoção (%)	Turbidez (NTU)	Remoção (%)
Diluição 1:1	126		18,5	
Ensaio com filtro de areia	120	4,76	14	24,32
Diluição 1:2	83		12,1	
Ensaio com filtro de areia	80	3,61	10,5	13,22
Diluição 1:3	83		12,1	
Ensaio com filtro de areia	79	4,82	10,5	13,22
Diluição 1:4	75		10,8	
Ensaio com filtro de areia	70	6,67	8,0	25,9

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise dos resultados apresentados indica que com ensaio utilizando filtros de areia ocorre maior remoção de turbidez do que os ensaios de coagulação/floculação, porém somente a filtração não atende a qualidade desejada para reuso nos parâmetros cor e turbidez.

Assim, mesmo após a diluição de 1:4, com tratamento físico-químico e filtração com filtros de areia não é possível o reuso.

5.4.2.2 Resultado de Cor e Turbidez Após Filtração com Filtros de Carvão Ativado

Este item apresenta os resultados da caracterização de cor e turbidez das amostras diluídas que foram submetidas a ensaios de filtração com sistema piloto de filtro de carvão ativado.

Nesta etapa seguiu-se o mesmo critério, verificou-se cor e turbidez, caso estes apresentem resultados dentro da qualidade de reuso passa-se a avaliar os demais.

A Tabela 17 apresenta os resultados de cor e turbidez das amostras diluídas 1:1, 1:2, 1:3 e 1:4, são comparados os valores antes e após o ensaio realizado assim como o percentual de remoção.

Tabela 17 - Resultados obtidos com testes de filtros de carvão ativado

Parâmetros	Cor (U.C)	Remoção (%)	Turbidez (NTU)	Remoção (%)
Diluição 1:1	126		18,5	
Ensaio com filtro de carvão ativado	10	92,1	4,0	78,38
Diluição 1:2	83		12,1	
Ensaio com filtro de carvão ativado	6	92,8	3,0	75,21
Diluição 1:3	83		12,1	
Ensaio com filtro de carvão ativado	5	94,0	2,0	83,47
Diluição 1:4	75		10,8	
Ensaio com filtro de carvão ativado	5	93,3	2,0	81,5

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise dos resultados apresentados nos ensaios de filtração utilizando carvão como meio filtrante atingiram remoção de 94% para cor aparente e 83,47% para turbidez. Estes valores atendem a qualidade requerida para reuso no processo produtivo em todas as diluições.

Observando os valores de cor e turbidez conclui-se que a remoção que apresentou maior eficiência foi com filtro de carvão ativado, nesta condição uma nova bateria de ensaios de mistura de diluição foi proposto, submetendo todas as diluições novamente a filtração e após caracterizou-se o efluente filtrado conforme item 6.5.

5.4.2.3 Resultados da Caracterização do Efluente Após Tratamento com Filtro de Carvão Ativado

Observado que a cor e turbidez atendem aos padrões de qualidade desejada, foram conduzidos novos ensaios com as amostras diluídas somente aplicando a filtração com filtro de carvão ativado, as amostras diluídas foram então caracterizadas atendendo os demais parâmetros para determinar a qualidade da água para reuso.

A Tabela 18 apresenta os resultados dos parâmetros alcalinidade parcial, nitrogênio amoniacal e total, sólidos sedimentáveis, turbidez, demanda química de oxigênio, cor aparente, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, dureza e cloretos avaliados em cada amostra diluída.

Tabela 18 - Resultado da caracterização das diluição 1:1 após filtração com carvão ativado

Parâmetros	Unidade	Padrão para reuso	Diluição 1:1 Filtrada	Diluição 1:2 Filtrada	Diluição 1:3 Filtrada	Diluição 1:4 Filtrada
Cor Aparente	uH	30	30	26	26	22
Turbidez	UT	10	7,17	8,08	4,99	4,42
Cloretos	mg/L	250	197	161	113	71,5
Dureza	mg/L	250	89,5	74,97	96,92	79,58
Sólidos sedimentáveis	mL/L	<0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
DQO	mg/L	10	3,76	0	0	0
Sólidos suspensos	mg/L	5	5	3	4	3
SDT	mg/L	1000	969	690	540	399
NTK	mg/L	20	8,13	5,08	3,05	5,08
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	20	5,08	2,54	0	0
Alcalinidade Parcial	mg/L	125	31,96	20,68	20,68	20,68

Fonte: Elaborado pelo autor

O tratamento físico-químico após filtração em filtro com carvão apresentou resultados dentro dos limites estabelecidos para água de reuso para todos os parâmetros analisados, atendendo desta forma a qualidade desejada.

Os parâmetros que não foram definidos limites máximos apesar de serem de grande importância para o setor podem ser avaliados considerando os resultados de acompanhamento do controle de qualidade dos produtos pilotos que serão produzidos com a água filtrada nas duas piores condições de diluição 1:2 e 1:1.

É importante observar que será necessário submeter à água de reuso a um tratamento de desinfecção visto que os resultados para parâmetros microbiológicos apresentam concentrações elevadas, e podem impactar na qualidade dos produtos fabricados.

CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou reunir a captação de água da chuva o reuso do efluente, criando um sistema de circuito fechado sem necessidade de descarte da água de reuso, pois ela passa a ser usada como matéria prima, de maneira que não ocorra à concentração desta no novo efluente gerado, podemos citar que esta pesquisa e sua futura implantação podem ter um marco pioneira na área do segmento das indústrias químicas do setor coureiro.

O tratamento proposto por filtração com carvão ativado para o efluente secundário da ETE avaliada, diluído previamente com água pluvial apresentou resultado satisfatório e apresenta-se como uma proposta viável para o reuso de água na indústria e uma possível solução para a racionalização desse bem e preservação ambiental.

As características da água pluvial podem variar devido ao volume de precipitação, espaçamento entre uma e outra precipitação, assim como pela movimentação de cargas e concentração de poluentes dos telhados, calhas e pavimentação. Ainda precisa ser avaliada a característica do efluente final após abastecimento com água de reuso.

Após acompanhamento destas variáveis a implantação do sistema de reuso permitirá obter uma economia anual de consumo de água de abastecimento público em até 100%, o que representaria 12000 m³/ano, dependendo basicamente dos volumes de precipitação que ainda precisam ser avaliados para que se possa ser apresentados dados mais precisos quanto aos valores de redução.

Além disso, o sistema proporcionará a redução do volume de efluente lançado no corpo receptor, em aproximadamente 15m³/ dia, possibilitando a redução do número de parâmetros monitorados e sua freqüência ou ainda a liberação do sistema de automonitoramento (SISAUTO), gerando também retorno financeiro.

O tema de reuso de água no Brasil, ainda é pouco explorado e não existe regulamentação específica, estando ainda em fase inicial de formulação de propostas de resoluções legais, a finalidade da discussão é estimular a reflexão e análise do assunto, possibilitando fornecer subsídios para agregar considerações a

propostas de trabalho e/ou de instrumentos legais, apresentando alternativas que agreguem valor econômico e que estimulem as indústrias a acreditarem que não existe alternativa viável do que o caminho sustentável no consumo.

A tendência atual é de se considerar a água residuária tratada como um recurso hídrico a ser utilizado para diversos fins, apostando que em um futuro muito próximo seja definida no Município de São Leopoldo a cobrança pela captação, e pelo lançamento de efluentes no Rio dos Sinos conforme já menciona a Lei Municipal, incluindo a sobre taxaçaõ da água de abastecimento no uso Industrial. A utilização da água de reuso significa um aumento na oferta de água para vários fins, liberando os recursos hídricos disponíveis para utilização em outros usos onde há maior exigência de qualidade, tais como o abastecimento humano assim como a disponibilidade de recurso natural para questões de futuro como o aumento da produtividade e a competitividade no mercado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIQUIM. Relatório de atuação responsável. Disponível em: <http://www.abiquim.org.br/atuacaoresponsavel/relatorio_ar2009eng/meioambiente.asp> acessado em 04 de abril de 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13696**: tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 9800**: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente: **Resolução 430, de 13 de maio de 2011**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011. p. 1-8. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 05 jan. 2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 18 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 05 jan. 2012.

_____. Presidência da república. Casa Civil. Subchefia de assuntos jurídicos. **Decreto nº 5.440, de 04 de maio de 2005**. Brasília: Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2004-2006/2005/Decreto/D5440.htm>. Acesso em 23 abril 2012.

_____. Presidência da república. Casa Civil. Subchefia de assuntos jurídicos **Decreto nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Brasília: Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em 23 abril 2012.

_____. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Disponível em: <<http://setrisustentabilidade.blogspot.com.br/2012/01/portaria-2914-ministerio-da-saude-agua.html>>. Acesso em 23 abril 2012.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 128/2006**. Disponível em: <<http://www.mp.rs.gov.br/ambiente/legislacao/id4890.htm>> Acesso em: 20 março 2012.

CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 129/2006**. Disponível em: <<http://www.mp.rs.gov.br/ambiente/legislacao/id4890.htm>> Acesso em: 20 março 2012.

COSTA, Regina P., TELLES, Dirceu D. Reuso da água – **conceitos, teorias e práticas**. 2.^a edição, Editora Edgard Blücher Ltda- 2010. São Paulo-SP.

Eugene W. RICE, Rodger B. BAIRD, Andrew D. CLESCERIAPHA; **Standard methods for the examination of Water and Wastewater**, 22th ed., Water Environment Federation: Washington, 2012.

FILHO, Adão Silva. **Tratamento terciário de efluente de uma indústria de refrigerantes visando ao reuso – Um estudo de caso**. 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

FIRJAN- Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. **Manual de conservação e reuso da água nas indústrias**. Rio de Janeiro, RJ: DIM, 2006.

FORNARI, Mara. Apesar de tudo, 2011 não foi tão ruim para a indústria química. **Química industrial**, São Paulo, SP, n.134, p. 24-25, jan.2012.

FIESP- Federação das Indústrias Do Estado de São Paulo. **Conservação e reúso da água: manual de orientações para o setor industrial**. v. 1. 2004. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/ambiente/reúso.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2011.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE)** versão 2.0. D.O.U, Setembro de 2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/concla/pub/revisao2007/PropCNAE20/EstruturaDetalhadaCNAE_CNAEFiscal2_Atualizada.pdf>. Acesso em 22 abril 2012.

LAPOLLI, F.R. **Biofiltração e micro filtração tangencial para tratamento de esgoto sanitário**. (Tese doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo. 1998.

LAUTENSCHLAGER, S.R. **Otimização do processo de ultra filtração no tratamento avançado de efluentes e águas superficiais.** Tese (doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1998.

MANCUSO, P.S.S; SANTOS, H.F., **Reuso de água.** NISAM – USP, Barueri, SP, 2003.

MARTINS G. **Benefícios e Custos do Abastecimento de Água e Sanitário em pequenas comunidades.** (Dissertação de mestrado), Faculdade de saúde Pública da Universidade de São Paulo. São Paulo: 1995.

MORIKAWA, L. **Introdução ao Carbono Ativado.** Curitiba, Indústrias Químicas Carbomafra S.A., 1990.

MUSTAFA, S. George. **Reutilização de Efluentes Líquidos em Indústria Petroquímica.** (Tese mestrado) - Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Salvador, Bahia. 1998.

NUVOLARI, Ariovaldo et al. **Reuso da Água: Conceitos, teorias e Práticas.** 2ª edição. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, SP, 2010.

OLIVEIRA, E. C. M. **Desinfecção de efluentes sanitários tratados através da radiação ultravioleta.** (Tese Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

PADILLA, W. **El uso de la fertirrigación em cultivos de flores en latinoamericana.** In: Fertirrigação: citros, flores, hortaliças. FOLLEGATI, M.V. (coord.) Guaíba – RS. Agropecuária, 355-392 p., 1999.

PIVELI, R.P. **Avanços no Tratamento Biológico de efluentes.** Workshop. “Avaliação de Impactos e Desenvolvimento de Tecnologias de Tratamento”. Setembro 2007.

PRODANOV, C. Cleber; FREITA S, C. Ernani. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 3. ed. 3. reimpressão. Novo Hamburgo, RS: Feevale, 2009.

RICE, Eugene W., BAIRD Rodger B., CLESCERI Andrew D. C; *Standard methods for the examination of Water and Wastewater*, 22th ed., Water Environment Federation: Washington, 2012.

REBOUÇAS, A.C. BRAGA B.; TUNDISI J. (org). **Água doce no mundo e no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo: Escrituras. 717 p., 1999.

ROCHA, Lucas G. **Reuso da água em indústrias**. Dossiê Técnico. Minas Gerais, MG: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais / CETEC, junho 2011.

SABESP. **Coleta e Transporte de efluentes: Tratamento Metropolitano**. Disponível em: [www.sabesp.com.br/O que Fazemos/](http://www.sabesp.com.br/O_que_Fazemos/) acessado em 12/09/ 2011.

SAULCHÚCK, Carla A. et al. **Manual de conservação e reuso de água para a indústria**. São Paulo, SP. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/ambiente/reuso.pdf>. Acessado em 10.08.2011.

SILVA, José Orlando Paludetto. **Introdução ao processo de separação por membranas**. GEASANEVITA, 2005. Disponível em: [http://www.geasanevita.com.br/MG APRESENTAÇÃO%20MEMBRANAS.pdf](http://www.geasanevita.com.br/MG_APRESENTAÇÃO%20MEMBRANAS.pdf). Acesso em 19 de outubro de 2011.

SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DO RIO GRANDE DO SUL (SINDIQUIM). Nossas empresas. Disponível em: http://www.sindiquim.org.br/pg.php?pg=nossas_empresas#geral> acesso em 22 abril 2012.

UNESCO. **Água para todos, Água para la vida**. Informe de lãs Naciones Unidas sobre el Dessarrollo de los recursos Hídricos em el Mundo. 36 p.2004.

UNIÁGUA – Universidade da água. **Água no planeta**. Disponível em: www.uniaqua.org.br/aquaplaneta.htm>. Acesso em 10 de março de 2012.

VON SPERLING, M. **Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à qualidade das e ao tratamento de esgotos**. V.1. Belo Horizonte: ABES, 1995.

VON SPERLING, M. **Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Lagoas de Estabilização**.V.3. Belo Horizonte: ABES, 1996.

WHO- World health Organization. **Guidelines for the safe use of wastewater, Excreta and Greywater; Vol. 2. wastewater use in agriculture. Vol 2. wastewater and excreta use in aquaculture**, Genebra, suíça:2006.

U.S. EPA United States Environmental Protection Agency (2004), Guidelines for water reuse. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, EUA.

Disponível

em:<<http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/smallsystems/pubs/625r04108.pdf>>.

Acesso em 07 de abril de 2012.

ANEXOS