



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E
AMBIENTAL

CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DO EFLUENTE DE
LAVAGEM EM EMPRESA DE RECICLAGEM DE PLÁSTICOS PARA
FINS DE REUSO

Elisângela Garcia Santos Rodrigues

João Pessoa – Paraíba

Março – 2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E
AMBIENTAL

CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DO EFLUENTE DE
LAVAGEM EM EMPRESA DE RECICLAGEM DE PLÁSTICOS PARA
FINS DE REUSO

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre.

Elisângela Garcia Santos Rodrigues
Orientador: Prof. Dr. Rênio Felix de Sena
João Pessoa – Paraíba
Março - 2013

R696c Rodrigues, Elisângela Garcia Santos.
Caracterização e tratamento do efluente de lavagem em
empresa de reciclagem de plásticos para fins de reuso /
Elisângela Garcia Santos Rodrigues.-- João Pessoa, 2013.
88f.
Orientador: Rênio Felix de Sena
Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT
1.Efluente - tratamento. 2.Reciclagem. 3.Reuso. 4.Processo
Fenton. 5.Coagulantes.

UFPB/BC

CDU: 351.777.61(043)

Elisângela Garcia Santos Rodrigues

**CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DO EFLUENTE DE LAVAGEM EM
EMPRESA DE RECICLAGEM DE PLÁSTICOS PARA FINS DE REUSO**

Dissertação aprovada em ____/____/____ como requisito para
a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e
Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade
Federal da Paraíba.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Rênio Felix de Sena - (UEPB -Orientador)

Profa. Dra. Elisângela Maria Rodrigues Rocha - Examinador Interno -
(UEPB – Membro Interno)

Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima - (UEPB – Membro Externo)

Dedico este trabalho aos meus pais, Martinho e Criselides. Ao meu esposo Iri van pelo amor,
incentivo e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, autor e consumidor da minha fé, que nunca desistiu de cumprir os planos que determinou para minha vida, muito obrigada.

Aos meus pais, Martinho e Criselides, pelo esforço e perseverança na minha formação intelectual e acadêmica.

Ao meu esposo Iriwan pelo incentivo, paciência, companheirismo e amor incondicional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rênio Felix de Sena, pela confiança, paciência, apoio, disposição, sempre auxiliando em todas as etapas deste trabalho.

A toda equipe do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, coordenação, professores.

Ao Laboratório de Saneamento da UFPB, na pessoa da Prof^a. Dra. Carmem Lúcia pela contribuição, assim como ao técnico Romildo.

Ao Laboratório de Carvão Ativado, por oferecer equipamentos que auxiliaram no andamento desse trabalho, na pessoa do Prof. Dr. Emerson.

Ao aluno de Iniciação Científica José Luiz pela paciência comigo, estando sempre disponível, auxiliando nas etapas dos experimentos dessa pesquisa.

Ao administrador da recicladora de plásticos Sr. Francisco, por permitir a pesquisa, disponibilizando amostras do efluente.

A Química Lúcia Raquel que não mediu tempo e esforço, auxiliando nessa pesquisa, sempre disponível para coleta das amostras.

Aos colegas de mestrado Eudes Bonfim e Herbert, pelo incentivo e ajuda nos momentos difíceis no decorrer desse curso.

Aos meus irmãos, Edson, Edina, Etienne e Eliene, pela confiança e por acreditarem nas minhas conquistas.

A minha tia Dra. Iris (*In Memoriam*), por ter sido um espelho e uma das maiores incentivadoras na minha vida acadêmica.

Aos examinadores que fizeram parte da banca de defesa desse mestrado.

A CAPES pelo financiamento da bolsa, nos últimos quatro meses.

A todos que contribuíram para realização dessa pesquisa.

RESUMO

Nas etapas do processo de reciclagem, a lavagem dos plásticos produz um efluente de elevada carga orgânica que requer tratamento para o descarte. Com intuito de avaliar a carga orgânica, os parâmetros físico-químicos foram analisados possibilitando estabelecer a melhor forma de tratamento para reciclagem do efluente tratado, gerado na lavagem dos plásticos de uma recicladora para fins de reuso. A coleta foi feita no tanque de lavagem no final de cada ciclo de lavagem em torno das 12h00. A partir dos resultados obtidos surge à necessidade do tratamento do efluente, tanto para enquadrá-lo nos parâmetros de descarte estabelecidos pela legislação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), quanto para reusá-lo dentro da própria recicladora. Como proposta foi utilizado para o tratamento do efluente de lavagem o processo de coagulação/ floculação, sendo aplicados três tipos de coagulantes (cloreto férrico, sulfato de alumínio e policloreto de alumínio) em dosagens na faixa de 5mg.L^{-1} a 65mg.L^{-1} e o processo oxidativo avançado Fenton. Para o efluente em estudo, concluiu-se que o cloreto férrico tem uma maior eficiência na redução dos parâmetros analisados pH, turbidez, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos Suspensos Totais (SST), Carbono Orgânico Total (COT) em relação ao sulfato de alumínio e o policloreto de alumínio, quando comparados as características físico-químicas do efluente bruto. Através das análises foi possível constatar que o processo Fenton apresentou uma eficiência em média 92% de turbidez e 94% de DQO, DBO 90,5% em tempo de reação de 60 minutos com agitação em que o efluente tratado apresenta valores compatíveis para o reuso.

Palavras - chave: Efluente, reuso, tratamento, Fenton, coagulantes.

ABSTRACT

In the steps of the process of plastics recycling, the washing process produces an effluent with high organic load that requires treatment for disposal. In order to evaluating the organic load physicochemical parameters were analyzed in order to establish the best form of treatment for the effluent reuse in a plastic recycler at the washing process. Sample collection was made in the washing tank at the end of the washing process at determined cycles around 12:00h. According to the obtained results the need arises for the treatment of effluent, both to frame it in the discard parameters established by the legislation of the national council of the environment (CONAMA), and to reuse it inside the recycler. As proposal was used for washing effluent treatment the coagulation/flocculation process, where was applied three types of coagulants (ferric chloride, aluminum sulfate and polychloride aluminum) at doses ranging from 5mg.L^{-1} of 65mg.L^{-1} and the Fenton oxidative process. For the effluent under study, it was concluded that the ferric chloride has a higher efficiency in the reduction of parameters analyzed, turbidity, pH, COD, BOD, TSS and TOC in relation to sulfate aluminum e polychloride aluminum, when comparing the physical and chemical characteristics of raw and treated effluent. Through the analysis it was found that the Fenton process has an efficiency on average of 92% of turbidity and 94% of COD and 90,5% of BOD, in reaction time of 60 minutes with agitation magnetic. The treated effluent presents values compatible for reuse.

Key - words : wastewater, reuse, treatment, Fenton, coagulants

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Fluxograma de reciclagem mecânica na empresa.....	20
Figura 02	Processo de triagem para separação do material.....	20
Figura 03	Tanque de moagem e moinho de pré-lavagem.....	21
Figura 04	Secadora.....	21
Figura 05	Processo de Aglutinação.....	22
Figura 06	Processo de extrusão e ensacamento do material reciclado.....	22
Figura 07	Pelletes.....	23
Figura 08	Representação de uma partícula coloidal.....	32
Figura 09	Localização da recicladora no Distrito Industrial.....	40
Figura 10	Efluente Gerado na lavagem dos plásticos.....	41
Figura 11	Tanque de lavagem na empresa.....	43
Figura 12	Amostra de Efluente Coletado.....	43
Figura 13	pHmetro.....	44
Figura 14	Turbidímetro.....	45
Figura 15	Kit para incubação da análise de DBO.....	45
Figura 16	Digestor Solab Dry Bloch Sl 20.....	46
Figura 17	Cápsula em evaporação e estufa.....	47
Figura 18	Forno mufla.....	48
Figura 19	Pastel UV Secoman.....	48
Figura 20	Jarros com amostras de efluente bruto.....	50
Figura 21	Fluxograma coagulação/ floculação para tratamento do efluente.....	51
Figura 22	Efluente no agitador magnético.....	52
Figura 23	Fluxograma do tratamento POA – Fenton.....	53
Figura 24	Efluente Bruto.....	55
Figura 25	Remoção de turbidez com relação à dosagem de cloreto férrico teste - 01.....	58
Figura 26	Remoção de DQO, DBO e ST relação dosagem de cloreto férrico teste – 01.....	59
Figura 27	Remoção de turbidez com relação dosagem de sulfato de alumínio teste 01.....	60
Figura 28	Remoção de DQO, DBO e ST relação ao sulfato alumínio teste –	

	01.....	61
Figura 29	Remoção de turbidez com relação à dosagem de PAC teste - 01.....	62
Figura 30	Remoção de DQO, DBO e ST com relação à dosagem de PAC teste - 01.....	62
Figura 31	Clarificado do efluente após tratamento de coagulação/floculação – teste 01.....	63
Figura 32	Remoção de turbidez com relação à dosagem de cloreto férrico teste 02.....	65
Figura 33	Remoção de DQO, DBO e ST relação à dosagem de cloreto férrico teste 02.....	66
Figura 34	Remoção de turbidez relação à dosagem de sulfato de alumínio teste 02.....	67
Figura 35	Remoção de DQO, DBO e ST relação ao sulfato de alumínio teste 02.....	68
Figura 36	Remoção de turbidez com relação à dosagem de PAC teste 02.....	68
Figura 37	Remoção de DQO, DBO e ST com relação à dosagem de PAC teste 02.....	69
Figura 38	Clarificado do efluente após tratamento de coagulação/floculação – teste 02.....	70
Figura 39	Remoção de TSS, COD, BOD, TOC de cloreto férrico/Poliacrilamida.....	72
Figura 40	Remoção de TSS, COD, BOD, TOC em relação ao cloreto férrico teste 03.....	73
Figura 41	Remoção de TSS, COD, BOD, TOC relação Sulfato de Alumínio teste 03.....	74
Figura 42	Remoção de TSS, COD, BOD, TOC em relação à dosagem de PAC teste 03.....	75
Figura 43	Clarificado do efluente após tratamento de coagulação/floculação – teste 03.....	75
Figura 44	Clarificado do tratamento de coagulação/floculação tratamento POA Fenton.....	79

LISTA DE TABELA

Tabela 1	Benefício da água de reuso.....	25
Tabela 2	Datas das coletas de efluente da recicladora de plásticos.....	49
Tabela 3	Características do Efluente Bruto.....	54
Tabela 4	Maior percentual de remoção de turbidez, DBO, DQO, ST teste 01.....	63
Tabela 5	Maior percentual de remoção de turbidez, DBO, DQO, ST teste 02.....	70
Tabela 6	Maior percentual de remoção, TSS BOD, COD, TOC para cada agente coagulante no teste 03.....	76
Tabela 7	Maior percentual de remoção entre tratamentos POA ao efluente teste 01.....	78
Tabela 8	Maior percentual de remoção entre tratamentos POA ao efluente teste 02.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

APHA - *American Public Health Association*

Al₂(SO₄)₃ – Sulfato de Alumínio

T1, T2, T3 – Teste 1, 2 e 3

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COT – Carbono Orgânico Total

DBO₅ – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DBO₅/ DQO – Razão adimensional para avaliação da biodegradabilidade

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EPA - Agência de Proteção Ambiental

FeCl₃ – Cloreto Férrico

H₂O - Água

HCl – Ácido Clorídrico

NaOH – Hidróxido de Sódio

NTU – *Number of Transfer Units* (Unidade Nefelométrica de Turbidez)

•OH - Radical Hidroxila

PAC – *Poly Aluminium Chloride*

PE – Polietileno

POAS – Processo de Oxidação Avançados

PP - Polipropileno

pH - Potencial Hidrogeniônico

ST - Sólidos Totais

STV - Sólidos Totais Voláteis

STF - Sólidos Totais Fixos

SST – Sólidos Totais Suspensos

WHO - *World Health Organization* (Organização Mundial da Saúde)

SUMÁRIO

Capítulo I.....	14
1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 <i>Hipóteses.....</i>	15
1.2 <i>OBJETIVOS.....</i>	16
1.2.1 <i>Objetivo Geral.....</i>	16
1.3.1 <i>Objetivos Específicos.....</i>	16
Capítulo II.....	17
2. ASPECTOS TEÓRICOS E REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 <i>RECICLAGEM DE PLÁSTICOS.....</i>	17
2.2.1 <i>Reciclagem Química.....</i>	18
2.2.2 <i>Reciclagem Energética.....</i>	19
2.2.3 <i>Reciclagem Mecânica.....</i>	19
2.2 <i>ETAPAS DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE PLÁSTICOS NA EMPRESA....</i>	20
2.3 <i>RECURSOS HÍDRICOS.....</i>	23
2.4 <i>REUSO DE ÁGUA.....</i>	24
2.4.1 <i>Tipos de Reuso de Água.....</i>	26
2.4.2 <i>Aplicações do Efluente Tratado.....</i>	28
2.5 <i>EFLUENTE INDUSTRIAL.....</i>	28
2.5.1 <i>Tecnologias e Tratamentos de Efluentes industriais.....</i>	30
2.5.2 <i>Coagulação/Floculação.....</i>	30
2.5.3 <i>Mecanismos de Coagulação.....</i>	31
2.5.4 <i>Coagulantes.....</i>	33
2.5.5 <i>Floculação.....</i>	35
2.5.6 <i>Sedimentação e Decantação.....</i>	36
2.5.7 <i>Processos de Oxidação Avançada.....</i>	37
2.5.8 <i>Fenton.....</i>	38
CAPÍTULO III.....	40
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
3.1 <i>Caracterização da Área de Estudo.....</i>	40
3.1.1 <i>Descrição do Efluente Tratado.....</i>	41
3.2 <i>Reagentes.....</i>	42

3.3	<i>Equipamentos.....</i>	42
3.4	METODOLOGIA.....	42
3.4.1	<i>Coleta do Efluente.....</i>	42
3.4.2	<i>Caracterização do Efluente.....</i>	42
	<i>pH.....</i>	44
	<i>Turbidez.....</i>	44
	<i>Demanda Bioquímica de oxigênio.....</i>	45
	<i>Demanda Química de Oxigênio.....</i>	45
	<i>Sólidos Totais.....</i>	46
	<i>Sólidos Totais Voláteis.....</i>	47
	<i>Sólidos Totais Fixos.....</i>	48
	<i>Carbono orgânico Total.....</i>	49
3.4.3	COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO(TESTE DE JARROS).....	49
	<i>Determinação da melhor faixa de pH e do tempo de sedimentação.....</i>	49
	<i>Determinação da concentração dos coagulantes.....</i>	50
	<i>Determinação da concentração do auxiliar de floculação.....</i>	51
3.3.4	TRATAMENTO COM PROCESSO DE OXIDAÇÃO AVANÇADA FENTON.....	52
	CAPÍTULO IV.....	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.1	<i>Caracterização Físico-química do Efluente Gerado.....</i>	56
4.2	<i>Coagulação/Floculação com coagulantes.....</i>	56
4.2.1	<i>Comparação da eficiência entre os coagulantes para teste 01.....</i>	57
	<i>Cloreto Férrico.....</i>	57
	<i>Sulfato de Alumínio.....</i>	59
	<i>Policloreto de alumínio.....</i>	60
4.2.2	<i>Comparação da eficiência entre os coagulantes para teste 02.....</i>	64
	<i>CloretoFérrico.....</i>	64
	<i>Sulfato de Alumínio.....</i>	66
	<i>Policloreto de alumínio.....</i>	68
4.2.3	<i>Comparação da eficiência entre os coagulantes para teste 03.....</i>	71
	<i>Cloreto Férrico e poliacrilamida.....</i>	71
	<i>Cloreto Férrico.....</i>	72

<i>Sulfato de Alumínio.....</i>	73
<i>Policloreto de Alumínio.....</i>	74
4.2.4 <i>Comparação do tratamento coagulação/floculação POA- Fenton Teste 01 e 02.....</i>	76
CAPÍTULO V.....	80
5 CONCLUSÃO.....	80
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	81
REFERÊNCIAS.....	82

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado da população e o avanço tecnológico vêm proporcionando impactos no meio ambiente, uma vez que a descoberta de novos materiais explora demasiadamente os recursos naturais, causando seu empobrecimento e sua escassez para as futuras gerações.

Na execução do processo de reciclagem de plásticos são gerados nas indústrias resíduos que requerem tratamento adequado. Uma alternativa fundamental para que haja uma melhor vivência do ser humano é reduzir o desperdício, favorecendo a preservação do meio ambiente e conservando os recursos naturais em que a medida sugerida capaz de contribuir para redução dos resíduos é a reciclagem.

De acordo com Valle (1995) apud Rolim (2000) a reciclagem tem como maiores estímulos dois fatores: possibilita reduzir substancialmente o volume dos resíduos urbanos a serem dispostos, ou tratados; permite a recuperação de valores contidos nesses resíduos urbanos que, de outra forma, seriam perdidos.

A partir desse contexto é observado que, além da geração de resíduos, outro problema ambiental discutido atualmente na comunidade científica e que representa uma situação preocupante, é o desperdício de água. Os processos industriais lideram em gastos excessivos de volume de água, gerando um efluente de elevado valor de carga orgânica descartado no meio ambiente de forma incorreta ou sem nenhum tipo de tratamento.

Atualmente algumas iniciativas no Brasil buscam regulamentar o uso racional dos recursos hídricos, bem como o reuso e a reciclagem da água. É de fundamental importância que as águas descartadas provenientes da lavagem dos plásticos sejam tratadas e devolvidas ao ambiente em condições iguais ou melhores que as iniciais, e na mesma quantidade.

A partir desta problemática, alternativas promissoras para o tratamento de efluentes gerados na lavagem de plásticos de recicladoras são estudadas, em que testes de coagulação/floculação são realizados com coagulantes químicos: sulfato de alumínio, cloreto férrico, policloreto de alumínio, em concentrações diferentes e processos de oxidação avançada, a reação de Fenton em que tem sido eficientemente usado como processo químico para pré-tratamento e tratamento de águas residuais.

Outra maneira de favorecer a redução da demanda explorada dos mananciais, que possibilita a substituição do uso de água potável por outra de qualidade inferior e compatível com o uso específico é o reuso do efluente tratado. As diversas atividades do processo produtivo proporcionam o aumento da demanda de água, principalmente para uso industrial, exigindo dos setores industriais a busca do tratamento dos efluentes antes de serem lançados para os corpos receptores.

Através do reuso do efluente tratado ocorre a substituição de fontes, e dessa forma, grandes volumes de água potável podem ser economizados, utilizando-se águas originárias desses efluentes. O tratamento para o reuso se torna bastante interessante na redução de custos, como também na minimização de descartes de poluentes.

Moreno (2007) afirma que o reuso da água passa a ser considerado como uma alternativa econômica e ambientalmente racional e eficaz, que permite minimizar a geração de despejos líquidos, assim como o consumo de água.

O objetivo deste trabalho visa caracterizar e tratar o efluente gerado da lavagem de plásticos de uma recicladora localizada no Distrito Industrial de João Pessoa/ PB, buscando a possibilidade do reuso.

1.1 - Hipóteses

- O reuso do efluente descartado na lavagem dos plásticos depois de submetido às etapas de tratamento físico-químicas, reduzirá os impactos ocasionados aos corpos d'água e proporcionará diversos benefícios ao meio ambiente.
- É viável fazer o tratamento do efluente descartado na lavagem dos plásticos para fins de reuso e considerar como uma alternativa ecologicamente correta.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1- Objetivo Geral

Caracterizar e tratar o efluente gerado da lavagem de plásticos de uma recicladora localizada no Distrito Industrial de João Pessoa/ PB, buscando a possibilidade do reuso para reduzir o volume de água captada para o processo e os impactos ambientais provenientes do lançamento das descargas em corpos d'água.

1.3.1- Objetivos Específicos

- Diagnosticar o tipo de efluente a ser tratado por meio de análises físico-químicas.
- Analisar e caracterizar a qualidade físico-química do efluente que é descartado da lavagem dos plásticos de uma recicladora em João Pessoa/ PB.
- Identificar a eficiência dos coagulantes químicos adotados no tratamento do efluente oriundo da lavagem dos plásticos.
- Avaliar e comparar as técnicas de tratamentos por coagulação/ floculação e decantação e o processo Fenton visando o reuso do efluente tratado.

CAPÍTULO II

2 - ASPECTOS TEÓRICOS E REVISÃO DA LITERATURA

2.1 – RECICLAGEM DE PLÁSTICOS

Segundo Adam (2001) apud Valt (2004), reciclar é economizar energia, poupar recursos naturais e trazer de volta ao ciclo produtivo o resíduo que seria jogado fora, para que o mesmo seja usado novamente como matéria prima.

A agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (USEPA), apud Piva e Wiebeck (2004), define reciclagem como “a coleta, processamento, comercialização e uso dos materiais considerados lixo”.

Em Parteca *et al.* (2007) a reciclagem é definida como o resultado de uma série de atividades através das quais materiais que se tornariam lixo são desviados, sendo colocados, separados e processados para serem usados como matéria prima na manufatura de bens, feitos anteriormente apenas com matéria prima virgem.

Geralmente, os plásticos são separados por cor, ou seja, isola-se o que é branco do que é colorido, uma vez que o primeiro pode dar origem a produtos claros, enquanto o segundo destina-se a artefatos escuros (MANO *et al.*, 2005).

Espíndola (2004) explica as vantagens da reciclagem, dentre essas, são citadas as seguintes vantagens: econômicas, ambientais, ecológicas e sociais.

A respeito da vantagem econômica é possível destacar a redução no consumo de energia elétrica em comparação com a fabricação a partir do material com a resina virgem.

Tratando-se das vantagens ambientais constata-se a diminuição da quantidade de resíduos dispostos em aterros. Tomando como referência as vantagens ecológicas, destaca-se a conservação dos recursos naturais, como água, solo, minerais.

A redução no consumo de água se dá em relação à quantidade de água necessária para preparação de materiais reciclados, com a quantidade de água consumida para produção de materiais virgens.

As vantagens da reciclagem para os aspectos sociais é a geração de renda, através da venda do material reciclado, tornando essa prática favorável para os trabalhadores não qualificados no cumprimento dos requisitos do mercado de trabalho dos países em desenvolvimento.

Conforme Rolim (2000) a reciclagem, além dos aspectos ambientais positivos obtidos, é uma atividade que pode ser viável economicamente, capaz de gerar ganhos econômicos e gerar empregos, como, por exemplo, em cooperativas, onde é realizada a triagem de lixo seco para venda a empresas recicladoras.

Lima (2001) aponta que a sociedade contemporânea vem acentuando cada vez mais o uso do plástico. No entanto, o processo produtivo para obtenção desse material ocasiona agressões ao meio ambiente devido à produção de resíduos.

Alguns países, a exemplo da Alemanha, apresentam um consumo de plásticos aproximadamente 70 kg/ hab/ ano e nos Estados Unidos e no Japão 50 kg/ hab/ ano. O Brasil apresenta o valor de 10 kg/ hab/ ano. A partir de tais dados, fica evidente que em função da necessidade de reduzir os espaços ocupados por aterros sanitários e de que os resíduos de plástico contêm um valor econômico, a viabilização da reciclagem de plásticos é algo bastante desejável, embora na prática ainda seja pequeno o volume de plástico que é reciclado no Brasil estima-se que 400.000 ton/ ano dos plásticos consumidos sejam reciclados, das quais 12.000 ton/ ano provenientes de resíduos.

Rocha *et al.* (2005) destacam que a produção desenfreada de lixo ocasiona impactos ao meio ambiente, alertando governos e sociedade a promover estudos e alternativas para minimizar a degradação da natureza e proporcionar bem estar social.

A lenta degradação dos materiais plásticos e o aumento dos níveis de produção contribuem na crescente quantidade de lixo descartado pelos consumidores que conseqüentemente vêm se acumulando no meio ambiente, sobrecarregando os aterros sanitários e causando a impressão de poluição descontrolada (ACHILIAS *et al.*, 2008).

Segundo Wiebeck e Piva (1999) apud Kipper (2005), para os processos de reciclagem são apresentadas três formas de classificação aplicadas aos resíduos plásticos: reciclagem química, energética e mecânica, na qual a reciclagem mecânica é empregada no processo da referida empresa em estudo.

2.2- TIPOS DE RECICLAGEM

2.2.1- Reciclagem Química

A reciclagem química tem por objetivo tratar misturas de plásticos, proporcionando a redução de custos para pré-tratamento, custos de coleta e seleção. Além disso, a reciclagem

química permite produzir plásticos novos com a mesma qualidade de um polímero original (PLASTIVIDA, 2004).

Esse tipo de reciclagem tem como vantagem uma maior tolerância às impurezas, em relação à reciclagem mecânica, e uma menor produção de gases e considerável economia na purificação do gás obtido, em relação à reciclagem energética (SPINACE *et al.*, 2005).

2.2.2- Reciclagem Energética

Busca a recuperação da energia contida nos plásticos na forma de energia elétrica ou térmica, mediante a destruição do resíduo plástico por combustão.

O Brasil ainda não faz a reciclagem energética, mas países que adotam essa modalidade, como a Áustria, Suécia, Alemanha e Japão, além de criarem novas matrizes energéticas, conseguem reduzir em até 90% o volume de seus resíduos, índice relevante para cidades com problemas de espaço para a destinação dos resíduos sólidos urbanos (ROLIM, 2001).

2.2.3- Reciclagem Mecânica

Consiste na conversão física dos materiais plásticos em grânulos, que serão transformados novamente em outros produtos.

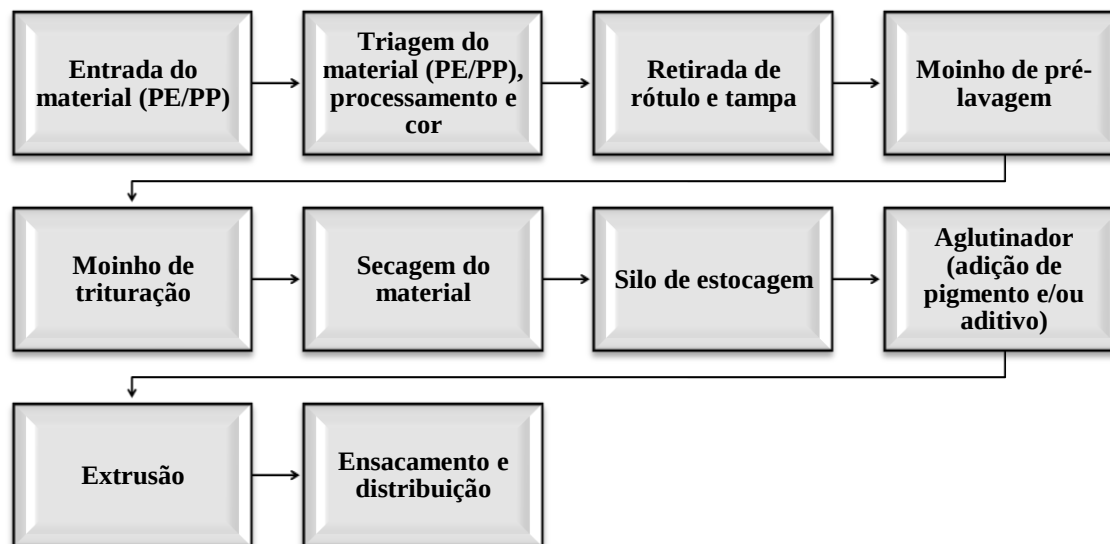
De acordo com Plastivida (2004), as principais vantagens no processo de reciclagem mecânica são:

- A reciclagem mecânica é um negócio acessível a pequenos e médios empresários.
- A tecnologia envolvida na reciclagem mecânica para a produção de itens de reduzido grau de exigência técnica (baldes, vassouras, sacos de lixo etc.) é facilmente absorvida.
- Como são processos físicos, os cuidados ambientais requerem investimentos menores em comparação aos outros processos, concentrando-se nas emissões e aproveitamento de águas e controle no descarte dos resíduos.
- O sistema também permite absorver mão de obra não qualificada.
- Poupa matéria prima, reduz o volume de lixo, contribui com a vida útil dos aterros sanitários.
- Geração de novos empregos, tanto formais quanto informais, o aumento da competitividade e a melhoria da qualidade dos produtos.

2.2.4- Etapas do processo de Reciclagem dos plásticos na Empresa

Para execução das etapas realizadas para reciclagem mecânica (Figura 1) o material dos resíduos é separado por catadores nos lixões, via coleta seletiva ou em usinas de reciclagem.

Figura 1. Fluxograma de reciclagem mecânica na empresa



Fonte: Própria (2012)

O material chega até a recicladora em fardos misturados, em que passa pelo processo de triagem nessa etapa é realizada a separação (Figura 2) por processo e cor, sendo retirados os rótulos e tampas de algumas embalagens do material presente.

Figura 2 - Processo de triagem com a separação do material.



FONTE: Própria (2012).

Em seguida são encaminhados para uma esteira e, posteriormente, para o moinho de pré-moagem e pré-lavagem (Figura 3) a fim de o material ser fragmentado em partes menores denominadas de *flakes*.

Figura 3 - Tanque de moagem e moinho de pré-lavagem.



FONTE: Própria (2012).

Durante ou após a moagem, ocorre à limpeza do material, nesse tanque recebe um tratamento de limpeza com um produto químico para retirada dos contaminantes, por meio de lavagem. Nessa etapa, utiliza-se água de poço artesiano localizado nas instalações da fábrica, e adiciona-se, em pequena quantidade, aditivo químico dependendo do grau de contaminação ou nível de sujeira dos resíduos (PIRES, 2008). Após a lavagem é necessário a secagem do material (Figura 4), de modo a eliminar a umidade residual.

Figura 4 - Secadora.



FONTE: Própria (2012).

Finalizando as etapas, submete-se o material pelo processo de aglutinação (Figura 5) adicionando-se pigmento e/ ou aditivo para melhorar a resistência do material.

Figura 5 - Processo de aglutinação.



FONTE: Própria (2012).

Se as propriedades do reciclado serão ou não semelhantes às da resina virgem dependerá de uma série de fatores, como qualidade de cada etapa do processo e da matéria prima utilizada (ZANIN E MANCINI, 2004). Os *flakes* lavados e secos seguem para serem extrusados (Figura 6) e ensacados.

Figura 6 - Processo de extrusão e ensacamento do material reciclado.



FONTE: Própria (2012).

O processamento por extrusão é bastante utilizado, principalmente na fabricação de *pellets* (Figura 7), os quais podem ser adquiridos por empresas de transformação ou alimentar outro processo de extrusão, injeção para moldagem de artefatos (MANRICH, 2005).

Figura 7 – *Pelletes*.



FONTE: Própria (2012).

O mesmo autor explica que no processo de injeção ocorre o enchimento do molde fechado com material fundido e posterior resfriamento, para solidificação do artefato moldado.

2.3. RECURSOS HÍDRICOS

Conforme Vianna e Rebouças (2002) apud Hunka (2006) existe uma diferenciação entre os termos “água” e “recursos hídricos”. Para os autores, o termo água refere-se em regra geral, ao elemento natural, desvinculado de qualquer uso ou utilização econômica, um recurso natural renovável que se encontra em permanente movimento, constituindo assim o chamado ciclo hidrológico, já o termo recurso hídrico, considera a água como bem econômico passível de utilização para diversos fins.

Santos (2007) comenta que na Declaração de Dublin, um dos principais tratados Internacionais relacionado aos recursos hídricos, aprovada na Conferência Internacional Sobre Água e Meio Ambiente, Irlanda, 1992, no seu quarto princípio consta que: “A água tem valor econômico em todos os seus usos e deve ser reconhecida como um bem econômico”.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2012) o Brasil encontra-se em situação confortável em relação à disponibilidade de recursos hídricos comparado a outros países. O documento Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil em 2012 revelou que o volume de água

no país representa 12% da disponibilidade do planeta. Mas o mesmo documento alerta que o aparente conforto convive com a distribuição desigual desses recursos.

Em razão de diversas atividades desenvolvidas pelo ser humano, principalmente aquelas relacionadas à produção de bens de consumo a partir da transformação e do processamento dos recursos naturais, as indústrias são as grandes consumidoras de água. A quantidade e a qualidade de água necessária para os processos industriais dependem do tipo de atividade desenvolvida na indústria e da capacidade de produção.

De acordo com Rebouças (2004), analisando o uso total da água em escala mundial, cerca de 70% são para irrigação, 20% para consumo industrial e 10% para consumo doméstico.

2.4. REUSO DE ÁGUA

Teixeira (2003) destaca que a principal diferença entre o conceito de reuso e reciclagem da água é que, enquanto no primeiro caso o efluente a ser reutilizado é o esgoto sanitário, no segundo o efluente a ser reciclado é o despejo gerado num determinado processo, o qual vai ser tratado e reaproveitado em um mesmo espaço físico, não sendo descartado em uma rede coletora de esgotos.

Segundo Who (1973) reuso de água é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original.

A prática de reuso de água favorece no atendimento de três funções de extrema importância: a redução do volume de água potável que seria captada para o uso menos nobre, o uso do efluente tratado como fonte alternativa de recursos hídricos para fins benéficos e a redução do volume de efluentes potencialmente poluidores que seriam despejados nos corpos receptores.

Hespanhol (2001) informa que a importância especial ao reuso foi dada na Agenda 21, a qual recomendou aos países participantes da ECO-92 a implementação de políticas de gestão dirigidas para o uso e reciclagem de efluentes, integrando proteção de saúde pública de grupos de risco, com práticas ambientais adequadas. O mesmo autor destaca que em 1958, O Conselho Econômico e Social das Nações Unidas promulgava o princípio de substituição de fontes de abastecimento, estabelecendo que “a menos que haja excesso, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada em aplicações que tolerem o uso de água com padrão de qualidade inferior.”

De acordo com Mierzwa e Hespanhol (2005), o reuso é a utilização dos efluentes tratados nas respectivas estações ou unidades de tratamento ou, ainda, o uso direto de efluentes em substituição à fonte de água normalmente explorada.

Lopes (2011) aponta que uma das alternativas para minimizar o volume de captação de água potável e o descarte de efluentes é o reuso da água dentro da unidade industrial.

As características relacionadas à qualidade da água a ser utilizada nas indústrias vai depender do ramo de atividade executada na empresa, através de tal ação é possível estabelecer a forma de tratamento dado ao efluente.

Nogueira (2007), conforme ilustrado na Tabela 1 apresenta os benefícios da água de reuso nos aspectos: ambientais, econômicos e sociais.

Tabela 1 - Benefício da água de reuso.

AMBIENTAIS	ECONÔMICOS	SOCIAIS
- Redução do lançamento de efluentes industriais em cursos d'água, possibilitando melhorar a qualidade das águas. - Redução da captação de águas superficiais e subterrâneas, possibilitando maior equilíbrio. - Aumento da disponibilidade de água para usos mais exigentes, como abastecimento público e hospitalar.	- Conformidade ambiental em relação a padrões e normas ambientais estabelecidos, possibilitando melhor inserção dos produtos brasileiros nos mercados internacionais. - Mudanças nos padrões de produção e consumo. - Redução dos custos de produção. - Aumento da competitividade do setor. - Habilitação para receber incentivos e coeficientes redutores dos fatores da cobrança pelo uso da água.	- Ampliação da oportunidade de negócios para as empresas fornecedoras de serviços e equipamentos, e em toda a cadeia produtiva. - Ampliação na geração de empregos diretos e indiretos. - Melhoria da imagem do setor produtivo junto à sociedade, com reconhecimento de empresas socialmente responsáveis.

FONTE: Nogueira (2007) adaptado.

Devido o aumento da demanda de água, outros países implantaram a prática de reuso, um exemplo foi em 1912 na cidade de São Francisco (EUA), no Golden Gate Park. Dando início através do reuso das águas tratadas, provenientes das estações de tratamento de efluentes, com aplicação na rega dos gramados e jardins. No ano de 1926, no Grand Canyon National

Park (Arizona - EUA), nos vasos sanitários foi utilizada água de reuso, em *sprinklers* e em torres de resfriamento (METCALF E EDDY,1995).

Em 1942, a Companhia Siderúrgica de Bethlehem (EUA) foi utilizado água de reuso no processo de fabricação do aço. Em 1960, na cidade de Colorado Spring (EUA) foi implantada a primeira rede de fornecimento de água de reuso para limpeza de avenidas e parques, rega de jardins, etc (METCALF E EDDY,1995).

No Brasil, existem grandes consumidores que implantaram a prática de reuso como a distribuidora de leite Vigor, a fábrica de biscoitos Piraquê, as cervejarias Kaiser e Bavária e empresas como Phillips, Kodak, Companhia Siderúrgica Nacional e Usiminas, na garantia de suprimento e reciclagem da água.

Escalera (1995) recomenda que para que a prática do reuso de água ocorra de forma segura, as especificações legais para a qualidade da água devem ser determinadas por órgãos públicos, sejam eles de caráter internacional, nacional, regional ou local.

No Brasil, o que define a Política Nacional do Meio Ambiente é o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, órgão legislador que regulamenta na resolução nº 430/2011 os tipos de águas e descarte de efluentes (BRASIL, 2011). De acordo com essa resolução os efluentes só poderão ser descartados nos corpos de água após um tratamento satisfatório, que se enquadre dentro das condições padrões exigidos.

2.4.1. Tipos de Reuso de água

As formas de reutilização da água podem ocorrer de maneira direta ou indireta, em que são decorrentes de ações planejadas ou não.

Rodrigues (2005) destaca o reuso indireto não planejado da água como sendo aquele que ocorre quando a água é utilizada em alguma atividade humana, sendo descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, de forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Esta água será encaminhada até o ponto de captação para o novo usuário, em que a mesma está sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico (diluição e autodepuração). A mesma autora também descreve sobre o reuso indireto planejado da água como sendo aquele que ocorre quando os efluentes, logo depois de submetidos a um processo de tratamento, são descarregados de forma planejada nos corpos d' águas superficiais ou subterrâneas, para ser utilizada a jusante, de forma controlada, no atendimento de algum uso benéfico.

Em relação ao reuso indireto planejado da água a referida autora pressupõe que exista também um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, garantindo

assim que os efluentes tratados estejam sujeitos apenas a misturas com outros efluentes que também atendam ao requisito de qualidade do reuso objetivado.

O caso com maior ocorrência, destinando-se a uso em indústria ou irrigação é o reuso direto planejado das águas, esse ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso, não sendo descarregados no meio ambiente.

A reciclagem de águas pode ser entendida como reuso interno da água antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição para suplementar o abastecimento do uso original. É um caso de reuso direto (RODRIGUES, 2005).

2.4.2. Aplicações do Efluente Tratado

O efluente proveniente dos processos, depois de submetidas ao tratamento com coagulantes possui diversas utilidades, nas quais são citadas:

- Irrigação paisagística: parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de autoestradas, campus universitários, cinturões verdes, gramados residenciais.
- Irrigação de campos para cultivos - plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais, proteção contra geadas.
- Usos industriais: refrigeração, alimentação de caldeiras, água de processamento.
- Recarga de aquíferos: recarga de aquíferos potáveis, controle de intrusão marinha, controle de recalques de subsolo.
- Usos urbanos não potáveis: irrigação paisagística, combate ao fogo, descarga de vasos sanitários, sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, lavagem de ruas e pontos de ônibus, etc.
- Finalidades ambientais: aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, terras alagadas, indústrias de pesca.
- Usos diversos: aquicultura, construções, controle de poeira, dessedentação de animais.

2.5. EFLUENTE INDUSTRIAL

De acordo com a Norma Brasileira — NBR 9800/ 1987, efluente líquido industrial é o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanções de processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico.

Um dos problemas de poluição ambiental mais sério na atualidade refere-se aos efluentes gerados na indústria, devido à grande variedade de atividades realizadas nos processos, os quais na aplicação das etapas são gerados resíduos líquidos com características diversas, contendo vários tipos de substâncias, das quais muitas são extremamente tóxicas e podem apresentar efeitos adversos sobre os seres vivos, caso essa água venha a ser afetada (MIERZWA, 2002).

Segundo Tabosa (2000) os efluentes líquidos industriais são misturas complexas e, diferentemente dos esgotos domésticos que no geral apresentam uma composição rica em matéria orgânica, podem variar muito em sua composição química.

Os efluentes industriais por apresentarem em sua composição dos mais diversos produtos químicos, na maioria das vezes caracterizam-se por apresentar elevada carga orgânica poluente que, a depender do corpo receptor será depurada com dificuldades.

Diante da grande exigência das atividades industriais e da diversidade dos processos industriais, essa quantidade e variedade de efluentes produzidos durante estas etapas de processo ocasionam a poluição da água, solo e ar.

A contaminação de águas é um fator cada vez mais presente na sociedade atual em que o uso racional nos processos produtivos proporciona o motivo de atenção das indústrias, inclusive daquelas que necessitam consumir uma grande demanda de água, pelo fato de que os problemas ambientais representam uma questão de sobrevivência em um mercado cada vez mais competitivo. Um dos fatores que levam as indústrias a pensarem desta forma se dá pelo interesse na implantação de sistemas de gestão ambiental (LAMBRECHT, 2007).

As atividades industriais no Brasil respondem por aproximadamente 23% do consumo de água, sendo que pelo menos 10% são extraídos diretamente de corpos d'água e mais da metade é tratada de forma inadequada ou não recebe nenhuma forma de tratamento (ANA, 2012).

Braile e Cavalcante (1993) explicam que na indústria, de modo geral, a água pode ser matéria prima que se junta a outras para criar produtos acabados, ou ser utilizada como meio de transporte e como agente de limpeza.

A indústria é um meio consumidor de grandes quantidades de água e também um meio responsável pela mais grave forma de poluição, devido às grandes quantidades de cargas poluentes descarregadas como também a sua periculosidade da bioacumulação nos organismos, que vai ser transmissível a todos os organismos componentes da cadeia alimentar, à qual pertencem os organismos onde se deu a bioacumulação de substâncias tóxicas.

Segundo Viveiros (2001) em usinas de reciclagem de plásticos a água é um veículo de transporte de impurezas que foram removidas das embalagens plásticas, devendo esse efluente ser tratado de forma adequada.

Os efluentes industriais podem modificar profundamente as condições ecológicas dos cursos de água (meio receptor), devido a seus produtos que irão ser produzidos que variam de acordo com o tipo de processos industriais tais como água de lavagem no processo de reciclagem dos plásticos, descarga de águas de lavagem de equipamentos industriais e também às águas de arrefecimento, que são descarregadas em grande volume e a temperaturas superiores em relação ao meio receptor.

No processo de reciclagem é observado que nas etapas realizadas não se pode deixar de incluir a etapa de lavagem dos plásticos, que tem por finalidade separar os resíduos contaminantes para evitar os problemas derivados da sua presença, resultando a geração de um efluente líquido escuro de mau cheiro ocasionando danos ambientais.

Macêdo (2001) considera que no efluente industrial a reciclagem é uma realidade, pois apresenta uma viabilidade econômica nas técnicas empregadas, contribuindo para redução de custos envolvidos com a própria água e atualmente por reduzir o volume de efluentes lançados no meio ambiente.

Bordonalli *et al.* (2005) explica que o uso de água no processo de reciclagem gera um efluente que contém alta carga poluidora acarretando em problema do processo de cunho ambiental, em geral, ocorrem em instalações improvisadas, de pequeno e médio porte, muitas delas conduzidas por recicladoras informais, sem licenciamento para seu funcionamento e sem qualquer compromisso com a legislação ambiental, em que devido aos elevados níveis de contaminação orgânica e inorgânica, esse efluente não pode ser descartado sem tratamento.

O tratamento de efluentes industriais é um assunto de extrema importância para humanidade, pois os impactos causados pelos resíduos não gerenciados adequadamente, tem acarretado diversos males, comprometendo a vida não apenas dos humanos, como também, resultando no desequilíbrio à fauna e flora, diante desse contexto o ideal seria a crescente

tendência por parte das indústrias em buscar alternativas que levem a soluções cada vez mais eficazes no que diz respeito ao destino dos contaminantes gerados nos processos de produção.

2.5.1. Tecnologias e tratamentos de efluentes industriais

Segundo Rossini *et al.*, (1999) os diferentes poluentes gerados pelas diversas atividades industriais requerem tratamento específico. Para Nunes (2008), as estações de tratamentos de efluentes tradicionais costumam ser divididas em quatro etapas:

Tratamento Preliminar: Os sólidos muito grosseiros, flutuantes e a matéria mineral sedimentável são removidos por grades, desarenadores (caixas de areia), caixas de retenção de gordura ou peneiras.

Tratamento primário: Neste tipo de tratamento ocorre a remoção da matéria orgânica em suspensão e a parcial remoção da DBO. Os processos são: decantação primária ou simples, precipitação química (coagulação e floculação), flotação e neutralização.

Tratamento secundário: Este processo de tratamento torna possível a remoção da matéria orgânica dissolvida e em suspensão. A DBO é removida, podendo atingir o seu valor máximo. A eficiência da remoção depende do sistema adotado. São classificados como tratamento secundário os seguintes processos: lodos ativados, lagoas de estabilização, sistemas aeróbicos e anaeróbicos com alta eficiência, lagoas aeradas, filtros biológicos e precipitação química.

Tratamento terciário ou avançado: São processos empregados para atingir maiores purezas dos efluentes, ou para remover substâncias que os tratamentos convencionais não conseguem eliminar. São processos mais refinados e, em geral, complexos, citando-se: adsorção em carvão ativo e biomassas, osmose inversa, eletrodiálise, troca iônica, filtros de areia, oxidação química e remoção de organismos patogênicos.

2.5.2. Coagulação/ Floculação

O termo “coagulação” é originário do latim *coagulare*, que significa “manter-se junto”. Esse processo descreve o efeito produzido pela adição de um produto químico sobre uma dispersão coloidal, resultando na desestabilização das partículas através da redução das forças que tendem a manter as mesmas afastadas (BAUMANN, 1971).

A eficiência do processo de coagulação é influenciada por vários fatores, como o tipo de agente coagulante, sua dosagem, o pH da solução, assim como a natureza e concentração de compostos orgânicos (STEPHENSON e DUFF, 1996).

A coagulação é um processo rápido, da ordem de segundos, que ocorre nas unidades de mistura rápida. Após a coagulação, é necessária uma agitação relativamente lenta, com o objetivo de promover encontros entre as partículas menores para formar agregados maiores (flocos).

Segundo Kawamura (1997), para que a coagulação venha ocorrer de forma eficiente essa etapa vai depender muito do sucesso do processo de mistura rápida, pois a coagulação está relacionada com a formação dos primeiros complexos de cátions metálicos hidrolisados.

A reação de hidrólise ocorre de forma muito rápida e, para haver a desestabilização dos colóides, é indispensável à dispersão de alguns gramas de coagulante sobre toda a massa de água em um tempo muito curto, o que implica na necessidade de aplicá-lo em uma região de grande turbulência proporcionando uma distribuição equânime e uniforme do coagulante à água (RICHTER e AZEVEDO NETO, 1991).

A aplicação de tratamentos de coagulação/ floculação visa geralmente remover o material coloidal presente no efluente, embora vários nutrientes possam ser removidos durante este processo (SENA, 2005).

Segundo Viveiros (2001), atualmente, o processo de coagulação/ floculação vem sendo empregado em plantas de estações de tratamento de esgotos com finalidade de aumentar a eficiência e gerar um efluente clarificado.

2.5.3. Mecanismos de coagulação

A coagulação é o processo de desestabilização das partículas coloidais, de modo que o crescimento da partícula possa ocorrer em consequência das colisões entre partículas (METCALF e EDDY, 2003).

Segundo Pavanelli (2001), os principais mecanismos que atuam na coagulação são: compressão da camada difusa; adsorção e neutralização de carga; varredura; adsorção e formação de pontes.

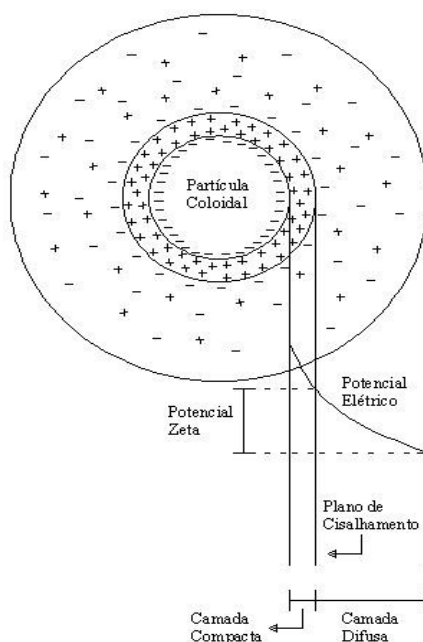
O mecanismo de compressão da dupla camada: Ocorre quando um eletrólito indiferente de carga contrária à partícula é colocado em meio aquoso, proporcionando um aumento da concentração de íons na água, para que a eletroneutralidade da partícula permaneça é necessário que haja uma diminuição no volume da camada difusa. Com isso, as forças de

repulsão entre os colóides diminuam de tal modo que as forças atrativas de Van der Waals se tornem dominantes.

Schoenhals (2006) revela que existem dois aspectos que são importantes nesse mecanismo de coagulação:

- a) Para haver a coagulação, a quantidade de eletrólitos é praticamente independente da concentração de colóides na água.
- b) Para qualquer quantidade adicionada de eletrólitos, é impossível causar a reestabilização das partículas coloidais, ou seja, a reversão da sua carga, que passa a ser positiva (Figura 9).

Figura 8 - Representação de uma partícula coloidal negativa, com uma nuvem de cargas positivas ao seu redor



FONTE: Sena (2005)

Adsorção e neutralização de cargas: Esse tipo de mecanismo é realizado a partir da adição do coagulante, em que ocorre a hidrólise dos íons metálicos e subsequente adsorção das espécies hidrolisadas, geralmente de carga positiva, na superfície dos colóides, levando a sua desestabilização.

Varredura: Ocorre esse tipo de mecanismo quando as concentrações de coagulante são elevadas, de modo que o produto de solubilidade dos hidróxidos produzidos (hidróxido férrico ou hidróxido de alumínio) é sobrepassado. A precipitação flocculenta destes hidróxidos

removerá por captura os colóides presentes no meio, e os próprios colóides servirão como sementes para a formação do precipitado.

Adsorção e formação de pontes (*interparticle bridging*): Caracteriza-se por envolver o uso de polímeros de grandes cadeias moleculares (massa molar $> 10^6$), os quais servem de ponte entre a superfície à qual estão aderidos e outras partículas (DI BERNARDO, 2005).

2.5.4. Coagulantes

Para o tratamento do efluente da água de lavagem dos plásticos da recicladora em estudo, foram aplicados nas etapas de tratamento do efluente os coagulantes: sulfato de alumínio, cloreto férrico e policloreto de alumínio.

Segundo Santos (2006) os sais metálicos mais comumente empregados na coagulação/precipitação de efluentes são: sulfato de alumínio, cloreto de alumínio, hidróxido de cálcio, cloreto férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso e aluminato de sódio.

De acordo com Guimarães e Libânio (2005), a partir de 1990 tem sido estudada com maior intensidade a alternativa da aplicação do policloreto de alumínio, embora seu emprego date do final da década de 1960 no Japão, com bons resultados na remoção de cor para amplo espectro de pH de coagulação. Os coagulantes utilizados apresentam as seguintes características:

Sulfato de alumínio: É um sólido cristalino de cor branco-acinzentada, contendo aproximadamente 17% de Al_2O_3 solúvel em água, geralmente disponível em forma de pedra, em pó ou em soluções concentradas (COSSICH, 2006). Os sais de alumínio são amplamente utilizados em todo o mundo como agente coagulante. Os coagulantes químicos formados por sais de alumínio são mais comumente utilizados no processo de tratamento de águas, apresentando maior eficiência quando o pH da suspensão estiver entre 5,0 e 8,0 (VIANNA, 2002).

Segundo Silva (1999) o sulfato de alumínio, apresenta custo reduzido e é produzido em diversas regiões do Brasil, fácil de transportar e de manusear, geralmente a faixa de coagulação ocorre com pH entre 5,0 a 8,0.

Os flocos resultantes da coagulação com sulfato de alumínio são essencialmente de natureza inorgânica, portanto, o lodo não entra em decomposição biológica, isto é, não é biodegradável, dificultando sua disposição final.

Santos Filho e Santa Rita (2002) explicam que esse processo de coagulação com o referido coagulante apresenta um lodo gelatinoso e volumoso.

De acordo com Baumgarte (2001) apud Fiorentini (2005) dependendo da dosagem empregada o sulfato de alumínio é tóxico, sendo propício a causar doenças de demência e coordenação motora, devido à deficiência renal em filtrar os metais no sangue que é levado ao cérebro, causando o mal de *Parkinson* e *Alzheimer*.

A principal desvantagem para aplicação do sulfato de alumínio, em tratamento de efluentes é a disposição do lodo formado que é um sério problema ambiental ainda a ser resolvido, uma vez que o alumínio é um elemento tóxico para plantas e microrganismos.

O sulfato é apresentado em 3 formas: Branco (isento de ferro), mais onerosa e desnecessária, pois possui características dispensáveis (isenção de ferro); Amarelo (mais comum e mais barato), produzido da reação do ácido sulfúrico com a bauxita pulverizada. Negro, mistura do branco ou amarelo com carvão ativado (2 a 5%), para remoção de gosto e cheiro.

Cloreto Férrico: A reação a quente do ácido clorídrico concentrado com o minério de ferro (hematita- Fe_2O_3), seguido de resfriamento e filtração proporciona a produção de cloreto férrico (FeCl_3) com elevado índice de pureza. A concentração final do produto é determinada em torno de 40% em peso de FeCl_3 (PAVANELLI, 2001).

A utilização de FeCl_3 reduz drasticamente a cor, turbidez, quantidade de sólidos suspensos, DBO, além de eliminar fosfatos.

A equação química (1) refere-se à reação de hidrólise do cloreto férrico, em que está é a responsável pela formação de hidróxido de ferro, que possui ação coagulante sobre as partículas:



Segundo Branco (1991), a presença de ferro pode propiciar uma coloração amarelada e turva à água dependendo dos níveis de concentração. Os sais de ferro são, também, muito utilizados como agentes coagulantes para tratamento de água. Reagem de forma a neutralizar cargas negativas dos colóides e proporcionam a formação de hidróxidos insolúveis de ferro. Devido à baixa solubilidade dos hidróxidos férricos formados, eles podem agir sobre ampla faixa de pH (PAVANELLI, 2001).

Spinelli (2001) destaca que o cloreto férrico produz bons flocos na faixa de pH entre 5,0 a 11,0. A partir do excesso de cloreto férrico ao meio, parte não participa da reação de coagulação/ floculação, ficando este em solução e aumentando os valores dos parâmetros cor e turbidez.

Policloreto de alumínio: O hidroxícloreto de alumínio é um sal de alumínio prepolimerizado, de fórmula bruta $Al_n(OH)_nCl_{3n-m}$. Esse coagulante químico em função da basicidade, libera durante a hidrólise igual dosagem de íons metálicos, uma quantidade de ácido consideravelmente menor do cloreto de alumínio e dos coagulantes tradicionais como sulfato de alumínio e cloreto férrico. Proporcionando uma menor variação do pH do meio tratado ou um menor consumo de neutralizante para reconduzir o pH ao seu valor original.

O hidroxícloreto de alumínio, polímero mineral de peso molecular elevado, é produzido em alguns países e conhecido como PAC (*Poly Aluminium Chloride*). Geralmente apresenta melhor eficiência em uma faixa de pH compreendida entre 6 a 9, porém em alguns casos ele funciona bem na faixa de pH 5 até 10.

Na maioria dos casos, o hidroxícloreto de alumínio, apresenta-se como coagulante superior ao sulfato de alumínio. Para a eliminação de substâncias coloidais, sua eficácia, em média, é 2,5 vezes superior em igualdade de dosagem ao íon Al^{3+} a dos outros sais de alumínio habitualmente utilizados (PAVANELLI, 2001; SRIVASTAVA *et al* . 2005).

Devido ao seu estado prepolimerizado e à característica de sua estrutura molecular condensada com pontes de oxigênio entre os átomos de alumínio, o hidroxícloreto de alumínio apresenta vantagens na floculação em relação aos demais coagulantes inorgânicos não prepolimerizados, principalmente pela maior concentração do elemento ativo (Al_2O_3).

2.5.5. Floculação

A floculação é um processo físico no qual as partículas coloidais são colocadas em contato umas com as outras, de modo a permitir o aumento de seu tamanho físico, alterando sua forma, sua distribuição granulométrica (FERREIRA FILHO, 2008).

Segundo Parlato (1987), a floculação é um processo em que partículas em estado de equilíbrio eletrostaticamente instáveis na massa líquida e são forçadas a movimentar-se, por meio de processos mecânicos que produzem agitação na água, com intuito de que sejam atraídas entre si formando flocos, que com a contínua agitação, tendem a aderir uns aos outros, tornando-se partículas maiores e com maior peso para que se possa removê-las mais facilmente na próxima etapa de tratamento.

A floculação consiste na agregação das partículas já desestabilizadas, resultantes do choque entre as mesmas, formando partículas maiores e mais densas (microflocos), passíveis de separação, ocorrendo sob condições de agitação lenta.

O pH de floculação do meio líquido é muito importante, onde esse valor está na faixa entre 6 e 7, para floculação com alumínio, é uma variação efetiva, mas para sais de ferro como cloreto férrico e sulfato férrico fornecem uma variação muito grande de pH para a formação dos flocos.

Os floculantes (coadjuvantes de coagulação) são, em sua maioria, polímeros sintéticos solúveis em água, podendo conter carga catiônica ou aniônica. As poliacrilamidas (PAM) são constituídas por unidades repetidas de acrilamida e seus derivados, e têm sido usadas como eficientes floculantes por muitos anos, sendo típica a escolha de polímeros de elevada massa molecular que possuam grupos carregados com sinal diferente da superfície da partícula.

De acordo com Biggs *et. al.* (2000), a escolha de um polímero de elevada massa molecular implicará na ocupação de um grande volume na solução, tornando-o apto a interagir com mais de uma partícula, aumentando-se assim, o tamanho dos flocos.

Polímeros a base de poliacrilamida (PAM), catiônicos ou aniônicos, são polieletrólitos com massas moleculares entre 12-15 mgmol^{-1} (mais de 150.000 monômeros de acrilamida por molécula, comercialmente disponíveis na forma sólida (granular) necessitando de intensa agitação durante a dissolução em concentrações recomendadas entre 0,25 e 1,0% (m/v) para uma dissolução satisfatória, sendo eficientes em dosagens muito baixas, por exemplo, para a clarificação de águas brutas, entre 0,1 e 1,0 ppm (ou mg.L^{-1}).

2.5.6. Sedimentação e Decantação

A sedimentação é o processo que consiste em deixar uma mistura em repouso até que o sólido seja depositado no fundo do recipiente.

De acordo com Jordão e Pessoa (1995), a sedimentação é um tipo de operação unitária pela qual a capacidade de carreamento e de erosão da água é minimizada, até que as partículas que se encontram em suspensão sejam decantadas pela ação da gravidade e não possam mais ser arrastadas pela ação erosiva.

A sedimentação corresponde à fase em que os flocos, com seu tamanho relativamente aumentado, tendem a decantar. Quanto maior a velocidade de decantação, menor será o tempo de residência requerido para a água no clarificador. É uma operação comum no tratamento de

águas residuais e encontra-se em quase todas as estações de tratamento, uma vez que envolve menores custos do que em muitas outras operações de tratamento equivalentes.

Segundo as características das partículas a serem removidas, o processo de sedimentação pode ser classificado em quatro tipos (METCALF e EDDY, 2003).

Discreta: Partículas sedimentam-se como entidades individuais e não ocorre interação significativa com partículas vizinhas (baixa concentração dos sólidos).

Floculenta: Partículas aglomeram-se durante a sedimentação, aumentando o tamanho e sedimentam-se com velocidades superiores (suspensões diluídas).

Zonal: Partículas tendem a permanecer em uma posição fixa com relação às partículas vizinhas e sedimentam-se com uma massa única de partículas (suspensões concentradas).

Compressão: A concentração de partículas é tão elevada que ocorre a formação de uma estrutura e a sedimentação ocorre apenas pela compressão desta estrutura, devido ao peso das partículas.

O processo de decantação é uma das etapas de clarificação, devendo ser aplicado conforme as características de cada efluente e do processo de tratamento.

2.5.7. Processos de Oxidação Avançada (POA)

Teixeira e Jardim (2004) definem processos de oxidação avançada, os processos que são caracterizados por transformar a grande maioria dos contaminantes orgânicos em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos, por meio de reações de degradação que envolvem espécies transitórias oxidantes, principalmente os radicais livres.

Os POA são processos não seletivos, podendo degradar inúmeros compostos, independentemente da presença de outros. Além disso, podem ser usados para destruir compostos orgânicos tanto em fase aquosa, como em fase gasosa ou adsorvidos numa matriz sólida (PERKOWSKI e KOS, 2003).

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

Para que o POA seja aplicado adequadamente é importante considerar o uso de reagentes caros, como, por exemplo, H_2O_2 e/ ou O_3 , que possam acarretar em desvantagem, o que pode ser solucionado por meio da substituição desse processo por tratamentos biológicos,

quando estes forem possíveis, por serem mais econômicos. Os POA's podem complementar os tratamentos biológicos na degradação oxidativa de substâncias tóxicas que entram ou deixam o estágio biológico (ANDREOZZI *et al.*, 1999).

Outro aspecto que não pode ser desconsiderado é a concentração de contaminantes nos efluentes. Quando suas quantidades forem muito elevadas, grandes quantidades de reagentes caros seriam necessárias em POA's acarretando desvantagem para o emprego desse processo.

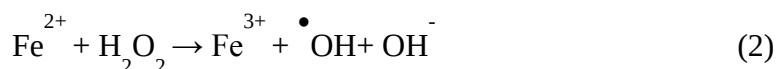
2.5.8. Fenton

Aproximadamente cerca de cem anos, H. J. Fenton descobriu que o uso do peróxido de hidrogênio junto com o ferro, dissolvido como catalisador, proporcionava a oxidação facilmente de moléculas orgânicas.

O processo Fenton é um dos POA's que se baseia na geração de radicais hidroxil a partir da decomposição de peróxido de hidrogênio catalisada por íons ferrosos (Fe^{2+}), em condições ácidas (WALLING e KATO, 1971). Esta reação tem este nome por ter sido Fenton quem a observou pela primeira vez em 1894.

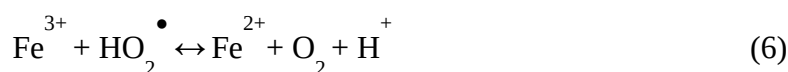
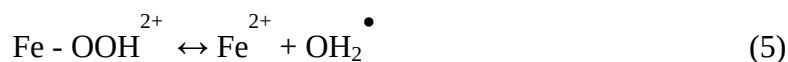
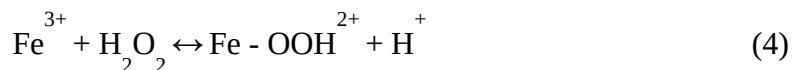
ANDREOZZI *et al.*, (1999) destaca que a combinação do íon Fe (II) com o H_2O_2 é uma forma muito simples de se produzirem radicais hidroxila, não sendo necessários reagentes nem equipamentos especiais. Este processo é de fundamental importância no tratamento de efluentes, pois o ferro é um elemento abundante e não tóxico e o peróxido de hidrogênio é fácil de manusear e não causa agressões ao meio ambiente.

O processo de oxidação avançada conhecido como Fenton é composto de quatro etapas: ajuste de pH, reação de oxidação, neutralização e coagulação/ precipitação. Sendo assim, compostos orgânicos são removidos em dois estágios: oxidação e coagulação (KANG e HWANG, 2000).



Íons férricos Fe^{3+} também podem reagir com H_2O_2 em uma reação denominada Fenton - modificada (Equações Químicas 3 a 6), regenerando íons ferrosos Fe^{2+} e assim suportando o processo Fenton (PÉREZ *et al.*, 2002).





Peróxido de hidrogênio também pode reagir com radicais $\text{OH}^\bullet$, atuando tanto como um iniciador como também um sequestrador (Equação Química 7).



Quando comparados com radicais hidroxil $\text{OH}^\bullet$, os radicais hidroperoxil $\text{HO}_2^\bullet$ têm potencial de oxidação menor.

Os POA's se destacam por poderem efetivamente ser usados na mineralização de componentes tóxicos, uma vez que destroem as moléculas orgânicas poluentes, ao invés de simplesmente removê-las para outra fase (SALGADO, 2009).

Bidga (1995) enfatizou o potencial do processo Fenton no tratamento de efluentes, à temperatura e pressão ambiente, que pode ser aplicado na degradação de vários compostos. É necessário que para o processo ocorrer com eficiência, os fatores tais como pH da solução e a concentração de peróxido de hidrogênio sejam controlados, bem como a adição de íon ferroso esteja correta.

CAPÍTULO III

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi destacada a localização da área de estudo e local de coleta. Para o procedimento experimental foram utilizados reagentes, vidrarias, diversos equipamentos, entre outros materiais. Na sequência serão detalhados esses materiais e descritos os métodos utilizados.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A recicladora em estudo fica situada no Distrito Industrial (Figura 9) que está localizado às margens da BR 101, entre os quilômetros 85 e 92, no sentido João Pessoa – Recife, estando a aproximadamente 6 km do centro da Capital Paraibana e contando com uma área de 646 ha. O principal receptor e diluidor dos efluentes líquidos ali gerados no distrito industrial é o riacho Mussuré.

Figura 9 - Localização da recicladora no Distrito Industrial.



FONTE: Própria (2012).

A recicladora teve origem devido à necessidade de reprocessar o material não conforme oriundo da produção, e com o passar do tempo surgiu à necessidade de expansão, a partir da globalização e a preocupação com o meio ambiente, em que se iniciou a compra de resíduo urbano com o objetivo de ser a primeira empresa em João Pessoa a trabalhar com resina reciclada.

A matéria prima que constitui essa recicladora é composta por polipropileno (PP) e polietileno (PE) em que são processados em torno de 98%, sendo 50% de PE e 48% de PP. Em média são reciclados 400 kg h^{-1} de plásticos, em que totaliza por turno 3200 kg/dia, sendo gastos de 3 a 5 litros de água por cada kg de plástico reciclado, totalizando um gasto de volume de cerca de 10 a 16 m^3/dia de água no processo de lavagem dos plásticos.

3.1.1 Descrição do Efluente Gerado na empresa

A referida recicladora não submete o resíduo gerado na lavagem dos plásticos (Figura10) a nenhum tipo de tratamento com uso de coagulantes químicos, esse efluente passa pelo tratamento de lagoa de estabilização sendo caracterizado como lagoa facultativa com tempo de permanência de uma semana, após esse tempo o efluente é lançado no solo para cultura de gramíneas, pois esta área serve de pasto para criação de animais na própria fábrica.

Figura 10- Efluente gerado na lavagem dos plásticos



Fonte: Própria(2012)

Abrahão (2006) aponta que de acordo com o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame, a grande maioria das indústrias instaladas no Distrito Industrial de João Pessoa não conta com tratamento adequado e eficiente dos efluentes gerados, sendo desconhecidas suas características. Tais ações ocorrem com maior frequência nas empresas de pequeno porte, que não adotam nenhum tipo de tratamento para não onerar o custo do produto

final, por isso, na ausência de fiscalização adequada, lançam estes resíduos gerados nos processos industriais nos cursos de água presentes na área, sem sofrer nenhuma intervenção.

3.2 REAGENTES

Foram utilizados os seguintes reagentes químicos: Cloreto férrico 2%, sulfato de alumínio 2%, policloreto de alumínio 2%, peróxido de hidrogênio (H_2O_2 , 30 % v/v, P.A.), sulfato ferroso 2%, ácido clorídrico 5M, tiosulfato de sódio 1M, hidróxido de sódio 0,2N, dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$); ácido sulfúrico (H_2SO_4 , 98%), sulfato ferroso amoniacal 0,025N, solução indicadora de Ferroína e sulfato de prata.

3.3 EQUIPAMENTOS

- pHmetro AMBITRAT
- Turbidímetro TECNOPON TB-1000.
- Balança analítica SHIMADZU.
- Centrífuga FANEM.
- Jar-Test POLICONTROL.
- Agitador magnético CIMAREC.
- Estufa para esterilização e secagem.
- Incubadora de DBO termostaticamente controlada à temperatura de $20\text{ }^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$.
- Vidros especiais para DBO.
- Dessecador.
- Béquer (50mL e 1000 mL)
- Bastão de vidro.
- Pipetas graduadas e volumétricas (5mL e 50mL)
- Provetas (50 mL).

3.4 METODOLOGIA

3.4.1 Coleta do Efluente

O efluente bruto foi coletado por meio da técnica de amostra simples, foram realizadas três coletas entre os meses de Setembro/ 2012, Outubro/ 2012, Novembro/ 2012, às 12h00

sendo realizada uma coleta a cada mês. O ponto de amostragem utilizado na coleta estava situado no tanque de lavagem (Figura11) na empresa em estudo.

Figura 11- Tanque de lavagem na empresa



Fonte: Própria(2012)

Após a coleta o efluente era armazenado em bombonas com capacidade volumétrica de 5L (Figura 12), sendo imediatamente encaminhado para o Laboratório de Saneamento da Universidade Federal da Paraíba.

Figura 12 - Amostra de efluente coletado.



FONTE: Própria (2012).

Na sequência estão descritos os procedimentos adotados nas análises, de acordo com as condições do STANDARD METHODS FOR WATER AND WASTEWATER EXAMINATION (APHA, 1995).

3.4.2 Caracterização do Efluente

a) pH

A determinação do pH deu-se através da leitura instrumental de um pHmetro de bancada marca Ambitrat (Figura 13) contendo um eletrodo de vidro. O aparelho foi calibrado com as soluções tampões pH 4,0 e 7,0, na sequência um béquer com volume aproximadamente de 50 mL da amostra, o eletrodo de vidro foi imerso, apresentando o resultado através do mostrador digital.

Figura 13 – pHmetro.



FONTE: Própria (2012).

b) Turbidez

O aparelho utilizado para os ensaios de medida de turbidez foi o turbidímetro da marca Tecnopon TB-1000 (Figura 14), a amostra analisada foi agitada para dispersão dos sólidos, em seguida inserida em um tubo de vidro até a marca indicada. O tubo contendo a amostra foi introduzido em local apropriado do aparelho. A leitura da turbidez deu-se de forma direta, sendo repetidas três vezes e calculada a média, o resultado foi expresso em NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez).

Figura 14 – Turbidímetro.



FONTE: Própria (2012).

c) DBO

A DBO é um teste empírico que corresponde à diferença entre as concentrações de oxigênio no início e no fim de um período de incubação (Figura 15), em condições específicas do ensaio. A temperatura de incubação é padronizada em 20°C e o tempo de incubação em 5 dias. Sua aplicação é específica para amostras de efluentes, águas residuais, despejos industriais, águas de rios, lagos e represas, desde que essas possuam DBO_5 maior do que $15 \text{ mg L}^{-1} \text{ O}_2$.

Figura 15 - Kit para incubação da análise de DBO



FONTE: Própria (2012).

d) DQO

É a quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente toda a matéria orgânica, levando a CO_2 e H_2O .

A medida do parâmetro Demanda Química de Oxigênio foi realizada utilizando um digestor Solab Dry Bloch SI 20 (Figura 16). Utilizou-se uma amostra de pequeno volume (2,5 ml) que foi introduzida nos tubos fechados contendo o dicromato de potássio, ácido sulfúrico, em seguida levadas à incubação durante duas horas à temperatura de 150°C. O dicromato de potássio é um agente oxidante forte, em que os componentes orgânicos oxidáveis proporcionam a redução do íon dicromato Cr^{6+} em íon cromo verde Cr^{3+} . Na amostra em digestão continham nos tubos, também, sais de prata e de mercúrio. A prata atuou como catalisador e o sal de mercúrio serve para evitar a interferência do íon cloro.

Figura 16 - Digestor Solab Dry Bloch SI 20.



FONTE: Própria (2012).

e) Sólidos Totais

Inicialmente foi preparada a cápsula de evaporação, que foi limpa e ignizada a $500 \pm 50^\circ\text{C}$ durante 30 minutos no forno mufla, em seguida resfriou-se até a temperatura ambiente em um dessecador. Realizada essa etapa, as cápsulas foram imediatamente pesadas antes de serem usadas obtendo-se o chamado peso da cápsula (P_o), na sequencia homogeneizada e transferido 25mL da amostra (VA) para cápsula (Figura 17a). Seguindo os procedimentos, a cápsula foi colocada na estufa (Figura 17b) a uma temperatura de $103-105^\circ\text{C}$ por um período de 1 hora para eliminação da umidade.

Após a secagem, a cápsula foi então resfriada em um dessecador e pesada (P_1 = peso da cápsula com resíduo após secagem).

Finalizando a análise foi feita a determinação dos sólidos totais, que inclui a ignição da cápsula com o resíduo no forno mufla pré-aquecido a $500 \pm 50^\circ\text{C}$ por 30 minutos, com posterior resfriamento em um dessecador e pesa-se (P_2 = peso da cápsula com resíduo após ignição).

Figura 17 - Cápsula de evaporação (a) e estufa (b).



(a)

(b)

FONTE: Própria (2012).

Para o cálculo dos valores obtidos para os Sólidos Totais foi utilizada a Equação matemática definida a seguir. As relações envolvidas entre os pesos são: ST (sólidos totais), mg.L^{-1} .

$$ST = \frac{\frac{1000 \cdot (P1 - P2)}{VA}}{1000}$$

em que:

Po: peso da cápsula (g).

P1: peso da cápsula com resíduo após secagem (g).

P2: peso da cápsula com resíduo após ignição (g).

VA: volume da amostra (mL).

f) Sólidos Voláteis e Fixos

São valores referentes a material orgânico para os sólidos voláteis e material inorgânico para sólidos fixos.

Para a determinação das etapas desse parâmetro transferiu-se a cápsula após secagem e pesagem para o forno mufla (Figura 18) frio, em seguida foi feito o aquecimento até $500 \pm 50^\circ\text{C}$ e a ignição, durante 1 hora. Na sequência foi realizado o esfriamento no dessecador e a

pesagem na balança. Foi realizada a repetição do ciclo de ignição (durante somente 30 minutos), esfriamento, dessecação e pesagem.

Figura 18 - Forno mufla.



FONTE: Própria (2012).

g) COT

Essa técnica de análise estima o teor de matéria orgânica, onde é quantificado o carbono orgânico presente na amostra, foi obtida a partir do equipamento Pastel UV da Secoman.

Figura 19 - Pastel UV SECOMAN.



FONTE: Própria (2012).

3.4.3 Coagulação/ Floculação (Teste de Jarros)

Nesta etapa do trabalho foram realizados estudos através de três coletas de efluente da recicladora de plásticos obtidas em épocas diferentes, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Datas das coletas de efluente da recicladora de plásticos.

NÚMERO DA COLETA	DATA
Coleta 1	17/09/2012
Coleta 2	15/10/2012
Coleta 3	26/11/2012

Fonte: própria (2012)

Os ensaios de coagulação/ floculação foram realizados em testes de jarros da marca Policontrol (Figura 20) utilizando-se 6 (seis) béqueres contendo 1000 mL. Foram testadas três soluções de coagulantes, cloreto férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) a 2%, sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) a 2%, policloreto de alumínio ($\text{Al}_n(\text{OH})_n\text{Cl}_{3n-m}$) a 2%.

Figura 20 - Jarros com amostras de efluente bruto.



FONTE: Própria (2012).

Figura 21 - Tratamento de coagulação/ floculação.

a) *Determinação da melhor faixa de pH e do tempo de sedimentação*

Para otimizar o desempenho dos coagulantes estudados foi determinada a melhor faixa de pH. De início foram realizados ensaios com concentrações dos coagulantes: cloreto férrico, sulfato de alumínio e policloreto de alumínio variando de 5mg.L^{-1} até 100mg.L^{-1} no intervalo

de 5mg.L^{-1} de uma amostra para outra. Para cada concentração foi utilizado uma amostra de 1000mL, com intuito de obter a clarificação do efluente. Considerando que, com a adição dos coagulantes: cloreto férrico, sulfato de alumínio e policloreto de alumínio, o meio acidifica-se, foi necessário monitorar o parâmetro pH durante o teste de *Jarros*, com o objetivo de manter o pH sempre na faixa de um pH em que ocorre um melhor resultado de coagulação, foram necessários novos ajustes de pH com hidróxido de sódio ao longo da realização dos testes.

Após homogeneização foram adicionadas concentrações variadas de ácido clorídrico, que determinaram uma variação do pH de 5,0 a 9,0, com intervalos de 0,5. Em um dos jarros foi mantido o pH do efluente bruto. A solução foi agitada a 120 rpm por 5 minutos e posterior agitação lenta (30 rpm) por mais 3 minutos para facilitar a floculação sem romper os flocos formados. Terminada a fase de agitação lenta aguardou-se 10, 15, 20 e 30 minutos para decantação do lodo e analisou-se a formação dos flocos, o pH de operação, a turbidez a cada intervalo, com intuito de determinar o melhor tempo de sedimentação e o jarro com pH de melhor tratabilidade.

O critério escolhido para selecionar o melhor jarro foi o que obteve melhor clarificação visual e a menor turbidez. Após a escolha do tempo de sedimentação ideal e do jarro com pH contendo melhor desempenho, repetiu-se o teste de pH do melhor jarro variando o seu intervalo em 0,5 ponto para menos e para mais, no intuito de confirmar o pH ideal com um espectro menor de intervalo.

b) Determinação da concentração dos coagulantes

Após conhecido o pH ideal e o tempo de sedimentação ótimo para cada teste, realizaram-se os ensaios para determinar a concentração ideal para o tratamento do efluente para cada coagulante cloreto férrico, sulfato de alumínio e policloreto de alumínio. A escolha das faixas de concentrações e preparação de cada coagulante foi obtida através de valores encontrados na literatura para tratamento de efluentes em recicladoras de plásticos. O critério de escolha da melhor concentração seria o jarro que proporcionasse a maior remoção de turbidez e do valor da DQO.

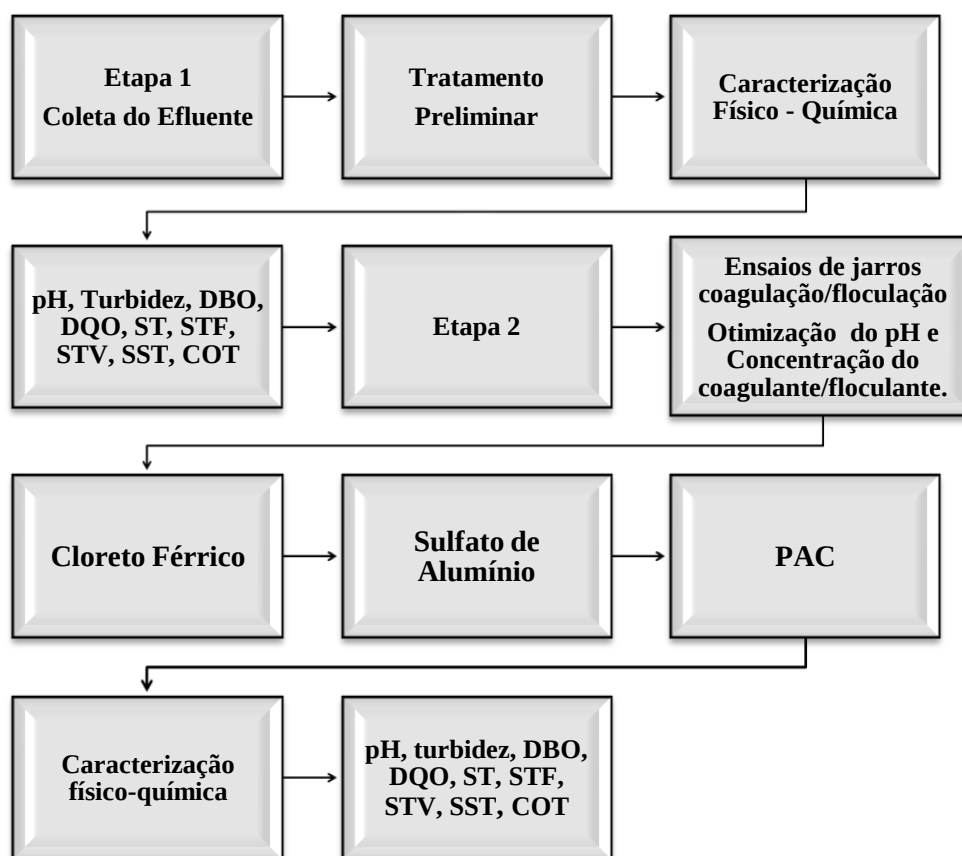
Para o teste 01, primeiramente foram adicionadas concentrações de 5mg.L^{-1} até 65mg.L^{-1} de coagulante cloreto férrico, sulfato de alumínio e policloreto de alumínio aos jarros com 1000 mL de amostra, já com pH ótimo. Os jarros entre a faixa de 35mg.L^{-1} a 65mg.L^{-1} apresentaram melhor desempenho e então foi refeito o teste utilizando concentração de 35mg.L^{-1} a 65mg.L^{-1} com intervalos de 5mg.L^{-1} . No teste 02, as concentrações iniciais para os

três coagulantes foram 10, 20, 30, 40, 50 e 60 mg.L⁻¹. Neste caso, os jarros com 30 e 60 mg.L⁻¹ apresentaram melhor desempenho e então foi refeito o teste utilizando concentração variando de 30 a 60 mg.L⁻¹ com intervalos de 10 mg.L⁻¹. Na sequência realizou-se um teste 03 onde foram adicionadas concentrações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65mg.L⁻¹ de coagulantes cloreto férrico, sulfato de alumínio e polícloro de alumínio.

c). Determinação da concentração do auxiliar de floculação poliacrilamida (PAM)

Confirmada a concentração ótima de cada coagulante nos testes efetuados, partiu-se para a determinação da concentração ideal do auxiliar de floculação poliacrilamida. A escolha da dosagem foi realizada por tentativas, apoiado por ensaios de laboratório. O poliacrilamida foi adicionado apenas para o cloreto férrico no teste 03, em dosagens variando de 0,10, 0,50, 1,00, 2,00, 4,00 e 10,0 mg.L⁻¹ do polímero, sendo o valor de 0,5mg.L⁻¹ o mais apropriado para o tratamento, foi utilizado o polímero para o cloreto férrico, por esse coagulante apresentar uma excelente remoção de turbidez para o pH do efluente bruto.

Figura 21. Fluxograma de coagulação/ floculação para tratamento do efluente



FONTE: Própria (2012).

3.4.4 Tratamento com Processo de Oxidação Avançada – Fenton

Para realização do processo de oxidação avançada com a reação de Fenton foram utilizados 500 mL da amostra e antes do início da reação, o pH do efluente foi corrigido para pH= 3. O pH do meio reacional é fator determinante para a eficiência do processo (SILVA, 2007).

Os reagentes utilizados foram: Peróxido de hidrogênio 30%, sulfato ferroso, ácido clorídrico 5M, tiosulfato de sódio 1M e hidróxido de sódio 0,2N. O volume de 500mL do efluente *bruto* foi disposto em dois béqueres de 1 L (um litro) encaminhados para o agitador magnético (Figura 22), adicionando-se concentrações do íon ferroso (Fe^{+2}) foram definidas em 200 mg.L^{-1} de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em 100 mg.L^{-1} de FeSO_4 .

Os valores de concentração propostos foram estabelecidos com base em testes preliminares e na literatura consultada, com relação entre os reagentes de 1:5.

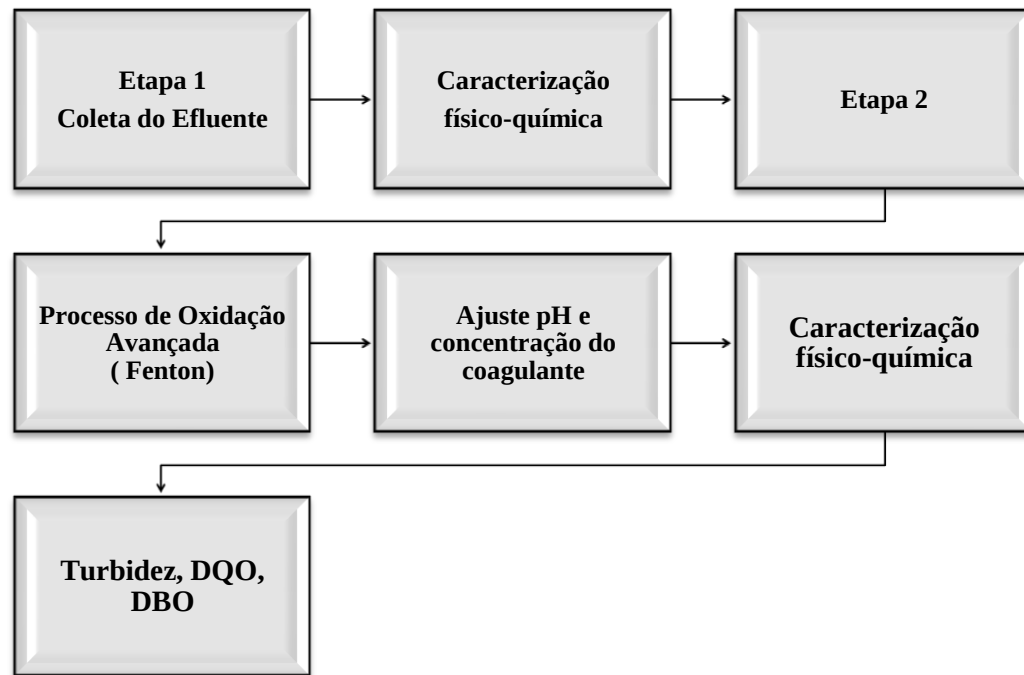
Figura 22 – Béquer com efluente no agitador magnético.



FONTE: Própria (2012).

O tempo de reação foi de 60 minutos com agitação magnética. Os parâmetros analisados para avaliar a eficiência do tratamento do processo Fenton foram turbidez, DQO, DBO as etapas desse processo de tratamento estão descritas no fluxograma da Figura 23.

Figura 23 – Fluxograma do tratamento com processo de oxidação avançado - Fenton.



FONTE: Própria (2012).

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são mostrados e discutidos os resultados, fundamentados nos aspectos teóricos envolvidos e o tratamento físico químico coagulação/ floculação e o processo de oxidação avançada, reação de Fenton. Confrontando os resultados obtidos com estudos realizados em recicladoras de plásticos para validação e enquadramento dos valores obtidos para significância científica.

4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO EFLUENTE GERADO

O resultado das análises físico-químicas realizadas nos efluentes coletados em três coletas em datas diferentes (efluente *bruto*), provenientes do tanque de lavagem da recicladora, está expresso na Tabela 3.

Tabela 3 - Características do Efluente *Bruto*.

PARÂMETROS	EFLUENTE BRUTO		
	Coleta 01	Coleta 02	Coleta 03
pH	6,0	6,3	6,5
Turbidez (NTU)	>88	>110	>130
DBO(mgO ₂ .L ⁻¹)	385,00	525	688,00
DQO (mgO ₂ .L ⁻¹)	1100,00	1525	1856,00
Razão DBO5/ DQO *	0,35	0,34	0,37
Sólidos Totais(mg.L ⁻¹)	2450,00	2600,00	3500,00
STF(mg.L ⁻¹)	1000,00	1245,00	1525,00
STV(mg.L ⁻¹)	1450,00	1355,00	1972,00
SST(mg.L ⁻¹)	525,00	602,00	736,00
COT (mg.L ⁻¹)	475,00	550,00	576,00

* Indica a biodegradabilidade de um efluente.

Fonte: Própria, (2012)

As características do efluente podem variar de acordo com a origem do material que está sendo lavado no processo, do clima, da quantidade de sujeira impregnada no material e das

condições de limpeza do tanque de lavagem. Figura 24 está ilustrando uma amostra do efluente bruto

Figura 24- Efluente Bruto.



Fonte: própria (2012)

Baseado nos valores expostos na Tabela 3, observou-se que o efluente *bruto* apresentou valores de pH próximos a neutralidade e os valores de turbidez com pequena variação. Pode-se constatar que para os resultados de DBO são apresentados valores baixos em relação aos de DQO, este valor é dado através da razão DBO/ DQO, em que representam valores de biodegradabilidade pouco acima de 0,30.

De acordo com Casali (2011), esses valores implicam em demonstrar que o resíduo gerado possui características semelhantes ao efluente do estudo realizado pelo autor citado, na empresa de embalagem plástica União, que apresentou relação DBO/ DQO na faixa de 0,36 evidenciando que o tratamento físico-químico deve ser aplicado ao efluente.

As três coletas apresentaram os valores bem próximos, acredita-se que a aproximação dos valores de DBO e DQO implica em que o grau de resíduos presentes nas embalagens lavadas seja proveniente de material com a mesma espécie de sujicidade.

Os resultados dos parâmetros pH, DQO e ST, estão próximos aos valores obtidos por Bordin (2012) em que apresentou para pH valor de 6 e DQO na faixa de $1100 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ e sólidos totais 2.089 mg.L^{-1} , para uma recicladora de plásticos sediada no município de Estação, norte do Rio Grande do Sul.

Em relação aos sólidos totais (Tabela 3), os valores apresentaram-se coerentes aos obtidos no efluente de lavagem de plásticos de recicladora acima de 1000 mg.L^{-1} , de acordo autora citada, em que na empresa em estudo a quantidade de sólidos voláteis se apresentou com

concentrações mais elevadas que os sólidos fixos, comprovando a presença de matéria orgânica em quantidade superior a quantidade de material inorgânico.

Rocha *et al.* (2005), no estudo de caracterização das águas de lavagem de uma recicladora de plásticos e viabilidade do seu reuso, obtiveram valores médios para DBO_5 $2334 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ e DQO $4367 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$, sólidos totais máximo 10.295 mg.L^{-1} . Teixeira *et al.* (1999) estudando a caracterização do efluente de lavagem de filmes plásticos pós-consumo, constatou para DBO_5 o valor de $1300 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$, DQO o valor de $7000 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ e sólidos totais 10.336 mg.L^{-1} ; enquanto que, Bordonalli *et al.* (2009) determinaram o valor de DBO_5 $2094 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$, DQO $4757 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ e sólidos totais 16.229 mg.L^{-1} . Por meio do estudo dos valores anteriores fica confirmado que o efluente gerado no processo de lavagem dos plásticos de usinas de reciclagem apresenta uma quantidade de sólidos elevada, isso se dá devido à variedade de material destinado ao processo ser proveniente de cooperativas de catadores, e de uma variedade de plásticos suspensos da trituração do material que são de diversas espécies.

Os resultados obtidos na análise físico-química, da recicladora do Distrito Industrial de João Pessoa – PB apresentaram valores correspondentes em relação aos trabalhos realizados com água de lavagem de empresas de reciclagem no Brasil, os resultados descritos indicaram que uma grande quantidade de sólidos presentes na amostra é matéria orgânica e compostos voláteis, sendo os sais e alguns elementos ferrosos, os quais constituem os fixos presentes em concentração menos elevada.

Com isso, fica evidente que os resíduos gerados no processo de lavagem na recicladora em estudo apresentaram valores diferenciados em todos os parâmetros quando comparados com os trabalhos dos autores supracitados, exceto Bordin (2012). O efluente gerado na etapa de lavagem dos plásticos em questão destaca-se como um ponto positivo para dá continuidade ao tratamento, com intuito de determinar o ponto ótimo de coagulação para aproximar os valores estabelecidos para descarte no meio ambiente de acordo com a resolução nº 430/2011 do Conselho nacional do meio ambiente, CONAMA e garantir uma eficiência no tratamento para reforçar a proposta de reuso na recicladora, possibilitando a esse estabelecimento um local propício para fazer parte do grupo de empresas sustentáveis.

4.2 COAGULAÇÃO/ FLOCULAÇÃO COM CLORETO FÉRRICO, SULFATO DE ALUMÍNIO, POLICLORETO DE ALUMÍNIO

Inicialmente com intuito de se obter condições ótimas de operação, foram realizados ensaios para otimização do pH com uso adequado de coagulantes: cloreto férrico, sulfato de

alumínio e policloreto de alumínio conforme já descrito na metodologia, com intenção de atingir uma excelente formação de flocos e melhor sedimentação das partículas em suspensão.

O teste de jarros foi utilizado para estabelecer as dosagens de reagentes e determinar o pH ótimo de floculação, através do controle da velocidade da mistura, e o tempo necessário para ocorrer a total sedimentação dos flocos, separando-se o líquido sobrenadante. Os resultados obtidos para redução da turbidez em diferentes dosagens de coagulante foi observado através dos flocos na parte inferior dos jarros, em que o tempo de 30 minutos foi suficiente para coletar o maior volume livre de partículas floculadas.

4.2.1 Comparação da Eficiência Entre os Coagulantes, para teste 01

a) Cloreto Férrico

Foram realizados separadamente ensaios de coagulação/floculação para cada coagulante: Cloreto férrico, sulfato de alumínio e policloreto de alumínio. Inicialmente os testes foram feitos com o coagulante cloreto férrico, em que foi realizado com o pH do efluente *bruto* entre a faixa de pH 6,0 e 6,5 para uma dosagem de 35mg.L^{-1} , haja visto que nos testes preliminares nessa dosagem houve excelente formação de flocos. De acordo com Cossich (2006), o cloreto férrico apresenta uma coagulação eficiente na faixa de pH de 4 a 11.

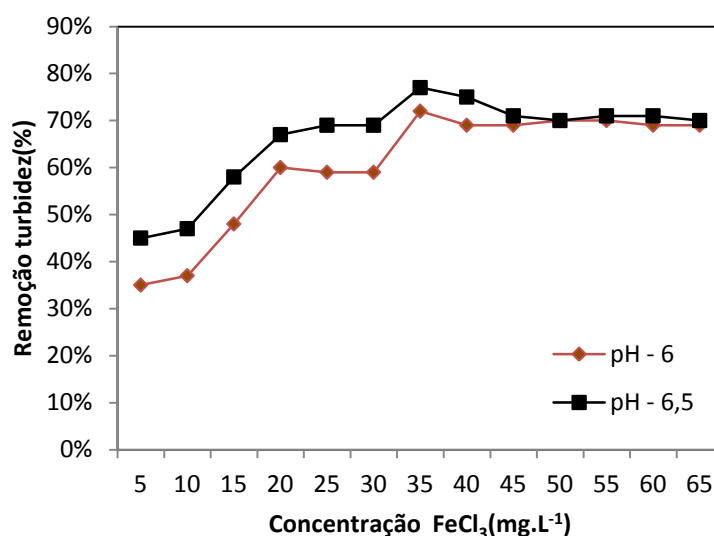
Para o cloreto férrico foi possível observar (Figura 25), que foram obtidas as maiores reduções de turbidez nos pH 6,5 e 6,0 com resultados próximos entre si. Para o parâmetro de turbidez as análises demonstraram uma redução entre 77% para pH= 6,5 e pH= 6,0 de 72% para as amostras analisadas.

De acordo com a resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), esse efluente tratado com cloreto férrico apresentou uma eficiência satisfatória para faixa de pH, compatível para o lançamento do efluente estabelecidos pela legislação vigente que para enquadramento deve apresentar valores entre as faixas de pH entre 5 e 9.

Comprovando que esse coagulante é eficiente para redução da turbidez na amostra analisada, conforme estudos realizados por Pavanelli (2001) que afirma que a utilização do coagulante químico cloreto férrico para tratamento de água de elevada turbidez, a coagulação eficiente ocorre na faixa de pH de 5,9 a 6,71 nas dosagem variando de 23mg.L^{-1} a 78mg.L^{-1} .

Na Figura 25 estão ilustrados os valores de remoção de turbidez em relação à dosagem do coagulante cloreto férrico.

Figura 25 - Remoção de turbidez com relação à dosagem de cloreto férrico.



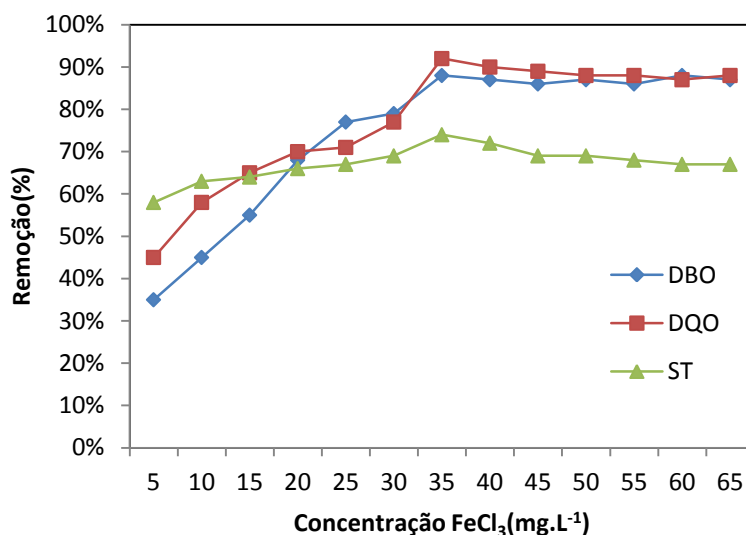
Braseola Júnior e Carrara (2000) estudaram o tratamento das águas residuárias geradas nos enxárgues das peças em processos de galvanoplastia do zinco, níquel-cromo e fosfatização em testes de jarros utilizando como coagulante o cloreto férrico. As menores concentrações de metais presentes nas amostras tratadas após realização dos ensaios de coagulação/floculação em teste de jarros foram obtidas com a utilização de 30mg.L^{-1} de cloreto férrico, em pH igual a 10, removendo 98,97% de turbidez. Sendo importante informar que nesse estudo realizado pelo autor citado houve um ajuste de pH com uso de reagentes químicos, acarretando gastos para o tratamento.

Rodrigues (2007) para o tratamento de efluente em uma indústria de papel utilizou nos testes de coagulação/floculação duas dosagens, uma de 45mg.L^{-1} em um pH de 5,5 obteve uma remoção de turbidez 88% e para um segundo teste utilizou o pH de 6 para uma dosagem de 80mg.L^{-1} do mesmo coagulante, obtendo-se uma remoção de 74%. A partir desse resultado da referida autora é possível perceber que para o efluente tratado no estudo foi utilizado uma dosagem menor de cloreto férrico, obtendo-se uma remoção próxima ao valor do segundo teste realizado no tratamento da autora citada.

Em relação ao parâmetro DQO, o cloreto férrico apresentou uma eficiência de remoção de 92% para DQO, na dosagem de 35mg.L^{-1} desse coagulante o efluente tratado apresentou um excelente resultado, os valores de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) em relação à dosagem de coagulante cloreto férrico apresentou uma eficiência de remoção de 88% que de acordo com a resolução nº 430/2011 do Conselho nacional do meio ambiente (CONAMA), apresenta um valor de remoção para descarte compatível com a legislação que é de DBO 60%. Para os sólidos totais apresentou uma eficiência de remoção de 74%, em que os sólidos totais são caracterizados a partir das partículas presentes em suspensão.

Na Figura 26 estão ilustrados os valores de remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO) e Sólidos totais (ST) em relação à dosagem de coagulante cloreto férrico.

Figura 26 - Remoção de DQO, DBO e ST com relação à dosagem de cloreto férrico.



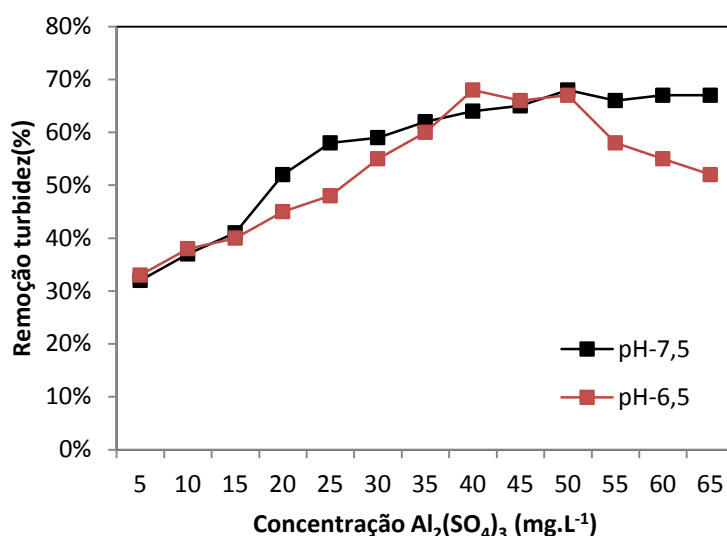
Carvalho e Resende (2002) no tratamento de águas residuárias do esgoto de Goiana obteve uma remoção de DQO de 84% numa dosagem de 30mg.L^{-1} e na dosagem de 35mg.L^{-1} de cloreto férrico apresentando uma remoção de 72% para DBO. Embora não se tratar do mesmo tipo de água residuária, é visto a eficiência do cloreto férrico no tratamento de coagulação/floculação para o efluente gerado na recicladora de plásticos.

b) Sulfato de alumínio

Para os ensaios com o sulfato de alumínio foi necessário ajuste de pH, devido ao pH tornar-se ácido a cada adição de dosagem de coagulante; o pH 6,5 a 7,5 levaram a maiores reduções de turbidez de 67% para pH= 6,5 e 68% para pH= 7,5 numa dosagem de 50mg.L^{-1} desse coagulante. Foram obtidos excelentes resultados em relação ao parâmetro turbidez para o teste com o sulfato de alumínio, em que para esse coagulante se optou por trabalhar no valor de pH= 7,5 nesse valor a amostra apresentou ótima formação de flocos.

Na sequência do tratamento, foram realizados testes com o coagulante sulfato de alumínio para remoção de turbidez, conforme ilustrado na Figura 27.

Figura 27 - Remoção de turbidez em relação à dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.



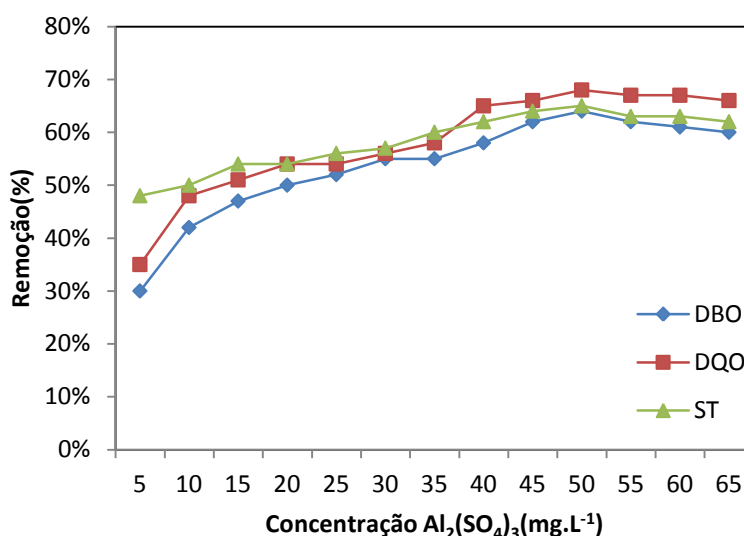
Bordin (2012) no tratamento do efluente de recicladora de plásticos numa dosagem de 1000 mg.L⁻¹ de sulfato de alumínio obteve uma remoção de turbidez 97%.

Teixeira *et al.* (2005) constatou que na empresa que foi realizado seu estudo, sobre o tratamento do efluente gerado na lavagem dos plásticos, os resultados obtidos para o efluente no pH abaixo de 5, adicionando-se o sulfato de alumínio, evidenciaram que a eficiência foi reduzida, no entanto a eficiência de remoção de turbidez apresentou melhores resultados com esse coagulante quando condicionado com pH entre 6 e 9. O mesmo autor utilizou uma dosagem de 100mg.L⁻¹ obtendo uma remoção de turbidez acima de 92,94% para o sulfato de alumínio.

Com intuito de um tratamento que proporcionasse uma boa remoção de DBO, DQO, ST, para a dosagem de 50mg.L⁻¹ de sulfato de alumínio, o referido efluente em estudo apresentou para DBO uma eficiência de 64%, de DQO 68% e para sólidos totais de 65%, logo após o tratamento com uso do coagulante citado, foi observado que os parâmetros DBO, DQO e ST apresentaram uma eficiência de remoção com valores distantes ao cloreto férrico, além da dosagem para o sulfato de alumínio ser maior, sendo inviável o uso desse coagulante para o tratamento do efluente em estudo para empresa em questão, em que o local objeto de estudo busca por alternativas de baixo custo e resultados eficientes.

Na Figura 28 estão ilustrados os valores de remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO), demanda Bioquímica de oxigênio(DBO) e sólidos totais(ST) em relação à dosagem de coagulante do sulfato de alumínio.

Figura 28 - Remoção de DBO, DQO e ST com relação à dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.



Bordin (2012) obteve remoção de DQO de 100% e sólidos totais de 97,40% no tratamento de coagulação/floculação em teste de jarros com concentração de 1000mg.L^{-1} de sulfato de alumínio. É visto que, embora a autora tenha obtida uma eficiência superior à obtida para o efluente em estudo, vale salientar que a dosagem de coagulante usada para o tratamento da autora supracitada foi superior à usada para o tratamento do efluente de recicladora do distrito industrial de João Pessoa que foi de 50mg.L^{-1} .

c) Policloreto de alumínio (PAC)

Para o coagulante policloreto de alumínio, o pH 6,5 e 8,5 apresentaram uma pequena variação na redução de turbidez, o valor de 47% a 53%, respectivamente para dosagem de 55mg.L^{-1} .

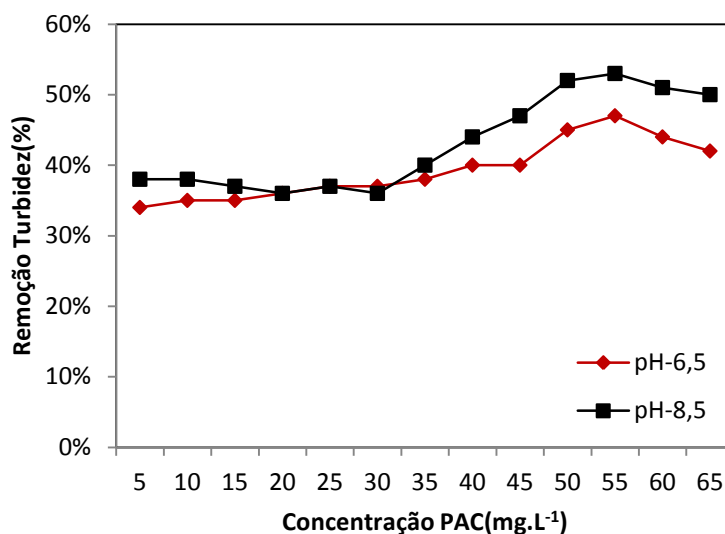
A partir do uso do policloreto de alumínio se optou por trabalhar no valor de pH= 8,5 numa dosagem de 55mg.L^{-1} , sendo indicado esse valor tomando como referência os ensaios preliminares que atingiram uma boa formação de flocos e uma variação significativa, apresentando uma pequena variação na redução de 53% turbidez.

Teixeira et. al (1999) para remoção de turbidez fixou o pH em 5 e variou-se a dosagem de policloreto de alumínio de 50mg.L^{-1} a 500mg.L^{-1} obteve uma remoção de 95% turbidez.

Pavanelli (2001) aponta que o valor de pH ótimo para o uso do PAC para o tratamento de coagulação/floculação corresponde a pH entre 6,73 e 8,6 na dosagem de 13mg.L^{-1} a valores maiores que 65mg.L^{-1} .

Na Figura 29 estão ilustrados os valores de remoção de turbidez em relação à dosagem de coagulante policloreto de alumínio (PAC).

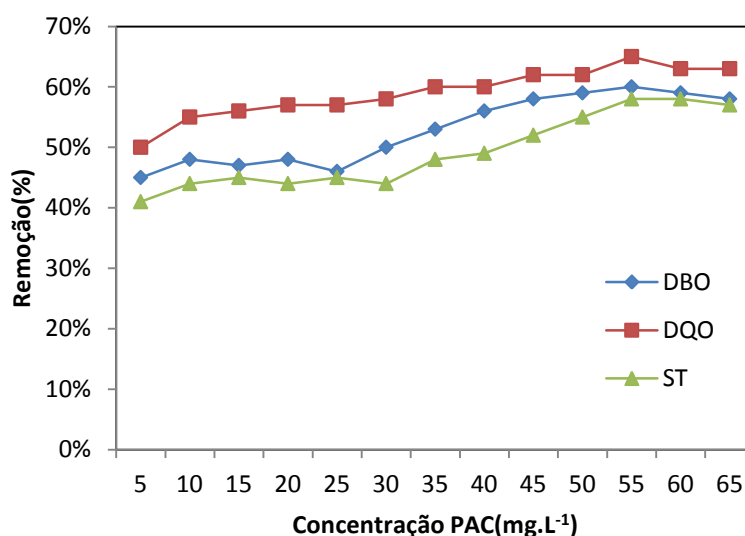
Figura 29 - Remoção turbidez em relação à dosagem de policloreto de alumínio (PAC).



Os parâmetros DBO, DQO e ST foram avaliados para o tratamento de coagulação com o policloreto de alumínio (PAC), uma dosagem 55mg.L⁻¹, apresentando excelentes valores de remoção para os três parâmetros avaliados. Os valores de remoção obtidos no tratamento com PAC foram 60% para DBO, 65% para DQO e 58% para ST. A partir dos resultados obtidos fica evidente que o coagulante cloreto férrico foi o que apresentou melhores valores para remoção dos parâmetros: pH, turbidez, DQO, DBO e ST.

Na Figura 30 estão ilustrados os valores de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio(DQO) e Sólidos Totais (ST) em relação à dosagem de coagulante policloreto de alumínio (PAC).

Figura 30 – Remoção de DBO, DQO e ST em relação à dosagem de policloreto de alumínio.



Schoenhals (2006), para o tratamento de efluentes avícola com uso de uma dosagem de 80mg.L^{-1} de PAC, obteve uma remoção baixa de 25% para sólidos totais (ST). Para o efluente da recicladora de plásticos foi utilizado uma dosagem de PAC de 55mg.L^{-1} apresentando remoção de 58% de sólidos totais (ST).

O coagulante cloreto férrico apresentou, em comparação ao sulfato de alumínio e policloreto de alumínio, uma redução na turbidez e frações orgânicas eficiente e econômica, comprovando através da menor dosagem o melhor resultado de remoção, além de favorecer para uma excelente formação de flocos, apresentando um custo inferior aos demais coagulantes usados nos testes, sem necessidade de ajuste de pH reduzindo o gasto de reagentes.

Figura 31. Clarificado do efluente após tratamento de coagulação/floculação para (cloreto férrico, sulfato de alumínio e policloreto de alumínio).

Figura 31. Clarificado do efluente após tratamento de coagulação/floculação – teste 01



Fonte: Própria (2012)

Na Tabela 4 estão apresentadas as faixas de dosagem de trabalho para cada coagulante estudado, a maior remoção de turbidez, DBO, DQO, ST, obtida pelo coagulante, após a realização dos ensaios preliminares.

Tabela 4 – Maior percentual de remoção de turbidez, DBO, DQO, ST para cada agente coagulante.

COAGULANTES	%REMOÇÃO				DOSAGEM (mg.L^{-1})
	Turbidez	DBO	DQO	ST	
Cloreto Férrico	77	88	92	84	35
Sulfato de alumínio	68	64	68	65	50
PAC	53	60	65	58	55

Fonte: Própria (2012)

A partir dos valores obtidos e expressos na tabela 4, é possível verificar a eficiência do cloreto férrico em relação aos demais coagulantes utilizados (sulfato de alumínio e policloreto de alumínio), que para uma boa remoção, é necessário uma dosagem maior de coagulante para uma maior eficiência no tratamento, o que contribuirá para o aumento dos gastos na empresa em estudo.

O cloreto férrico propicia para a empresa uma redução nos gastos na compra desse reagente químico aumentando com isso, o interesse em submeter o efluente ao tratamento, para amenizar os problemas ambientais e contribuir para viabilidade econômica.

4.2.2 Comparação da Eficiência Entre os Coagulantes, para teste 02

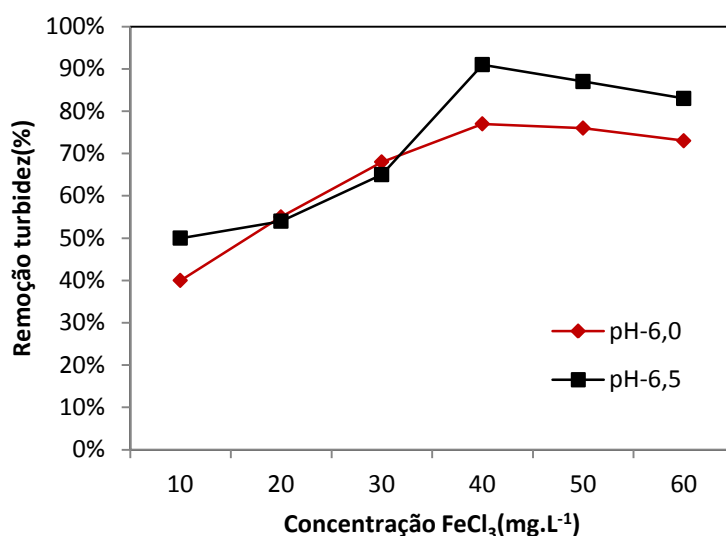
O efluente bruto entre coletas apresentaram uma pequena variação nos valores de carga orgânica, em virtude dessas modificações foi necessária à introdução de mudanças nas condições experimentais, otimizadas para que os resultados comparativos entre reagentes não fossem prejudicados. Os parâmetros do efluente *bruto* apresentaram pequenas alterações, proporcionando com que a quantidade de coagulante e o valor de pH utilizados no tratamento do efluente anterior (teste 1) apresentassem valores não totalmente adequados nesta nova amostra, desta forma realizou-se nova otimização.

a) Cloreto Férrico

Para os ensaios de coagulação para o cloreto férrico, optou-se por testes em uma dosagem de 40mg.L^{-1} , devido ensaios preliminares para o efluente em estudo apresentar uma boa remoção de turbidez nessa dosagem, foi observado no teste 01 que a variação na faixa de entre $\text{pH}= 6,0$ e $\text{pH}=6,5$ as amostra apresentaram uma excelente clarificação e ótima formação de flocos. Com isso, o pH do efluente bruto foi mantido e apenas sendo variado a dosagem do coagulante, onde foi percebido que houve uma crescente remoção de turbidez de 91% para o $\text{pH}=6,5$ e 77% de remoção para turbidez no $\text{pH}= 6,0$. Os valores obtidos para remoção, implicam na qualidade do efluente analisado e os materiais que foram lavados no período da coleta, ocasionando uma diferença no percentual de remoção de turbidez entre o efluente utilizado para teste 01 e teste 02.

Na Figura 32 estão ilustrados os valores apresentados para remoção de turbidez nos dois valores de pH testados em uma dosagem de 40mg.L^{-1} de cloreto férrico.

Figura 32 - Remoção de turbidez em relação à dosagem de coagulante cloreto férrico

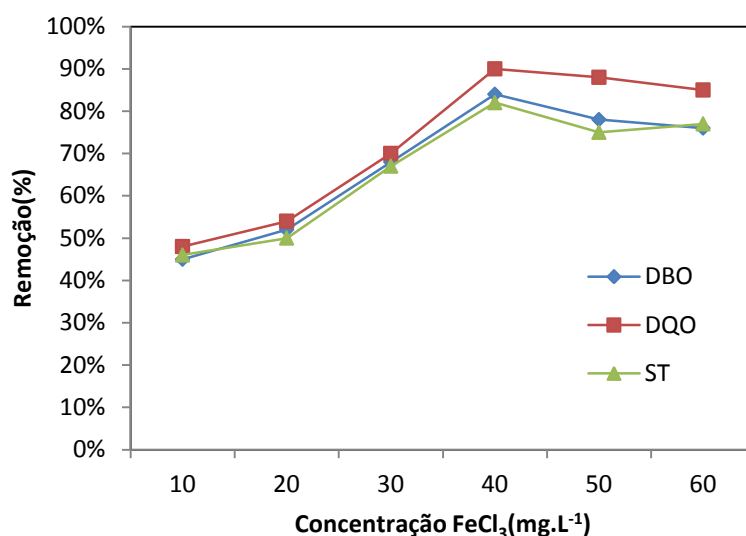


É observado na figura 32 nas linhas do gráfico uma queda a partir do aumento da dosagem de 40mg.L^{-1} para 50mg.L^{-1} e 60mg.L^{-1} de cloreto férrico, resultando na redução nos valores de remoção. Tal fato ocorre devido o excesso de cloreto férrico na solução, que irá acarretar ao referido coagulante a não participação na reação de coagulação/ floculação, ficando este em solução e aumentando os valores dos parâmetros de turbidez.

Para os ensaios realizados com o cloreto férrico, optou-se por testes de coagulação na dosagem entre 40mg.L^{-1} , confirma-se que a partir dessa concentração foram obtidas as maiores reduções percentuais de 90% de DQO, 84% DBO e 82% Sólidos Totais. Portanto, a dosagem de 40mg.L^{-1} foi a concentração do agente coagulante otimizada para o teste 2.

Na Figura 33 estão ilustrados os valores de remoção de turbidez, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos Totais (ST) em relação à dosagem de coagulante cloreto férrico.

Figura 33 - Remoção DQO, DBO e ST em relação à dosagem de cloreto férrico (FeCl_3).



Rodrigues (2007) para o tratamento de efluente em uma indústria de papel utilizou nos testes de coagulação/floculação duas dosagens, uma de 45mg.L^{-1} obtendo-se uma remoção de DQO de 58% e em um segundo teste uma dosagem de 80mg.L^{-1} uma remoção de DQO de 51%, sendo verificado que para o efluente da recicladora de plástico em estudo a dosagem do coagulante cloreto férrico foi menor e mais eficiente.

Embora seja um efluente de origem diferente, porém com características de carga orgânica elevada, é constatada a eficiência do coagulante cloreto férrico numa dosagem inferior e de excelente eficiência para a DQO. A legislação do Conselho nacional do meio ambiente (CONAMA) na resolução nº 430/2011, que descreve os limites de descarte de efluente não informa o valor para DQO, porém o efluente em estudo numa dosagem de 40mg.L^{-1} apresentou uma remoção de 90% de DQO considerada eficiente, porém para DBO a resolução citada estabelece um limite de 60%, onde para o tratamento do efluente da recicladora foi obtido 84% de remoção sendo considerado um excelente tratamento.

b) *Sulfato de Alumínio*

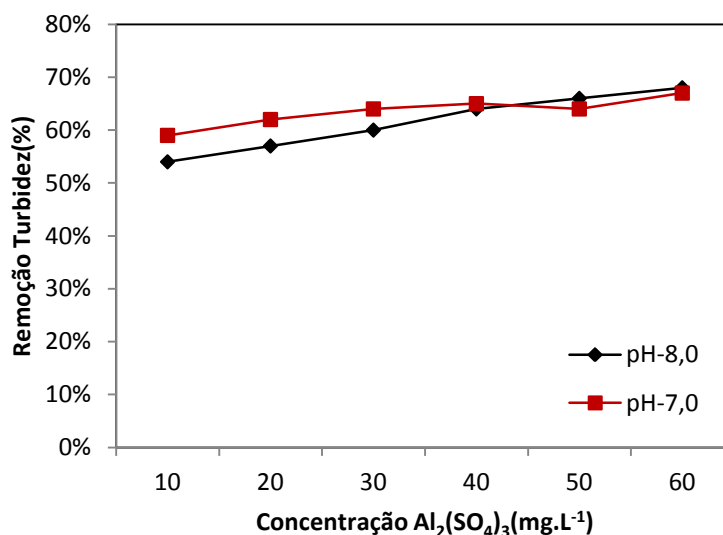
Para uma dosagem de 60mg.L^{-1} desse coagulante. Foram obtidos uma remoção de turbidez de 68% para um $\text{pH} = 8,0$ para o teste com o sulfato de alumínio, não deixando de considerar as dosagens 40mg.L^{-1} de 50mg.L^{-1} para $\text{pH} = 7,0$ com uma remoção de 65% e 67% de turbidez em que para esse coagulante os dois valores de $\text{pH} = 7,0$ e $8,0$ para essa amostra são obtidos resultados satisfatórios e um boa formação de flocos.

SANTOS (2001) obteve maior eficiência na remoção da turbidez de esgoto sanitário com a utilização do coagulante sulfato de alumínio, na faixa de pH 7 a 8, obtendo eficiências de

remoção superiores a 96% para uma dosagem de 300mg.L^{-1} , dosagem superior a utilizada para o tratamento do efluente em questão.

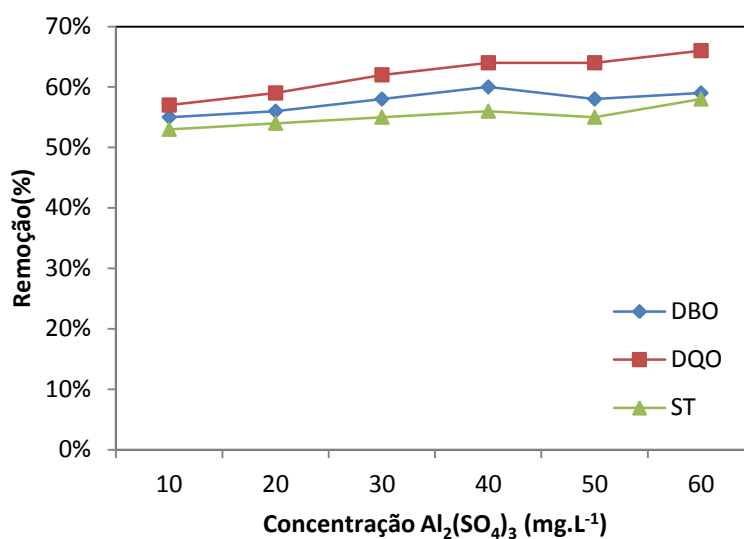
Figura 34 - Estão ilustrados os valores de remoção de turbidez em relação à dosagem de sulfato de alumínio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Figura 34 - Remoção de turbidez em relação à dosagem de sulfato de alumínio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.



A alteração nas dosagens se deu devido aos testes de jarro que apresentaram visualmente uma elevada formação de flocos, em que os resultados de turbidez, DQO, DBO e ST foram reduzidos em relação o cloreto férrico, porém para o sulfato de alumínio não foram apresentadas alterações nos valores de turbidez, DQO, DBO e ST (figura 35). Para ocorrer uma maior formação de flocos e melhor eficiência de remoção para o referido coagulante, houve a necessidade do ajuste de pH, pois a amostra ao adicionar as dosagem estabelecidas no tratamento preliminar variavam tornando-se ácidas.

Figura 35 - Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Totais (ST) em relação à dosagem de sulfato de alumínio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

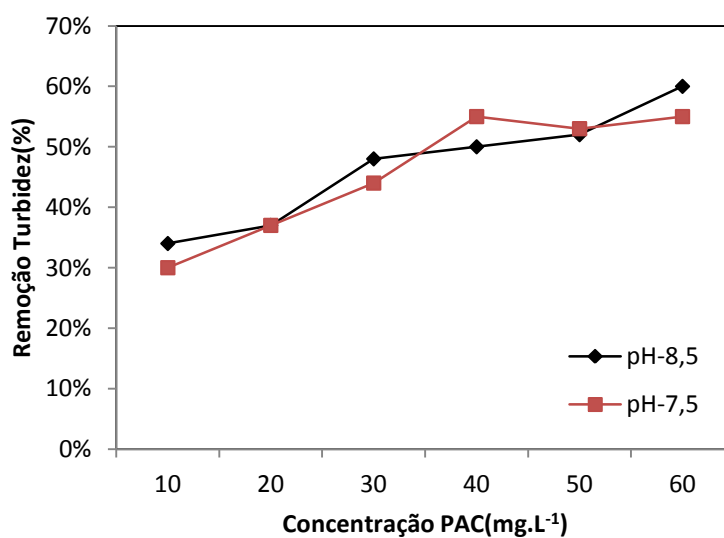


c) Policloreto de Alumínio PAC

Para o policloreto de alumínio houve uma redução de 60 % de turbidez na faixa de $\text{pH}=8,5$ na dosagem de 60mg.L^{-1} de PAC e no $\text{pH}=7,5$ na dosagem de 40mg.L^{-1} de remoção de turbidez de 55% . Através da linha crescente do aumento da dosagem do PAC no gráfico, é possível perceber que o aumento na dosagem não implica em uma maior eficiência para remoção de turbidez.

Na Figura 36 estão ilustrados os valores de remoção de turbidez em relação à dosagem de PAC.

Figura 36 - em relação à dosagem de policloreto de alumínio (PAC).

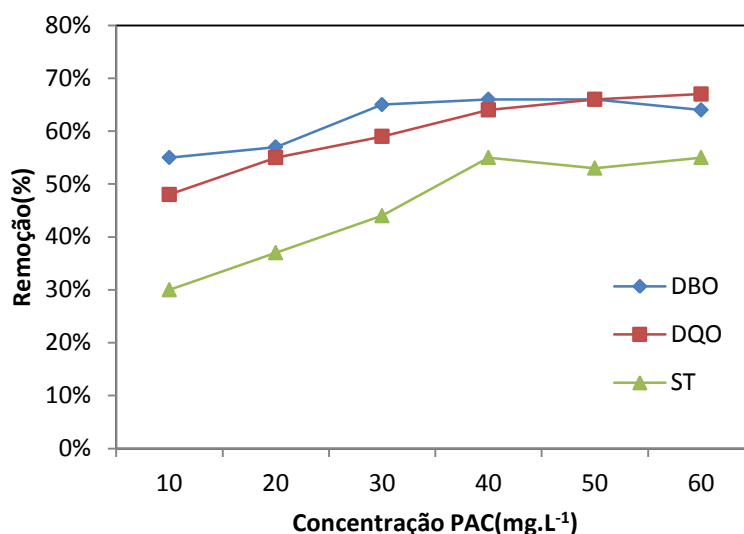


De acordo com a figura 37, é possível identificar que o valor de DBO apresentou em duas dosagens, remoção acima de 60% na faixa de 40mg.L^{-1} e 60mg.L^{-1} , porém para os sólidos totais a linha do gráfico também apresenta uma remoção pouco acima de 50%, para essa mesma dosagem com remoção de 50% apresentando um decréscimo na dosagem de 50mg.L^{-1} para os valores de DBO e ST. Em relação a DQO as a linha do gráfico expressa que a medida que aumentava a dosagem de PAC, a eficiência de remoção aumentava, apresentando uma remoção de 67% para demanda química de oxigênio em uma dosagem de 60mg.L^{-1}

Com isso, embora o coagulante apresente uma remoção superior a 50% para as frações orgânicas avaliadas, a dosagem elevada torna sua aplicação para o efluente em estudo pouco atrativa, implicando em custos, pois necessita de um ajuste de pH.

Na Figura 37 estão ilustrados os valores de remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Totais (ST) em relação à dosagem de coagulante PAC.

Figura 37 - Remoção da DBO, DQO e ST em relação à dosagem de PAC.



O sulfato de alumínio apresentou uma boa formação de flocos, a partir de uma dosagem de 60mg.L^{-1} , na mesma dosagem aplicada para o policloreto de alumínio, ambas com valores superiores à utilizada pelo cloreto férrico de 40mg.L^{-1} . Para o tratamento do efluente em estudo, essa dosagem implica um consumo superior e uma eficiência de remoção inferior para as frações orgânicas em comparação com o cloreto férrico, caso esses coagulantes fossem utilizados para o tratamento do efluente não seria viável economicamente por apresentar preço superior.

Figura 38. Clarificado do efluente após tratamento de coagulação/floculação – teste 02



Fonte: Própria

Tabela 5 - Maior percentual de remoção de Turbidez, DBO, DQO, ST, para cada agente coagulante.

COAGULANTES	%REMOÇÃO				DOSAGEM (mg.L ⁻¹)
	Turbidez	DBO	DQO	ST	
Cloreto Férrico	91	84	90	82	40
Sulfato de alumínio	68	59	66	58	60
PAC	60	66*	67	58	40*- 50

*Dosagem para maior remoção de DBO coagulante PAC

Fonte: Própria (2012)

Conforme os resultados obtidos na tabela 5, no teste 02 é verificado que os efluentes analisados em meses diferentes, apresentaram alterações nos valores de fração orgânica, em relação aos resultados do teste 01, expressos na tabela 4, sendo considerado normal em uma recicladora que recebe diferentes materiais.

Tendo em vista o uso de três coagulantes diferentes nas etapas de coagulação/floculação para o tratamento de resíduos gerados na lavagem dos plásticos submetidos ao processo de reciclagem, a partir dos valores obtidos foi observada redução dos parâmetros turbidez, DQO, DBO e ST para os três coagulantes.

O estudo visa obter resultados satisfatórios, tanto em caráter ambiental, quanto econômico, embora haja uma boa formação de flocos e uma boa eficiência de remoção para os parâmetros avaliados, a menor dosagem implica em economia para uma empresa que pretende submeter o efluente para um tratamento com uso de reagentes químicos, é visto que o

policloreto de alumínio apresentou bons resultados, comparando com o sulfato de alumínio, apenas em relação à turbidez teve uma menor eficiência, porém em relação à DBO apresentou uma remoção superior numa menor dosagem de 40mg.L^{-1} , porém possui um elevado custo, descartando a possibilidade de adotá-lo para o tratamento em questão.

Ao finalizar o tratamento do efluente dos dois testes avaliadas, o coagulante cloreto férrico foi considerado o mais eficiente para remoção dos parâmetros analisados tanto no sentido financeiro quanto ambiental apresentando menores dosagens, maior eficiência e um pH de remoção de DBO compatível com o estabelecido pela legislação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que é pH de 5 a 9 e DBO de 60mg.L^{-1} de acordo com a resolução nº 430/2011 para o descarte de efluentes.

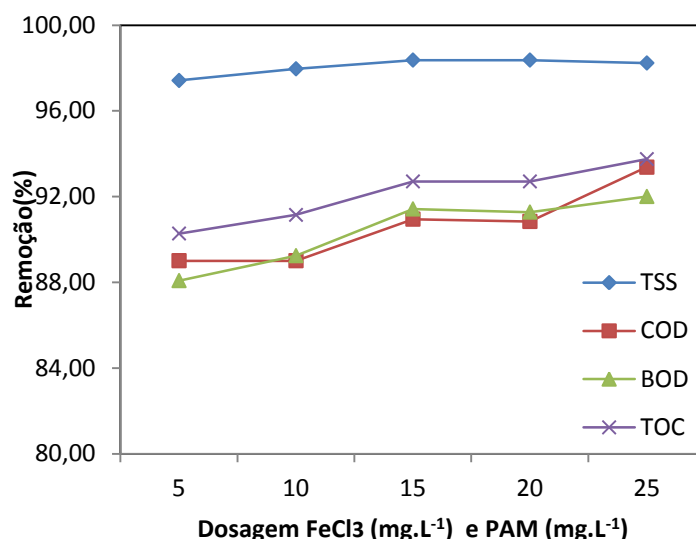
4.2.3 Comparação da Eficiência Entre os Coagulantes, para teste 03

Com o intuito de comprovar o uso do coagulante cloreto férrico, sulfato de alumínio e PAC no tratamento de coagulação/ floculação foi realizado um teste 03. Os ensaios foram executados em testes de jarros, conforme velocidades descritas na metodologia, para o coagulante cloreto férrico não foi necessário o uso de reagentes para ajuste de pH, pois o efluente apresentou pH próximo a neutralidade para os testes nas dosagens variando de 5mg.L^{-1} a 65mg.L^{-1} . Para os coagulantes sulfato de alumínio e PAC, foi realizada a otimização do pH utilizando HCl a 1% e NaOH 1%, ajustando-se o valor para faixa de melhor formação de flocos para cada coagulante, observado em testes preliminares. Os parâmetros monitorados foram: SST, COD, BOD, TOC a metodologia empregada para as análises foi o Fotômetro Pastel-UV SECOMAM.

a) Cloreto Férrico e floculante poliacrilamida

O efluente *bruto* foi submetido a testes de jarros, para obtenção da melhor concentração do coagulante quanto para o floculante poliacrilamida, de acordo com descrito na metodologia, o uso do cloreto férrico variou nas dosagens de 5mg.L^{-1} a 25mg.L^{-1} , em que apresentou com o pH do efluente *bruto*, pH= 6,5, adicionou-se $0,5\text{mg.L}^{-1}$ de poliacrilamida. A dosagem do floculante foi obtida a partir dos ensaios preliminares que apresentou um aumento nos flocos e clarificação na amostra, foram obtidos os resultados ilustrados na Figura 39.

Figura 39 - Remoção de TSS, COD, BOD, TOC com relação à dosagem de cloreto férrico e PAM.



Os SST apresentaram uma eficiência de remoção na dosagem de 15mg.L⁻¹ a 20mg.L⁻¹ de 98,37% na redução de partículas em suspensão, para DQO e DBO nessa mesma dosagem com 90,95% de eficiência para DQO e 91,42% para DBO, em que os valores foram considerados excelentes numa pequena dosagem de cloreto férrico e uma pequena dosagem de 0,5mg.L⁻¹ de poliacrilamida, para o carbono orgânico total que estima o teor de matéria orgânica, onde é quantificado o carbono orgânico presente, na dosagem de 25mg.L⁻¹ apresentou a maior redução de 93,75%.

b) Coagulante Cloreto Férrico Sem Uso de Floculante e Sem Reagente para Ajuste de pH

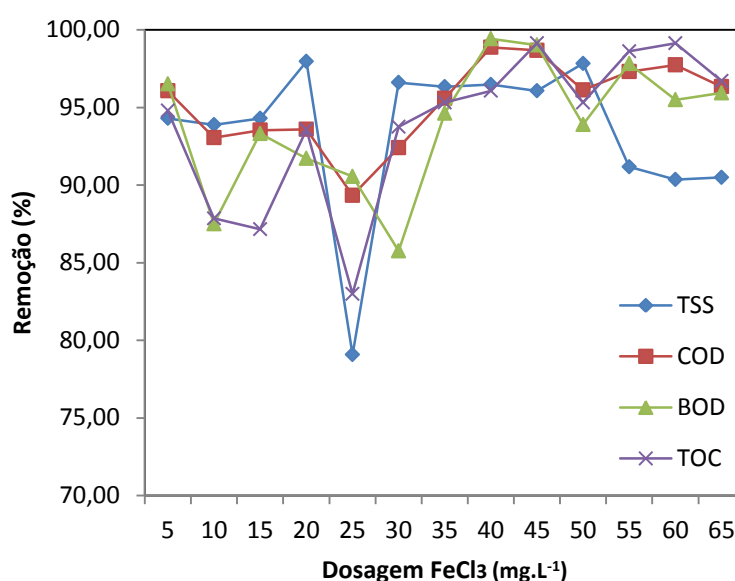
O efluente foi submetido ao tratamento de coagulação/ floculação em uma dosagem variando entre 5mg.L⁻¹ e 65mg.L⁻¹ do coagulante cloreto férrico, foram obtidos valores de remoção para os parâmetros SST, DQO, DBO e COT, em que foi observado o aspecto visual e a formação de flocos para todas as dosagens, destacando-se as melhores remoções para 40mg.L⁻¹, apresentando valor de remoção maiores que o teste 01 na mesma dosagem, em que SST apresentou 96,47% um valor de elevada eficiência no tratamento, 98,87% de DQO, 99,42% de DBO e remoção de 99,13% de carbono orgânico total.

Santos(2006) no tratamento de coagulação/floculação em esgoto sanitário na dosagem de 48mg.L⁻¹ de cloreto férrico obteve um remoção de DQO de 72%.

Rodrigues (2007) no tratamento de efluente de na Industria de papel e celulose com 80mg.L^{-1} de dosagem de cloreto férrico obteve-se 54% de remoção de DQO, a partir dos valores obtidos, é possível comprovar a eficiência do tratamento para o efluente da recicladora de plásticos, que apresentou remoção superior em uma menor dosagem quando comparado com os autores citados.

Na Figura 40 estão ilustrados os valores de remoção de TSS, COD, BOD, TOC com relação à dosagem de cloreto férrico (FeCl_3).

Figura 40 - Remoção de TSS, COD, BOD, TOC com relação à dosagem de FeCl_3 .



A partir dos resultados obtidos, na figura 40 demonstra que o teste 03 apresentou uma ótima eficiência de remoção, o coagulante cloreto férrico na dosagem de 40mg.L^{-1} apresentou bom resultado sem a necessidade do uso de floculantes e ajuste de pH, em que tornou o tratamento economicamente viável e de elevada eficiência.

Para o tratamento realizado por Carvalho e Resende (2002) na ETE de Goiana o uso da dosagem de 35mg.L^{-1} de cloreto férrico apresentou uma remoção inferior a 80% para SST. Com isso, é percebido o bom desempenho do cloreto férrico para uma dosagem próxima à utilizada para o tratamento do efluente da recicladora. A determinação dos SST é importante, pois auxilia na previsão de lodo produzido nos sistemas de tratamento.

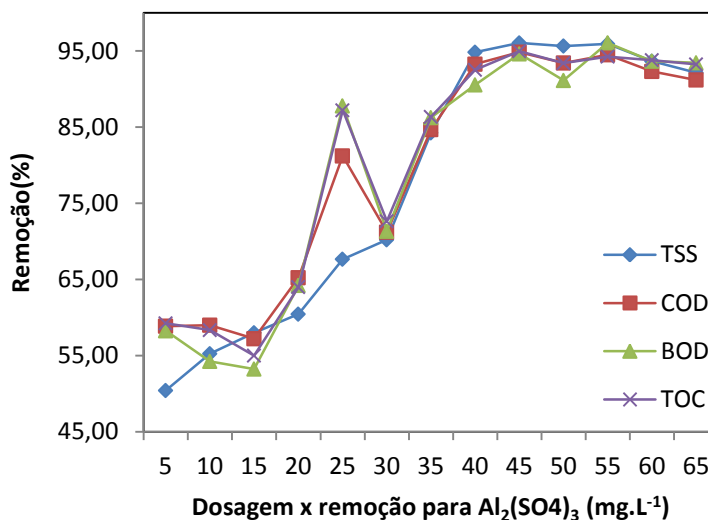
b) Sulfato de Alumínio

Para o tratamento do efluente com o coagulante sulfato de alumínio, foram realizados procedimentos semelhantes aos dos testes 01 e 02, alterando-se a dosagem e ajustando o pH

para 8,0. O sulfato de alumínio obteve a melhor eficiência de remoção para os parâmetros analisados na dosagem de 45mg.L^{-1} , em que os SST apresentaram 96,06%, DQO 94,84%, DBO 94,62% e COT 94,97%. O sulfato de alumínio apresentou resultados eficientes nessa dosagem, porém para obtenção do desempenho foi necessário o ajuste do pH, pois a amostra tornou-se ácida a cada dosagem adicionada, em que foi necessário o uso de HCl 1% e NaOH 1%, o sulfato de alumínio apresentou o melhor resultado de remoção para o teste 03 com dosagem de 45mg.L^{-1} , menor que a aplicada para o teste 02, que foi de 60mg.L^{-1} , em que houve um resultado a eficiente para o teste 03, apresentando uma variação nos parâmetros DBO de 59% a 94,62% e de DQO de 66% para 94,84% entre os teste 02 e teste 03.

Na Figura 41 estão ilustrados os valores de remoção de TSS, COD, BOD, TOC com relação à dosagem de sulfato de alumínio.

Figura 41 - Remoção de TSS, COD, BOD, TOC com relação à dosagem de sulfato de alumínio.



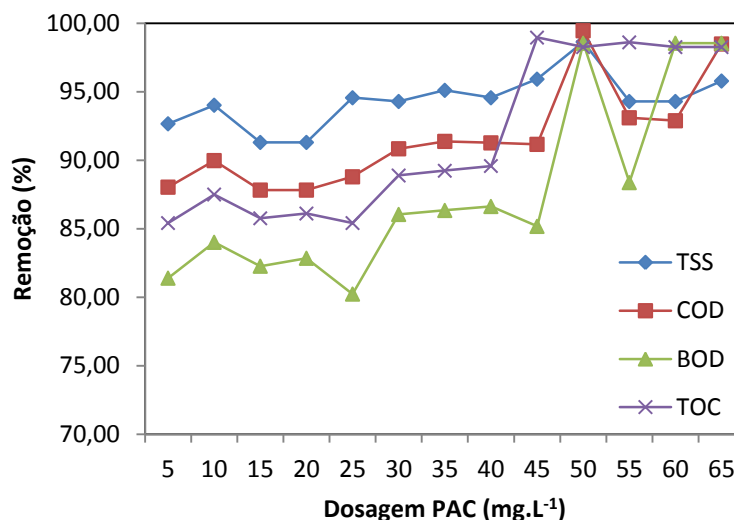
c) Coagulante Policloreto de Alumínio

O efluente descartado da lavagem dos plásticos foi submetido a um novo teste de coagulação/ floculação, para esse ensaio foi reduzido a dosagem de policloreto de alumínio (PAC) para 50mg.L^{-1} e ajustado o pH= 8,5 obtendo-se uma eficiente remoção para os parâmetros avaliados, em que 98,64% são de SST 99,46% de DQO 98,55% de DBO e COT 98,26%.

Schoenhals (2006), obteve para o tratamento de efluentes avícola com uso de uma dosagem de 80mg.L^{-1} de PAC um bom desempenho de 87,5% para remoção de SST. Com uma dosagem inferior o efluente em estudo obteve uma excelente remoção.

Na Figura 42 estão ilustrados os valores de remoção de TSS, COD, BOD, TOC com relação à dosagem de policloreto de alumínio (PAC).

Figura 42 - Remoção de TSS, COD, BOD, TOC com relação à dosagem de PAC.



Embora a eficiência do tratamento tenha sido superior aos demais coagulantes, na dosagem de 50mg.L⁻¹ com ajuste de pH, vale ressaltar que o PAC apresenta alto custo, inviabilizando o tratamento pelo fato da empresa não produzir uma demanda elevada de efluente e nem necessidade de tratamento tão restrito, e sim para reuso não potável, com isso a aplicação de coagulantes de alto custo acarretaria em gastos excessivos para empresa.

A partir dos resultados do efluente tratado pelo processo de coagulação/ floculação, foi comprovado que da aplicação dos coagulantes: cloreto férrico, sulfato de alumínio e PAC e cloreto férrico adicionado PAM, para os três testes realizados, o melhor tratamento foi obtido com o uso do coagulante cloreto férrico, observando que para uma boa eficiência, foram utilizadas pequenas dosagens sem o auxílio de reagentes para ajuste de pH e de floculantes.

Figura 43. Clarificado do efluente após tratamento de coagulação/floculação teste 03



Fonte: Própria (2012)

Os valores obtidos no tratamento de coagulação/floculação através da absorção do espectro UV das amostras estão expressos na tabela 6.

Tabela 6 - Maior percentual de remoção, TSS BOD, COD, TOC em relação a dosagem para cada agente coagulante.

COAGULANTES	%REMOÇÃO				DOSAGEM (mg.L ⁻¹)
	TSS	BOD	COD	TOC	
Cloreto Férrico	96,47	98,87	99,42	99,13	40
Cloreto Férrico + PAM*	98,37	91,42	90,95	93,75	25+0,5
Sulfato de alumínio	96,06	94,62	94,84	94,97	45
PAC	98,64	98,55	99,46	98,26	50
PAM* - Poliacrilamida					

Fonte: Própria (2012)

Para o teste 03 foi utilizado uma metodologia alternativa para as determinações físico-químicas dos parâmetros comumente avaliados em águas e efluentes no fotômetro PASTEL-UV, da SECOMAN. Este equipamento realiza, através de uma variação de diferentes comprimentos de onda entre 200 e 320 nm, análises de frações orgânicas de Carbono Orgânico Total (COT), DQO, DBO e SST, além de compostos específicos (NO₃ e surfactantes totais). O referido equipamento é novo no mercado, patenteado pela sua marca, analisa os parâmetros mencionados através da absorção do espectro UV das amostras, calculando seus valores e a correlação entre os seus interferentes.

4.2.4 Comparação do tratamento coagulação/floculação e o processo de oxidação avançada fenton para o efluente do teste 1 e teste 2

No intuito de promover uma possibilidade de tratamento que apresentasse uma elevada eficiência para a remoção de matéria orgânica ao efluente, um ensaio de oxidação avançada pelo processo Fenton foi realizado. Neste ensaio, amostras do efluente bruto foram submetidas à oxidação com H₂O₂ a uma concentração de 200mg.L⁻¹ na presença de FeSO₄ à 100mg.L⁻¹ em pH= 3, com o objetivo de promover condições para a formação do radical hidroxil (HO*), responsável pela oxidação da matéria orgânica. Este ensaio foi realizado para efeito de

comparação com o processo de coagulação, já que diante das excelentes eficiências de remoção dos parâmetros estudados, outro tratamento poderia também ser sugerido.

Para tanto, foi realizado um tratamento POA-Fenton para o teste 1 e o teste 2, para determinação da eficiência do tratamento para as amostras tratadas (T1) e (T2) e foram avaliados os parâmetros turbidez, DQO, DBO.

A partir dos resultados obtidos, foram observados que o processo Fenton ocorreu de maneira eficiente, às amostras foram centrifugadas em 2000rpm por 5 minutos, sendo possível observar que o processo foi mais eficiente na remoção de turbidez quando o pH foi igual a 3, no tempo de 60 minutos. As melhores remoções de turbidez em pH = 3(T1- Fenton 1) e (T2 - Fenton 2), foram 98% e 86% respectivamente.

De acordo com Wang et al. (2008), sob valores de pH superiores a 4, os íons ferrosos facilmente se convertem a íons férricos que, na presença de hidróxido, produzem os complexos hidróxido-férricos, capazes de coagular e precipitar não só a matéria orgânica como também outros sólidos remanescentes após a oxidação por Fenton.

O processo oxidativo com Fenton resulta em uma reação altamente exotérmica, também favorecida pelo aumento de temperatura, em que foi observado que essa reação melhorou à medida que a variável aumentava, mantendo-se uma faixa de 30°C. De acordo com Rodrigues (2005), a faixa ótima para a maioria das aplicações encontra-se entre 20°C e 40°C.

Observou-se que o tempo necessário para completar a reação de Fenton depende inclusive da dosagem do catalisador e do efluente a ser tratado, geralmente na faixa de 60min. Foi necessário um ajuste no valor do pH=3, a aplicação de um catalisador a base de ferro e a adição de peróxido de hidrogênio(H₂O₂) de forma controlada.

O processo de oxidação avançada com a reação de Fenton apresentou resultados satisfatórios para redução da carga orgânica nas amostras testadas. A redução obtida dos 3 parâmetros avaliados (turbidez, DQO, DBO) foram consistentes e apresentaram uma eficiência em tempo de reação de 60 minutos com agitação magnética, em que o efluente tratado apresentou resultados coerentes para ser aplicado para o reuso não potável na empresa em estudo.

Para comparar a eficiência global dos tratamentos submetidos às amostras de efluentes analisados neste trabalho, na Tabela 7 estão destacados os valores de comparação dos resultados ótimos referentes ao percentual de remoção de turbidez, DQO, DBO para o teste 01 de coagulação e processo Fenton teste 01.

Tabela 7 - Comparação dos resultados entre os tratamentos aplicados ao efluente – teste 01

PROCESSO	REMOÇÃO (%)		
	Turbidez	DBO	DQO
<i>Coagulação</i>			
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	68	88	68
PAC	53	64	65
FeCl_3	77	88	92
<i>Fenton (T1)</i>			
	98	97	99

Fonte: Própria (2012)

Por meio da tabela 7, é possível observar que o processo Fenton apresentou maior eficiência de remoção dos parâmetros avaliados, para o teste 01 do que o tratamento de coagulação/floculação.

Tabela 8. Comparação dos resultados entre os tratamentos aplicados ao efluente – teste 02

PROCESSO	REMOÇÃO (%)		
	Turbidez	DBO	DQO
<i>Coagulação</i>			
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	68	59	66
PAC	60	65	67
FeCl_3	91	84	90
<i>Fenton (T2)</i>			
	86	84	89

Fonte: Própria (2012)

A tabela 8 apresenta os valores obtidos para o tratamento coagulação/floculação e POA- Fenton para o teste 02, através dos resultados é possível verificar que o tratamento de coagulação/floculação com o cloreto férrico apresentou valor de remoção para turbidez superior e DQO e valor semelhante para DBO, com isso é observado que o processo POA - Fenton necessita do uso de reagentes de maior custo, e a complexidade do processo, envolve cuidados com ajuste variável de pH ácido para reação, e alcalino para decantação, tanques de

reação e decantação, em que torna o processo pouco atrativo para este tipo de efluente, tendo em vista que os processos de coagulação, principalmente com FeCl_3 , podem oferecer um tratamento satisfatório com custo e complexidade bastante reduzidos para uma empresa de pequeno porte, e que gera uma pequena demanda de efluente a ser tratado.

A Figura 44 apresenta a ilustração do aspecto do clarificado do efluente tratado pelo processo POA Fenton para teste 01(Fenton 1) e teste 02 (Fenton2).

Figura 44 – Clarificado do efluente no teste 01 e teste 02 pelo processo POA - Fenton



FONTE: Própria (2012).

A partir dos resultados obtidos, é possível confirmar a eficiência no tratamento de coagulação/floculação para o efluente em estudo, propondo a prática do reuso do efluente tratado, indicando as seguintes aplicações: processo de lavagem dos plásticos, lavagem de pisos de banheiros, lavagem do piso do galpão do material a ser reciclado, lavagem de peças e maquinário, lavagem da carroceria do veículo que transporta o material proveniente das cooperativas de catadores, uso do efluente tratado em descargas sanitárias, irrigação de gramíneas dentro da própria empresa, dentre outras aplicações para fins não potável.

O interesse desta pesquisa buscou aplicações de processos que proporcionasse o aumento da eficiência do tratamento dos efluentes gerados pela recicladora, promovendo assim, a sustentabilidade na empresa, contribuindo para minimização do consumo de água e a redução dos impactos ao meio ambiente.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos na caracterização físico-química conclui-se que:

- O efluente na lavagem dos plásticos necessita de tratamento para adequá-lo aos padrões de lançamento de descarte, compatível com a resolução nº 430/2011 do conselho nacional do meio ambiente (CONAMA).
- Dos três coagulantes testados nos ensaios de coagulação/floculação o cloreto férrico apresentou os melhores resultados nos parâmetros analisados em comparação aos coagulantes: sulfato de alumínio e policloreto de alumínio, apresentando um baixo custo, e fácil manuseio em relação aos coagulantes supracitados.
- A eficiência do uso do tratamento de oxidação avançada-Fenton no tratamento do efluente gerado na lavagem dos plásticos de uma recicladora ocorreu de maneira eficiente e apresentou excelente resultados na remoção de turbidez, DBO e DQO, porém devido à complexibilidade do tratamento, o uso de reagentes de custo elevado, torna-se pouco atrativa sendo inviável para empresa.
- Tanto a técnica de coagulação/floculação quanto o POA- Fenton apresentam resultados de tratamento que adequam o efluente tratado a resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA para descarte em corpos receptores quanto para habilitá-lo ao reuso.
- De posse dos resultados dos parâmetros avaliados no tratamento de coagulação/floculação, é possível fazer o reuso de parte do efluente tratado, realizando as seguintes aplicações: no processo de lavagem dos plásticos, lavagem de pisos do galpão onde o material a ser reciclado é armazenado, pisos de banheiros sanitários, carroceria de veículos que conduz o material para empresa a ser reciclado, irrigação de gramíneas, lavagem do tanque de lavagem dos plásticos, dentre outros.

CAPÍTULO VI

6. SUGESTÕES PARA OUTROS TRABALHOS

No sentido de aprimorar o trabalho apresentado, recomenda-se para estudos futuros:

- ✓ Caracterização semanalmente do efluente gerado por espécie de material lavado no processo.
- ✓ Estudo da biodegradabilidade do lodo produzido no tratamento pelos coagulantes.
- ✓ Estudo da viabilidade econômica e reutilização do lodo para compostagem.
- ✓ Análise de toxicidade para o efluente tratado com intuito de verificar os riscos com o manuseio do resíduo gerado.
- ✓ Levantamento do custo de capital necessário para implantar as modificações no processo para reuso do efluente tratado.

REFERÊNCIAS

_____; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reuso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800:1987** – simbologia indicativa critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: 1987.

ABRAHÃO, R. **Impactos do lançamento de efluentes na qualidade da água do riacho Mussuré**. Dissertação (Mestrado) Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente – UFPB João Pessoa: PRODEMA/ UFPB, 2006.

ACHILIAS, D. S., ANTONAKOU, E., ROUPAKIAS, C., *et al.*, **Recycling of Polyolefins from Plastic Wastes**. *Global NEST Journal*, v. 10, pp. 114-122, 2008.

ADAM, R. S. **Princípios do ecoedifício; integração entre ecologia, consciência e edifício**. São Paulo; Aguariana, 2001.

ANA - Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>, acesso em 23 de Novembro 2012.

ANDERSON, J. M. Current water recycling initiatives in Australia: scenarios for the 21st century. **Water Science Technology**, v. 33, p.37-43, 1996.

ANDREOZZI, R.; CAPRIO, V.; INSOLA, A.; MAROTTA, R. **Advanced oxidation process (AOP) for water purification and recovery**. *Catalysis today*, n.53, p.51-59, 1999.

APHA - AWWA. In: **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 19^a. ed.; Washington, DC, 1995.

BAUMANN, E. R. **Water quality and treatment: a handbook of public water supplies**. 3^a Edition. New York: McGraw-Hill, 1971.

BAUMGARTEN, M. G.; POZZA, S.A. **Qualidade de águas: descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental**. Rio Grande: FURG, 2001. 166 p.

BIGDA, R. J. **Consider Fenton Chemistry for Waste-Water Treatment**. *Chem. Eng. Prog.*, v. 91, n. 12, p. 62-66, 1995.

BIGGS, S., Habgood, M., Jameson, G.J., Yan, Y. (2000). **Aggregate structures formed via a bridging flocculation mechanism**. *Chemical Engineering Journal* 80, 13-22.

BORDIN, A. Reciclagem de Plástico e tratamento de efluentes: uma possibilidade para reuso de água. **III Congresso brasileiro de Gestão Ambiental**. Goiana/ GO, 2012.

BORDONALLI, A. C. O.; MENDES, C. G. N. **Estudo de tratabilidade de águas de lavagem de plásticos contaminados com óleo lubrificante, visando reuso**. In: Seminário de

Acompanhamento de Pesquisa em Saneamento e Ambiente 2., 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, p.21-23.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993. 764 p.

BRANCO, S. M. **Água e o homem**. In. Hidrologia Ambiental. v. 3, São Paulo: Edusp. 1991.

BRASIL. **Resolução Nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/por/conama/ligiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso em: 31 de Janeiro de 2013.

BRESAOLA JUNIOR, R.; CARRARA, S. M. C. M. **Reuso de águas residuárias geradas em processos de galvanoplastia**. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000. Porto Alegre - RS.

CARVALHO, Eraldo Henriques de ; RESENDE, Mercia Luccas . **Ensaio de coagulação e floculação para utilização na Estação de Tratamento de Esgotos de Goiânia**. In: XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e ambiental, 2002, Cancún. Trabalho publicado em CD-ROM, 2002.

CASALI, D. J. **Tratamento do efluente de uma recicladora de plásticos utilizando coagulante não metálico e compostagem**. Santa Maria, RS, 2011. 146pag. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2011.

COSSICH, E. S. **Apostila do Curso de Especialização em Gestão Ambiental**. Novembro, 2006.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABES, RIMA, 2005. v.1.

ESCALERA, O. A. N. **Reuso direto das águas residuárias municipais tratadas: uma forma de conservação de água e disposição final**. 1995. 226 pag. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ESPÍNOLA, L. C., **Reciclagem de plásticos pós consumo misturados não reaproveitáveis pelos centros de triagem de Porto Alegre**. 2004. 139pag. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

FERREIRA FILHO, S. S. Sedimentação Gravitacional. São Paulo: EPUSP. Material de aula. Departamento de Hidráulica e Sanitária de Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.

FIORENTINI, V. **Uso do tanino no processo de tratamento de água como melhoria em sistema de gestão ambiental**. Santa Maria, RS, 2005. 82 pág. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS).

GUIMARAES, L. F.; LIBANIO, M. **Avaliação do emprego da coagulação com cloreto de polialumínio na perspectiva de reuso de efluente de lagoa de estabilização.** XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, [S.I.], 2005.

HESPANHOL, I. Reuso de Água: Uma alternativa Viável. **Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente.** Volume 11, nº 18, Rio de Janeiro, 2001.

HUNKA, P.G. **Diagnóstico Socioambiental e dos Usos dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio GUAJÚ-PB/RN.** 2006.130p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 3. ed., Rio de Janeiro: Editora ABES, 1995.

KANG, Y. W.; HWANG, K. **Effects of reaction conditions on the oxidation efficiency in the Fenton process.** Water Research, v.34, n.10, p.2786-2790, 2000.

KAWAMURA, S. (1997). **Optimisation of basic water-treatment processes –design and operation: coagulation and flocculation.** Aqua. V. 45, n.1, p.35-47.

KIPPER, L. M. **Ações estratégicas sistêmicas para a rede sustentável de reciclagem de plásticos.** 2005. 243 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

LAMBRECHT, R., **Adsorção do corante azul 5G em carvão ativado e em xisto retornado.** Paraná: Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, p.99, Dissertação (Mestrado), 2007.

LIMA, J. D. de. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil.** João Pessoa: ABES, 2001.

LOPES, M. A. **Avaliação de diferentes coagulantes para remoção de sólidos por flotação e sedimentação de água residuária de uma indústria metal - mecânica.** 220p. Dissertação (mestrado em ciências). Universidade de São Paulo, 2011.

MACEDO, J.A.B.de. **Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas.** Águas & Águas.Juiz de Fora-MG: 2001.

MANO, E. B., PACHECO, E. B. A. V, BONELLI, C. M. C. **Meio Ambiente, Poluição e Reciclagem,** Editora Edgard Blücher, 2005.

MANRICH, S. **Processamento de Termoplásticos: Rosca Única, Extrusão e Matrizes, Injeção e Moldes.** São Paulo: Artiliber Editora, 2005, 431 p.

METCALF e EDDY, INC. **Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse,** 4rd ed., McGraw-Hill, 2003.

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering: treatment disposal and reuse.** MCGRAW Hill, New York, 1995.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reuso.** São Paulo. Oficina de Textos, 2005.

MIERZWA, J. C. **O uso racional e o reuso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria** - estudo de caso da KODAC Brasileira. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MORENO, F. N. **Tratamento de efluentes de uma indústria de reciclagem de embalagens plásticas de óleos lubrificantes: processo biológico e físico-químico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, SP: [s.n.], 2007.

NOGUEIRA, D. M. **Balanço hídrico na refinaria de Paulínia e alternativas para reuso de água: construção de uma ferramenta auxiliar para o gerenciamento de recursos hídricos**, 2007. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Ambiente), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 5. ed. Sergipe: Grafica e Editora, 315 p, 2008.

PARTECE, S., BECKMANN, M. V.; ONOFRE, S. B. Caracterização físico-química e microbiológica de efluentes gerados no processo de reciclagem de embalagens plásticas, **Rev. Eletrônica do curso de Geografia**. Jataí – GO: UFG, n. 9, Jul – dez/ 2007.

PARLATORE, A. C. Mistura e floculação. In: Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água. São Paulo, CETESB, 2V. 1987. p. 131-68

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor e turbidez elevada**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2001.

PÉREZ, M.; TORRADES, F.; DOMÈNECH, X.; PERAL, J. **Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents**. *Water Research*. v. 36, p. 2703-2710, 2002.

PERKOWSKI, J.; KOS, L. **Descolouration of Real Textile Wastewater with Advanced Oxidation Processes**. *FIBRES e TEXTILES*, Vol. 11, n. 4, p. 81-85, 2003b.

PIRES, A. S. **Reciclagem de plástico, Apostila do Curso de Treinamento Profissional na Área Ambiental**, Curso de Extensão, Escola de Química, UFRJ, 2008.

PLASTIVIDA. **Elaboração e monitoramento dos índices de reciclagem mecânica dos plásticos no Brasil no ano de 2004**. Disponível em <http://www.plastivida.org.br/reciclagem/rec_energetica.htm>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2013.

REBOUÇAS, Aldo da C. **Águas doces no mundo e no Brasil**. In.: REBOUÇAS, Aldo da C., et al. (Org.). Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 2. ed. São Paulo: Escritus, 2002.

REBOUÇAS, A. **Uso Inteligente da Água**. São Paulo: Editora Escritura, 2004.

RICHTER C. A.; NETTO, J. M. A., 1991. **Tratamento de Água – Tecnologia Atualizada**. Editora Edgard Blucher Ltda. 5ª reimpressão, 2003.

ROCHA, E. J. T.; MOTA, S.; SOUSA, S. T. de; AQUINO, M. D. de. Caracterização das águas de lavagem de uma recicladora de plásticos e viabilidade do reuso. **23º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Campo Grande, 2005.

RODRIGUES, R. S. **As Dimensões Legais e Institucionais de Reúso de Água no Brasil: Proposta de Regulamentação do Reuso no Brasil**, Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

RODRIGUES, A.C. **Tratamento de efluente aquoso da indústria de papel e celulose por coagulação e floculação seguido de fotocatalise com TiO_2 / H_2O_2** . Dissertação(Mestrado)-programa de pós graduação em Química.Universidade Estadual do Maringá - Maringá 2007.

ROLIM, A. M. **A reciclagem de resíduos plásticos pós-consumo em oito empresas do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Administração da Escola de Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

ROLIM, S. P. **Prós e contras de reciclar plásticos**. Revista Plástico Moderno. São Paulo, v. 8, p. 40-43, ago. 2001.

ROSSINI, M.; GARRIDO, J. G.; GALLUZZO, M.; **Optimization of the coagulation-flocculation treatment: influence of rapid mix parameters**. Wat. Res. 33(8), 1817-1826, 1999.

SALGADO, B. C. B. **Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos Fenton e foto-assistidos (UV e UV/ H_2O_2)**. Engenharia Sanitária Ambiental, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, Mar. 2009.

SANTOS FILHO, J. D., SANTA RITA, E. S. **Gerenciamento do Resíduo Gerado na Clarificação de Água da RLAM**. Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, São Salvador da Bahia, Brasil, 2002.

SANTOS, A.; SOARES, H. M. Apostila do curso: **Gestión de águas em la industria y SUS tratamientos para fines de reuso**. Universidade Federal de Santa Catarina e Escuela Complutense Latinoamericana. Florianópolis, 2007.

SANTOS, H. R. **Coagulação/ precipitação de efluentes de reator anaeróbio de leito expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reator UASB, com remoção de partículas por sedimentação ou flotação**. 2006. 331 f. Tese (Programa de Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos. 2006.

SCHOENHALS, M. **Avaliação da eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluentes de Abatedouro Avícola**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal De Santa Catarina, 2006.

SENA, R. F. **Avaliação da biomassa obtida através do processo de flotação de efluentes da indústria de carnes para a geração de energia**. Dissertação de Mestrado Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

SILVA, T. S. S. **Estudo da Tratabilidade Físico-Química com Uso de Taninos Vegetais em Água de Abastecimento e Esgoto**. Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro – RJ, 1999. Tese (Mestrado).

SILVA, T. C. F. da. **Processos oxidativos avançados para tratamento de efluentes de indústria de celulose kraft branqueada**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2007.

SPINACÉ, M. A. S., DE PAOLI, M. A., “A Tecnologia de Reciclagem de Polímeros”. *Química Nova*, v. 28, pp. 65-72, 2005.

SPINELLI, V. A. **Quitosana: Polieletrólito Natural para o Tratamento de Água Potável**. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis – SC, Tese (Mestrado), 2001.

SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D.; MISHRA, I. M. **Treatment of pulp and paper mill wastewaters with poly aluminium chloride and bagasse fly ash**. *Colloids and Surfaces* 260, 0. 17-28, 2005.

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

STEPHENSON, R. J.; DUFF, S. J. B.; **Coagulation and precipitation of a mechanical pulping effluent—I. Removal of carbon, colour and turbidity**. *Wat. Res.* 30(4), 781-792, 1996.

TABOSA, Wyllys A. F. **Bioensaios com *lemna minor* (linhaeus – 1753): Um estudo da toxicidade de efluente industrial no rio Gramame**, 2000. 94p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal da Paraíba, 2000.

TAMBOSI, J. L. **Remediação de Efluentes da Indústria de Papel e Celulose por Processos Oxidativos Avançados e Coagulação Férrica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFSC, Florianópolis, 2005.

TEIXEIRA, C. P. de A. B.; JARDIM, W. de F. **Processos Oxidativos Avançados: conceitos teóricos**. Caderno temático, v. 3. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Instituto de Química – IQ, Laboratório de Química Ambiental – LQA. Campinas, 2004.

TEIXEIRA, P. C. **Emprego da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água**. 2003. 171 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

TEIXEIRA, B.A.N.; REMÉDIO, M. V. P. **Caracterização do Efluente de Lavagem de Filmes Plásticos Pós-Consumo e Determinação das Propriedades Reológicas do Material Reciclado**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. 1999.

VALT, R. B. G. **Análise do ciclo de vida de embalagens de Pet, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais** – Paraná. Área de

Concentração em Engenharia de Processos Térmicos e Químicos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2004.

VIANNA, Pedro C. G. **O Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Mercosul**. Tese (Doutorado em Geografia), DGE/USP, São Paulo, 2002.

VIVEIROS, L. S. **Tratamento Físico-Químico de Efluente de uma Usina de Reciclagem de Plástico de Campo Grande - MS**. (Dissertação de Mestrado), Campo Grande – MS, 2008.

WALLING, C.; KATO, S. **The Oxidation of alcohols by Fenton's reagent: effect of copper ion**. *J. of American Chem. Soc.*, 93, p. 4275- 4283, 1971.

WANG, X.; ZENG, G.; ZHU, J. **Treatment of jean-wash wastewater by combined coagulation, hydrolysis/acidification and Fenton oxidation**. *Journal of Hazardous Materials*. v.153, p. 810-816, 2008.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Reuse of effluents**: methods of wastewater treatment and health safeguards. Of a WHO meeting of experts. Technical report series Nº 517. Geneva, 1973.

WIEBECK, H.; PIVA, A. M. **Reciclagem do plástico. como fazer da reciclagem um negócio lucrativo**. 1. ed. São Paulo, S.P.: Artliber Editora, 2004.

ZANIN, M.; MANCINI, S. D. **Resíduos plásticos e reciclagem**: aspectos gerais e tecnologia. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2004.