UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

RANIERI NIERO

VIABILIDADE DO USO DE OZÔNIO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS. ESTUDO DE CASO: RICCIERI CONFECÇÕES, MORRO DA FUMAÇA, SC

CRICIÚMA, NOVEMBRO 2011

RANIERI NIERO

VIABILIDADE DO USO DE OZÔNIO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS. ESTUDO DE CASO: RICCIERI CONFECÇÕES, MORRO DA FUMAÇA, SC

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientadora: Prof.ª MSc. Nadja Zim Alexandre.

CRICIÚMA, NOVEMBRO 2011

RANIERI NIERO

VIABILIDADE DO USO DE OZÔNIO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS. ESTUDO DE CASO: RICCIERI CONFECÇÕES, MORRO DA FUMAÇA, SC

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental, no curso de Engenharia Ambiental, da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Criciúma, 02 de Dezembro de 2011.

BANCA EXAMINADORA

Prof.ª Nadja Zim Alexandre – Mestre – (UNESC) – Orientadora

Prof.ª Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffmann – Mestre – (UNESC

Prof.º Sérgio Luciano Galatto – Mestre – (UNESC)

Dedico este trabalho aos meus pais Vilmar e Liege que durante todos estes anos me deram força e coragem, aos meus irmãos Wilson e Gládis Ester e a todos os colegas de classe e aqueles que acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por estar sempre caminhando a meu lado, guiando meus passos.

Aos meus familiares e minha namorada pela compreensão nos momentos em que estive ausente, pessoas estas que nunca deixaram de me apoiar.

À minha orientadora professora Nadja Zim Alexandre pela dedicação, prestatividade e excelente orientação dada a este trabalho.

Ao departamento de Engenharia Ambiental, e aos professores do curso pelo grande ensinamento oferecido.

Aos Senhores Valdir Costa e Daniel Costa por me proporcionarem esta chance de aprendizado em sua empresa, ao Senhor João Nagel Ceron pelo apoio a todos os novos amigos que contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos os meus colegas de graduação pelos diversos momentos vividos, os quais guardarei para sempre comigo.

RESUMO

As indústrias têxteis contribuem para a contaminação dos corpos hídricos em função do elevado consumo de água e da geração de efluentes. Alguns corantes empregados no processo de tingimento são de difícil remoção e alguns são tóxicos aos microrganismos aquáticos. A cor é um dos principais problemas do efluente têxtil, sua presença altera as características dos corpos receptores, causando toxidade, afetando processos de fotossíntese, além do aspecto visual. Nesta perspectiva os Processos Oxidativos Avançados (POA) representam uma nova alternativa podendo ser interessante seu emprego no processo de tratamento de efluentes têxteis. O estudo dirigiu-se à aplicabilidade do ozônio em escala piloto como parte do tratamento do efluente proveniente da lavanderia, como forma de melhorar a qualidade do efluente e reduzir a quantidade de reagentes químicos utilizados. Os ensaios realizados em escala piloto demonstraram, por meio de análises laboratoriais, que a aplicação de ozônio como etapa do pré-tratamento resultou em maior eficiência na remoção de DBO, além de reduzir o consumo de reagentes e um menor volume de lodo. Conclui-se que quando se dispõe de equipamento gerador, o uso do ozônio é economicamente viável.

Palavras-chave: Indústria têxtil, Tratamento de efluente, Ozônio, Escala piloto.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Estruturas típicas de alguns corantes utilizados na indústria têxtil.....17

Figura 2: Esquema da célula de geração do ozônio. 28

Figura 3: Mapa de localização do município de Morro da Fumaça, SC. 32

Figura 4: Localização do empreendimento em Estação Cocal.....33

Figura 5: Distribuição dos equipamentos que compõem a estação de tratamento de efluentes da Riccieri Confecções, Morro da Fumaça, SC. 36

Figura 6: Aparelho de Jar Test utilizado nos ensaios de tratabilidade. 38

Figura 7: Sistema de ozonização proposto por Hassemer e Sens. 39

Figura 8: Partes constituintes do reator piloto utilizado para ozonização do efluente da lavanderia da Riccieri Confecções, Morro da Fumaça, SC. 41

Figura 9: Sistema piloto para ozonização do efluente de lavanderia da Riccieri Confecções. Morro da Fumaça, SC. 43

Figura 10: Ensaios de tratabilidade com pré-ozonização em diferentes tempos de contato. 48

Figura 11: Comparação do volume de lodo gerado, onde: A) em efluente tratado na estação atual; e B) efluente com pré-ozonização.....51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Potencial redox de alguns oxidantes. 24

Tabela 2: Processos de oxidação avançada (combinações).....25

Tabela 3: Tecnologias de controle de efluentes da indústria têxtil. 30

Tabela 4: Quantidade e capacidade do maquinário da lavanderia.....34

Tabela 5: Características do efluente equalizado, Lavanderia da Riccieri Confecções Ltda, Morro da Fumaça, SC. 45

Tabela 6: Características do efluente da lavanderia tratado na estação em operação. Riccieri Confecções Ltda, Morro da Fumaça, SC.....47

Tabela 7: Caracterização do efluente tratado após a etapa de pré-ozonização (tempo de contato de 4 minutos). 49

Tabela 8: Comparativo entre os principais parâmetros analisados e legislações aplicáveis.....50

Tabela 9: Consumo de produtos químicos no tratamento atual de efluentes e considerando a implantação da pré-ozonização. 50

Tabela 10: Consumo de energia elétrica do conjunto gerador de ozônio por m^3 de efluente tratado. 51

Tabela 11: Estimativa de custo para o mês de outubro/2011 para tratamento atual e com pré-ozonização. 52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Alguns exemplos de oxidação direta com ozônio.....27

Quadro 2: Formação de espécies radicalares a partir da decomposição do ozônio. 28

Quadro 3: Método de análise físico-química. 37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

FAD – Flotação por ar dissolvido

H_2O_2 - Peróxido de oxigênio

IPAT - Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas

kW/hora - Quilowatts por hora

L/m^3 - Litro por metro cúbico

m^3 - Metro cúbico

mL - Mililitro

O_3 - Ozônio

ºC - Graus Celsius

OH - Radical Hidroxila

pH - Potencial Hidrogeniônico

POA – Processo Oxidativo Avançado

ppm - Partes por milhão

PVC - Policloreto de Vinila

R - Radical Alquila

$R\$/m^3$ - Reais por metro cúbico

SDF - Sólidos Dissolvidos Fixos

SDT - Sólidos Dissolvidos Totais

SDV - Sólidos Dissolvidos Voláteis

SFT - Sólidos Fixos Totais

SSF - Sólidos Suspensos Fixos

SST - Sólidos Suspensos Totais

SSV - Sólidos Suspensos Voláteis

ST - Sólidos Totais

SVT - Sólidos Voláteis Totais

TiO_2 - Dióxido de Titânio

UV - Ultra Violeta

ZnO - Óxido de Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
2 OBJETIVOS 13
2.1 Objetivo Geral 13
2.2 Objetivos Específicos 13
3 REFERENCIAL TEÓRICO 14
3.1 Geração de Efluentes Industriais 14
3.1.1 Caracterização dos Despejos Industriais 19
3.2 Tratamento de Efluentes Industriais 22
3.2.1 Processos Oxidativos Avançados (POA's) 23
3.3 Processos Convencionais de Tratamento de Efluente Têxtil 29
3.3.1 Ozonização de Efluentes Têxteis 31
4 MATERIAIS E MÉTODOS 32
4.1 Área de Estudo 32
4.1.1 Geração de Efluente Industrial - Lavanderia 33
4.1.2 Tratamento do Efluente 35
4.1.3 Composição da Estação de Tratamento de Efluente (ETE) da Riccieri 35
4.2 Caracterização do Efluente 37
4.3 Ensaios de Tratabilidade 38
4.3.1 Montagem do Reator Piloto 40
4.3.2 Tratamento em Escala Piloto 42
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 45
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES 54
REFERÊNCIAS 56

1 INTRODUÇÃO

Sempre se pensou na água como um bem inesgotável e infinito, porém a grande tendência para um futuro próximo é que se tenha escassez de água em diversas partes do mundo, o que acarretará em conflitos e divergências entre nações. O consumo de água historicamente foi voltado para consumo humano, dessedentação animal e agricultura, porém a partir da revolução industrial a água passou a ser usada como insumo nos mais diversos processos. A partir de então começaram a surgir restrições quanto ao seu descarte e as empresas passaram a adotar medidas para minimizar os impactos negativos de suas atividades sobre o meio ambiente (NUNES, 2004).

O reuso da água ou o seu uso racional e eficiente são exemplos de boas práticas adotadas pelas empresas no intuito de evitar desperdícios e geração desnecessária de efluentes (MARTINS, 2011).

Neste contexto, o setor têxtil apresenta um especial destaque, uma vez que gera grande volume de efluentes, os quais, quando não corretamente tratados, podem causar sérios problemas de contaminação ambiental (DURÁN et al., 2002).

Ainda com relação ao tratamento dos efluentes têxteis, os desafio são voltados a busca de novas tecnologias onde os POA's surgem como uma boa alternativa. Os mesmos caracterizam-se por transformar grande parte dos contaminantes orgânicos em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos, por meios de reações de degradação que envolvem espécies transitórias oxidantes, como os radicais hidroxila (MARTINS, 2011). Nesta perspectiva surge o ozônio, um oxidante forte, muito atrativo e eficiente no tratamento de efluentes têxteis. Por ação direta ou indireta, o ozônio é capaz de destruir os corantes assim descolorindo o efluente (DURÁN et al., 2002).

O presente trabalho vem por meio de experimentos laboratoriais avaliar a eficiência e viabilidade do uso de ozônio no tratamento de efluentes provenientes de lavanderia têxtil, visando a remoção dos corantes, confrontando custos e atendimento a legislação ambiental quando comparado ao sistema convencional aplicado atualmente na empresa.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade do uso de ozônio no tratamento de efluentes gerados na lavanderia da Riccieri Confecções, localizada no município de Morro da Fumaça, SC.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a ETE atual com relação à eficiência do tratamento e consumo de reagentes;
- Realizar testes em escala piloto utilizando ozônio como etapa do pré-tratamento;
- Verificar a eficiência do tratamento com ozônio e seu custo operacional;
- Comparar vantagens e desvantagens do uso do ozônio associado ao atual tratamento.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A água é indubitavelmente um dos maiores bens da humanidade, estando presente em quase todos os lugares, seja na terra, no ar e nos seres vivos. Daí surge à importância de preservá-la e manter-la em condições que possam suprir as necessidades atuais sem comprometer as futuras (BRANCO, 2000).

Todas as formas de vida terrestre dependem de água, sendo que cada ser humano necessita de vários litros de água doce para sobreviver. O grande problema é que esta água compõe apenas 3% de toda água no planeta, sendo que desta pequena parcela três quartos estão presos em geleiras. Águas de rios e lagos compõem menos de 0,01% do suprimento total de água (BAIRD, 2002).

Segundo Nunes (2004) esse recurso ambiental, que representa a essência de toda a vida, tem seus principais usos direcionados ao abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, geração de energia, recreação, preservação de ecossistemas aquáticos, além de constituir-se como insumo fundamental em processos industriais.

O homem é um dos seres que mais interferem sobre a qualidade da água. Despejos de efluentes industriais, esgoto doméstico, defensivos agrícolas, entre outras formas de poluição, que contribuem para a contaminação e perda da qualidade da água. Essa perda na qualidade está comumente relacionada com a forma em que o homem ocupa o solo e as atividades que são por ele desenvolvidas (SPERLING, 1996).

Contudo o cenário tendencial nos remete a escassez de água num futuro próximo. As áreas que mais sofrerão são aquelas que atualmente estão em expansão sem preocuparem-se com a poluição dos mananciais, uso planejado e desperdício. Esse fato aplicam-se a grande maioria das metrópoles nacionais como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte entre outras (NUNES, 2004; MACÊDO, 2001).

3.1 Geração de Efluentes Industriais

Para Mierzwa e Hespanhol (2005) toda atividade que envolva o uso ou o tratamento de água tem potencial de gerar efluentes, que na maioria das vezes acabam sendo lançados no meio ambiente.

Além de atividades de processos de tratamento de água, sistemas de resfriamento e produção de vapor, processos industriais de beneficiamento e transformação de matéria-prima em produtos que utilizam água, também são geradores de efluentes com características físicas, químicas e biológicas variadas, dependendo do tipo de atividade industrial. Essa variação se dá também em virtude da tecnologia empregada no processo produtivo, do regime de operação, contínuo ou intermitente, do custo da matéria-prima e insumos, do tempo de funcionamento do empreendimento e da qualificação dos operadores responsáveis (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

Braile e Cavalcanti (1979, p. 6) salientam que "... cada indústria é um caso distinto e que, entre indústrias do mesmo tipo, existem despejos diferentes".

Mierzwa e Hespanhol (2005) asseguram que de qualquer forma é correto considerar que as atividades industriais são geradoras de subprodutos e resíduos, partindo do ponto de que na maioria dos casos, o processo de conversão de matéria-prima em produto acabado não atinge 100% de eficiência.

Segundo Giordano (2004) a poluição pelos efluentes líquidos industriais deve ser controlada inicialmente pela redução de perdas no processo industrial, incluindo a utilização de técnicas mais modernas, arranjo geral otimizado, redução do consumo de água incluindo as lavagens de equipamentos e pisos industriais. A manutenção de equipamentos e das instalações também é fundamental para a redução de perdas por vazamentos e desperdício de energia. Após a otimização do processo industrial, as perdas causadoras da poluição hídrica devem ser controladas utilizando-se sistemas de tratamento de efluentes líquidos.

A indústria têxtil é uma das maiores do mundo em termos de produção, números e geração de emprego. As facilidades de produção variam desde plantas altamente automatizadas até pequenas instalações artesanais, mas todas se caracterizam por requerer grandes quantidades de água, corantes, produtos químicos utilizados ao longo de uma complexa cadeia produtiva (SANIN, 1997 apud SOMENSI, FENDRICH e SIMIONATTO, 2008).

Braile e Cavalcante (1979) destacam os principais indicadores de poluição da água deste setor e relacionam cor forte como principal característica, podendo-se destacar além desta, elevada carga orgânica e compostos químicos variados que podem ser tóxicos tanto ao homem quanto ao meio ambiente.

Os processos utilizados na indústria têxtil e seus despejos variam à medida que a pesquisa e o desenvolvimento produzem novos reagentes, novos processos e novas técnicas, e também de acordo com a demanda do consumo por outros tipos de tecidos e cores. As inúmeras etapas empregadas no processamento têxtil, afim de que se garantam características especificas, são responsáveis pela variedade de compostos existentes nos despejos (HASSEMER e SENS, 2002).

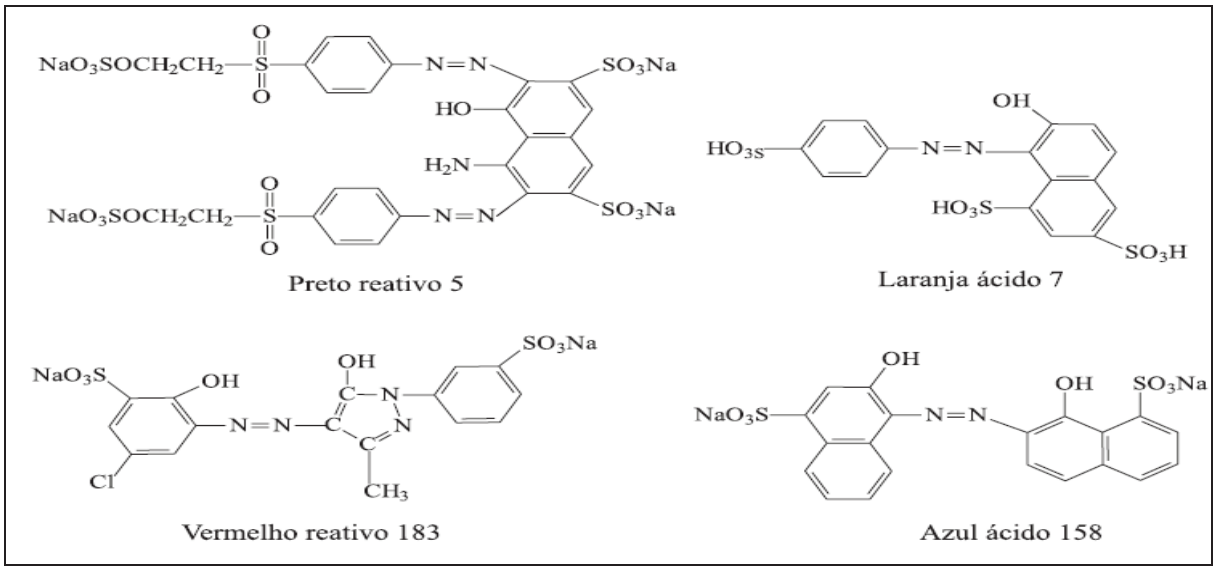
As principais fontes de efluentes gerados pela indústria têxtil se originam da lavagem ou alvejamento, nos processos de branqueamento de fibras naturais, do tingimento e acabamento final, onde para tinturarias o consumo específico de água varia entre 20 a 60 m^3 por tonelada de produto processado. Devido a variedade de fibras, corantes, auxiliares e outros produtos de acabamento, esses processos geram efluentes de grande variedade e complexidade química, dificilmente tratados convencionalmente (NUNES, 2004; VANDEVIVERE, BIANCHO e VERSTRAETE, 1998).

Sperling (1996) salienta que a cor é responsável pela coloração na água, quando de origem natural não representa riscos diretos ao ambiente. Um grande risco em potencial e o tratamento de águas contendo matéria orgânica dissolvida responsável pela cor, que pode gerar produtos carcinogênicos, além de que em certos casos a cor pode representar toxicidade.

Na Figura 1 estão apresentadas algumas estruturas típicas de corantes utilizados no processo de tingimento têxtil, posteriormente encontrados no efluente.

Segundo Guaratini e Zanoni (2000), a presença de corantes nos despejos é facilmente detectada a olho nu, mesmo em baixas concentrações (na ordem de 1 ppm ou 1 mg/L). Essa característica apresenta vantagens e desvantagens, pois uma pequena quantidade quando em contato com o corpo receptor pode causar uma mudança acentuada na coloração, da mesma maneira poderá ser facilmente detectada pelo público em geral e autoridades competentes.

Figura 1: Estruturas típicas de alguns corantes utilizados na indústria têxtil.



Fonte: Durán et al. 2002.

A origem dos corantes é incerta, existem registros do uso desse material desde os primórdios das civilizações. Sua presença foi detectada em amostras de tecidos de tumbas egípcias e antigos hieróglifos datados de 2500 a.C. Até a metade do século 19, só existiam pigmentos naturais, provenientes de vegetais, insetos, moluscos e minerais, cujas fórmulas de extração e aplicação eram guardadas secretamente. A grande revolução na história desses compostos ocorreu quando o químico inglês William H. Perkin (1860-1929) descobriu, em 1856, o primeiro corante sintético (malva), derivado do coque. Foi o primeiro passo para a produção de corantes orgânicos sintéticos em grande escala (CARNEIRO e ZANONI, 2001).

Na indústria têxtil, os corantes são utilizados no processo de tingimento, segundo Guaratini e Zanoni (2000), este processo é responsável pelo sucesso comercial dos produtos têxteis. Além da padronagem, os consumidores buscam produtos duradouros e que atendam suas expectativas, deste modo, os corantes devem, cada vez mais, apresentar características diversas e que atendam tais necessidades.

De acordo com os mesmos autores, os corantes podem ser classificados de acordo com a sua estrutura química ou com o método utilizado na fixação do corante a fibra têxtil. A fixação do corante a fibra pode ocorrer por meio de reações químicas, geralmente em meio aquoso, como a ligação iônica, de hidrogênio e de Van der Waals e covalentes. Bastian e Rocco (2009) classificam os corantes quanto a sua forma de fixação à fibra.

> a) Corantes a tina: normalmente esse tipo de corante é subdividido em dois grupos: os indigóides e os antraquinônicos. São essencialmente insolúveis em água, a presença de um grupo cetônico é outra característica destes corantes (>C=O). Dentro desse grupo se encaixa um dos corantes mais conhecidos, o índigo.
> b) Corantes reativos: são solúveis em água e caracterizam-se por terem pelo menos um grupo cromóforo e um grupo reativo. O grupo cromóforo é o responsável pela cor do produto, e o grupo reativo é a parte química do corante que reage com os grupamentos hidroxílicos (OH), surge daí o nome de corantes reativos.
> c) Corantes dispersos ou plastosolúveis: tem por característica principal a insolubilidade em água e o caráter não iônico, possuindo afinidade com fibras hidrofóbicas. São empregados geralmente no tingimento de tecidos tipo poliéster, acetato, triacetato e em alguns casos poliamida e acrílicas.
> d) Corantes diretos: São corantes que inicialmente eram utilizados no tingimento do algodão. São definidos como corantes aniônicos, com grande afinidade para a celulose, este tipo de corante apresenta a maneira mais simples de colorir materiais compostos por celulose.
> e) Corantes ácidos: são corantes com característica aniônicas e de alta solubilidade em água, sendo aplicados para o tingimento de lã, seda, couro e algumas fibras acrílicas modificadas, e largamente empregadas para a poliamida, não são recomendadas para o tingimento de materiais que possuem fibras celulósicas, caso do algodão.
> f) Corantes catiônicos (básicos modificados): São corantes solúveis em água que produzem soluções coloridas catiônicas devido à presença de grupamento amina (NH_2). Geralmente aplicados em fibras acrílicas, fornecendo cores vivas e algumas até mesmo fluorescentes de boa solidez.
> g) Corantes ao enxofre (sulfurosos): Estes corantes são insolúveis em água e sua aplicação assemelha-se a dos corantes a tina. Tem como característica a existência de compostos macromoleculares com pontes dissulfídricas (-S-S-). Possuem baixa resistência ao cloro.
> h) Corantes naturais: São corantes obtidos a partir de substâncias vegetais ou animais, com pouco ou nenhum processamento químico e são principalmente do tipo mordente, embora existam alguns a tina, solventes, pigmentos, diretos e ácidos. Sua principal aplicação ocorre em tingimentos do tipo mordente, ou seja, esses corantes não liberam sua cor nas fibras, a menos que estejam na presença de certos metais, necessitam dessa maneira da adição de sais minerais para que ocorra o tingimento (BASTIAN e ROCCO, 2009, p. 17-18).

O problema da cor está associado especialmente aos corantes solúveis em água que são adsorvidos na trama do tecido em quantidade menor que 25% do total utilizado. Desta relação, espera-se que a quantidade de corante descartada no efluente têxtil seja relevante sob o ponto de vista do controle ambiental. Hassemer e Sens (2002) destacam que corantes são moléculas orgânicas altamente estruturadas e de difícil degradação biológica.

Contudo, a concentração de corantes nestes despejos é ainda menor do que a de muitos outros produtos químicos ali encontrados, mas devido a sua característica e cor, é o contaminante que mais desperta interesse com relação remoção. Mesmo em baixa concentração, o impacto visual dos corantes utilizados nas indústrias têxteis alertam para a necessidade do tratamento destes efluentes,

segundo SARASA et al. (1998 apud HASSEMER & SENS 2002).

Para Giordano (2004), o conhecimento das características das águas residuárias industriais, constitui-se no primeiro passo para o estudo preliminar do projeto e também permite estabelecer o potencial poluidor dos efluentes. A variação de concentração em efluentes industriais é grande, mesmo em empresas do mesmo ramo, devendo por tanto ser analisada caso a caso, isto ocorre em decorrência da diversidade de matérias-primas e dos próprios processos.

3.1.1 Caracterização dos Despejos Industriais

Segundo Cavalcanti (2009) os indicadores selecionados para caracterizar determinado efluente industrial devem considerar os padrões legais de lançamento, os padrões requeridos para reuso, quando for o caso, e aqueles necessários ao dimensionamento do sistema de tratamento.

Com relação aos padrões legais deve ser considerada a resolução Conama 430/2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes no território nacional. No estado de Santa Catarina a Lei nº 14.675 de 2009 que instituiu o Código Estadual do Meio Ambiente, determina em seu artigo 177 as condições para lançamento de efluentes em corpos receptores.

Blum (2003) alerta que os critérios gerais de qualidade no planejamento de sistemas de reuso da água devem considerar em uma primeira etapa as possibilidades de contato do usuário com a água. O autor destaca também, que a água de reuso deverá ter as condições de qualidade específica para determinado tipo de uso, de modo a não alterar a qualidade do produto final. Assim, conclui-se que a caracterização de água para reuso levará em conta o tipo de uso a que se destina.

Cavalcanti (2009) chama atenção para os parâmetros necessários à elaboração de projetos de tratamento de efluentes, sendo que estes nem sempre são os mesmos utilizados para avaliar o cumprimento dos dispositivos legais.

Neste sentido, Braile e Cavalcante (1979) destacam a importância dos ensaios de DBO_5 e DQO, além da série de sólidos.

O ensaio para determinação de Sólidos Totais (ST) foi idealizado para se interpretar quantitativamente a presença total de matéria que não seja água ou gás, em um despejo. Esta matéria sólida poderá se encontrar, portanto, como

substâncias dissolvidas, coloidal ou em suspensão. O teor de ST é obtido quando se submete uma amostra de efluente ao aquecimento contínuo com temperatura entre 103 a 105 ºC. A concentração de sólidos totais presente na amostra é obtida quando se pesa o resíduo seco (após a evaporação). É, pois, o resíduo da desidratação da amostra (MACÊDO, 2001).

Braile e Cavalcanti (1979) explicam que os sólidos que são obtidos após evaporação de uma amostra previamente filtrada se referem à fração dos sólidos presentes na amostra que se encontram dissolvidos. Em geral, no tratamento de despejos, o conhecimento do teor de sólidos dissolvidos totais (SDT) tem dois interesses principais: a) Se o despejo for biodegradável, mas o teor de sólidos dissolvidos fixos for muito grande, o tratamento biológico, na prática poderá ser impossível, devido ao problema de pressão osmótica; b) Se o despejo for de origem orgânica, mas não biodegradável e a matéria orgânica for solúvel, de nada valerão as unidades de decantação simples, tendo que se partir, por exemplo, para a precipitação química.

Sperling (1996) conceitua sólidos suspensos totais (SST) como todos os sólidos presentes nas águas residuárias, exceto os solúveis e sólidos em fino estado coloidal. Na prática, são aqueles passíveis de serem retidos por uma filtração, em análise de laboratório (BRAILE e CAVALCANTE, 1979).

A cor da amostra de água ou efluente está relacionada a presença de sólidos dissolvidos, sendo que Sperling (1996) chama atenção que pode ser de origem natural, quando relacionada à decomposição de matéria orgânica vegetal ou em função da presença natural de ferro e manganês; ou de origem antropogênica, neste caso, proveniente de vários processos industriais (tinturarias, tecelagem, produção de papel, curtumes e outros) ou até mesmo de despejos domésticos.

O mesmo autor salienta que quando de origem natural, a cor não representa risco direto a saúde, apesar dos consumidores questionarem a confiabilidade da água de abastecimento. Por outro lado, quando proveniente da ação antrópica, podem apresentar toxidade. Além disso, a cloração da água contendo a matéria orgânica dissolvida responsável pela cor pode gerar produtos potencialmente cancerígenos (RICHITER e AZEVEDO NETO, 1991).

Com relação à biodegradabilidade do efluente, Braile e Cavalcanti (1979) destacam a importância em se conhecer a relação DBO/DQO. Entende-se por biodegradabilidade “[...] a capacidade dos despejos de serem estabilizados por

processos bioquímicos através de microorganismos" (SPERLING, 1996, p. 81).

De acordo com Silva e Mara (1970), a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica pelas bactérias. Serve, portanto como medida indireta da concentração da matéria orgânica existente na água residuária que pode ser oxidada pelas bactérias; ou conforme Braile e Cavalcanti (1979) é a medida da matéria orgânica biodegradável.

Convencionalmente, utiliza-se a DBO expressa em um tempo de cinco dias a temperatura de 20ºC, isto é, a quantidade de oxigênio consumido na oxidação da matéria orgânica mantida a 20ºC durante 5 dias (Sperling, 1996).

Sperling (1996) explica ainda que a Demanda Química de Oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica através de um agente oxidante mais forte (dicromato de potássio) em meio ácido (ácido sulfúrico) a quente. O teste de DQO é sobremaneira precioso na medida da matéria orgânica em despejos que contenham matéria não biodegradável, ou conforme determinam Braga et al. (2002), são substâncias recalcitrantes.

Desta forma, os resultados da DQO de uma amostra de efluentes são superiores aos de $DBO_{5,20}$, sendo que quanto mais a concentração de DBO se aproximar da concentração de DQO, mais facilmente biodegradável será o efluente. É comum aplicar-se tratamentos biológicos para efluentes com relação $DQO/DBO_{5,20}$ de 3:1, por exemplo (CETESB, 2011). Enquanto que Braile e Cavalcanti (1979) recomendam relação de 2:1. Quanto maior for esta relação, mais difícil será o tratamento por processos biológicos convencionais (CETESB, 2011).

Outro parâmetro fundamental para elaboração de projetos de tratamento de efluentes é o potencial hidrogeniônico (pH). Conforme explicam Braile e Cavalcanti (1979), o pH influencia na qualidade dos despejos industriais, podendo torná-los difíceis de tratar por métodos biológicos, uma vez que a maior parte dos microrganismos é sensível a valores extremos de pH.

Richiter e Azevedo Neto (1991) alertam para a importância em cada fase do tratamento, sendo referida frequentemente na coagulação, floculação, desinfecção e no controle de corrosão.

3.2 Tratamento de Efluentes Industriais

Para Ramalho (1983) a seleção das etapas e a sequência de tratamento de águas residuárias depende de uma serie de fatores, onde o principal está relacionado à forma como os poluentes se encontram. Nunes (2004) destaca que os níveis de tratamento aplicados aos efluentes industriais estão sujeitos as condições do corpo receptor e da eficiência dos processos.

Na etapa de tratamento preliminar são eliminados materiais grosseiros, flutuantes e material mineral sedimentável, destacando para essa etapa processos utilizando grades, peneiras, desarenadores e caixas de retenção de óleo e gordura (NUNES, 2004).

Para Ramalho (1983) o pré-tratamento ou tratamento preliminar condiciona o efluente para o tratamento seguinte. Nesta etapa são utilizados mecanismos de ordem física, como peneiramento e sedimentação discreta, usualmente nesta etapa se inclui também um medidor de vazão, constituído por uma calha de medidas conhecidas (calha Parshall) (SPERLING, 1996). Ainda segundo o mesmo autor o pré-tratamento tem por finalidade a proteção dos dispositivos de transporte (bombas e tubulações); a proteção das unidades de tratamento sequentes e proteção de corpos receptores.

Para Nunes (2004) o tratamento primário é a etapa na qual são removidos os sólidos em suspensão e parte dos sólidos coloidais. Neste caso, a DBO pode ser removida parcialmente nesta tapa de tratamento, uma vez que parte desta pode ser encontrar na forma particulada. Destacam-se no tratamento primário a clarificação química obtida em processos de coagulação, floculação e sedimentação; ou os processos de flotação por ar dissolvido (FAD). Nesta etapa do tratamento é comum ocorrer também a neutralização ou correção do pH do efluente.

O termo tratamento secundário abrange todos os processos biológicos de tratamento de águas residuárias, tanto processos biológicos aeróbicos quanto os anaeróbicos. Processos de lodo ativado são largamente empregados tanto em esgoto doméstico quanto em efluentes industriais (RAMALHO, 1983).

Segundo Nunes (2004) nesta etapa são removidos matéria orgânica dissolvida, e a fração orgânica em suspensão que não ficou retida no tratamento primário. As modalidades de tratamento secundário são variadas, sendo as mais

comuns os processos de lodos ativados, lagoas de estabilização, sistemas anaeróbicos de alta eficiência e lagoas aeradas.

Os sistemas de tratamento secundário procuram imitar os corpos receptores nos processos de autodepuração da água, aumentando a velocidade de reação por meio de condições controladas (SPERLING, 1996).

A etapa de tratamento terciário ou tratamento avançado é utilizado quando se deseja um efluente de melhor qualidade, objetivando a remoção de poluentes específicos, geralmente compostos tóxicos ou de difícil biodegradação ou remoção de poluentes que não foram removidos nos processos anteriores (SPERLING, 1996).

Segundo Baird (2002) são poucas as estações de tratamento que aplicam esse tipo de tratamento. Os principais processos aplicados nesta etapa são; adsorção por carvão ativado, osmose inversa, eletrodiálise, troca iônica, filtros de areia, oxidação química, entre outros (NUNES, 2004).

3.2.1 Processos Oxidativos Avançados (POA's)

Os efluentes industriais muitas vezes são formados por uma quantidade considerável de compostos tóxicos, e nestes casos seria muito interessante destruir o poluente ao invés de transferi-lo de fase. Neste aspecto, nos últimos anos os processos oxidativos avançados têm se mostrado como uma opção interessante (DOMENICHI et al., 2001 apud BARÊA TEIXEIRA, 2002).

A degradação de compostos orgânicos por processos oxidativos avançados (POA's) tem merecido destaque, principalmente devido ao seu alto grau de eficiência na degradação de inúmeros compostos e por seu baixo custo de operação. Têm se mostrado como uma alternativa viável no tratamento de águas superficiais e subterrâneas, bem como no tratamento de águas residuárias (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

Os POA's são processos de oxidação onde se geram radicais hidroxilas (•OH), os quais são espécies altamente oxidantes. Esses radicais possuem um potencial de oxidação de 2,8 V, menor apenas que o flúor, conforme mostra a Tabela 1, sendo capaz de mineralizar a matéria orgânica a dióxido de carbono, água e íons inorgânicos (TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

Tabela 1: Potencial redox de alguns oxidantes.

Espécie	Potencial redox (V)
Flúor	3,03
Radical hidroxila	2,80
Oxigênio atômico	2,42
Ozônio	2,07
Peróxido de hidrogênio	1,78
Permanganato	1,68
Dióxido de cloro	1,57
Cloro	1,36
Iodo	0,54

Fonte: TEIXEIRA e JARDIM, 2004.

Entre os diversos mecanismos de oxidação avançada, destacam-se os processos: Fenton (Fe^{2+}/H_2O_2), de ozonização (O_3), com radiação UV, com H_2O_2 e a fotocatálise heterogênea, usando TiO_2 e ZnO como óxidos ativos (BUARQUE et al., 2009). Segundo Guan et al. (2004) existe a possibilidade da associação de diferentes oxidantes para que se possa aumentar a eficiência no processo de tratamento de efluentes, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Processos de oxidação avançada (combinações).

SISTEMA	REAÇÃO	OBSERVAÇÕES
	Sistemas heterogêneos	
Fotocatálise heterogênea	$S + h\nu \longrightarrow S(e^-, h^+)$ $OH + h^+ \longrightarrow OH^*$ S: fotocatalizador semicondutor. (e^-, h^+): par elétron-lacuna	Utilizam-se semicondutores como: TiO_2, ZnO, Fe_2O_3, em suspensão. A energia requerida depende do "band gap" do semicondutor
Sistemas foto-eletroquímicos	Ver anterior	Sistema fundamentado na utilização de eletrodos que contém uma fina camada de fotocatalizador. A aplicação de corrente externa favorece o processo de separação de Cargas
	Sistemas homogêneos, não-irradiados	
Fenton	$Fe^{2+} + H_2O_2 \longrightarrow Fe^{3+} + OH + OH$	Sistema fundamentado na reação de íons ferrosos e peróxido de hidrogênio (analogia com sistema enzimático)
$O_3 - OH^-$	$O_3 + OH^- \longrightarrow O_2 + HO_2$ $O_3 + HO_2 \longrightarrow 2O_2 + OH$	Em meio alcalino, o potencial oxidante do ozônio aumenta significativamente, graças à formação de radical hidroxila.
	Sistemas heterogêneos irradiados	
UV - H_2O_2	$H_2O_2 + h\nu\ (254\ nm) \longrightarrow 2\ OH^-$	Radiação da ordem de 254 nm provoca cisão homolítica da molécula de H_2O_2, gerando 2 equivalentes de radical hidroxila
Foto-Fenton	$Fe^{3+} + H_2O + h\nu \longrightarrow H^+ + OH^-$	Sistema que complementa o sistema fenton. Fechando um ciclo catalítico com geração de 2 equivalentes de radical hidroxila

Fonte: SANARE, 2003 apud SANTOS, 2006.

A radiação ultravioleta (UV) está presente na luz solar e pode ser emitida também em pequenas frações por lâmpadas comuns. Em processos de tratamento que envolvem o uso de lâmpadas de baixa pressão, normalmente utilizam-se as de vapor de mercúrio, que emitem ondas no comprimento aproximado de 254nm (ZHOU e SMITH, 2002 apud GUAN et al., 2004). Sozinha não possui grande eficiência no tratamento de água e efluentes (fotólise direta), desta forma grande parte dos estudos contemplam a associação da radiação UV com H_2O_2, O_3 e H_2O_2/O_3 (TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

Segundo Barbusiński e Majewski (2003) a reação de Fenton é um processo catalítico para a geração de radicais hidroxilas a partir de peróxido de hidrogênio (H_2O_2). A reação é baseada na transferência de elétrons entre H_2O_2 e íons de ferro.

Uma das grandes vantagens do processo é a completa destruição dos contaminantes, transformando-os em compostos inofensivos como dióxido de

carbono, água e sais inorgânicos. Os processos convencionais de Fenton envolvem um ou mais agentes oxidantes, já nas reações de Foto fenton também existe o envolvimento de irradiação de luz, seja ela natural ou artificial. Os sistemas de Fenton são usados tanto para o tratamento de água quanto de solos contaminados (PHILIPPOPOULOS E NIKOLAKI, 2010).

Segundo os mesmos autores existe também o sistema de Foto fenton, que permite a utilização de radiação, que, quando associado à radiação visível, torna-se bastante eficiente, permitindo à completa mineralização do substrato em pouco tempo.

Um estudo de remediação dos efluentes têxteis, utilizando um sistema Foto fenton em batelada obteve descoloração completa com 20 minutos de reação, e 60% de redução da DQO com 30 minutos. A redução destes parâmetros demonstra que o POA confere aos efluentes têxteis um excelente potencial de aplicação (Peralta - Zamora, 2003 apud SANTOS, 2006).

Este processo que combina peróxido de hidrogênio e irradiação solar é mais eficiente do que o uso de cada um deles em separado. Isso se deve pela grande formação de radicais hidroxilas, que são altamente oxidantes (TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

Segundo Olcay et al. (1999 apud GUAN et al., 2004) o uso de unicamente peróxido de hidrogênio no tratamento de efluentes têxteis é ineficiente, tanto para efluentes ácidos quanto para os alcalinos.

Para Huang et al (1993 apud TEIXEIRA e JARDIM, 2004) o mecanismo mais comumente aceito para a fotólise de H_2O_2 com UV é a quebra da molécula em radicais hidroxila, onde cada molécula de H_2O_2 gera dois radicais hidroxila.

3.2.1.1 Tratamento de Efluentes com Ozônio

O tratamento de efluentes industriais e urbanos tem tomado foco como assunto de suma importância atualmente, isto devido à grande carga de agentes poluentes lançadas pelos grandes centros urbanos ou em áreas de alta concentração de indústrias. Das grandes fontes de poluição ambiental vale ressaltar as indústrias papeleira, têxtil, petroquímica, processadora de alimentos, onde em princípio em todos os casos o ozônio pode ser empregado no processo de tratamento de seus efluentes (RUFINO e FARIA, 2006).

Para Baig e Liechti (2001 apud GUAN et al., 2004), o ozônio é um poderoso oxidante, podendo ser usado para o tratamento de água e efluentes. Segundo Bader e Hoigné (1981) quando dissolvido em água o ozônio reage com grande número de compostos orgânicos de duas maneiras distintas: por oxidação direta como ozônio molecular (1) ou pela oxidação indireta a partir da formação de radical hidroxila (2).

$$O_3 \leftrightarrow O + O_2 \qquad (1)$$

$$O + H_2O \leftrightarrow 2OH\bullet \qquad (2)$$

As reações diretas de compostos dissolvidos com ozônio molecular são bem lentas e seletivas, graças ao caráter seletivo, pequenas doses de ozônio produzem grande efeito sobre determinadas etapas do tratamento.

> As reações diretas com ozônio são baseadas na "divisão da dupla ligação carbono–carbono comportando-se como um dipolo, um agente eletrofílico em aromáticos e um agente nucleofílico na dupla ligação C = N. Levando em conta a natureza eletrofílica da reação, os grupos doadores de elétrons localizados no ciclo aromático causam significante reatividade com orientação da hidroxila orto à posição para, o que ocorre com a anilina e fenol (Piveli et al.,2003, p. 223)

O Quadro 1 apresenta algumas das reações de oxidação direta com ozônio.

Quadro 1: Alguns exemplos de oxidação direta com ozônio.

$NO_2^- + O_3 \longrightarrow NO_3^- + O_2$
$CN^- + O_3 \longrightarrow CNO^- + O_2$
$SO_3^{2-} + O_3 \longrightarrow SO_4^{2-} + O_2$
$R_2C{=}CR_2 + O_3 \longrightarrow RCHO; R_2CO; RCOOH$ (onde R = radical alquila)

Fonte: ESPLUGAS, 1995 apud KUNZ, 1999.

As reações indiretas do ozônio são realizadas via radical hidroxila, que é um oxidante poderoso e não seletivo, podendo reagir de três formas; abstração de oxigênio, transferência de eletros ou adição radicalar (KUNZ, 1999). No Quadro 2 são apresentados alguns exemplos de decomposição do ozônio formando espécies radicalares.

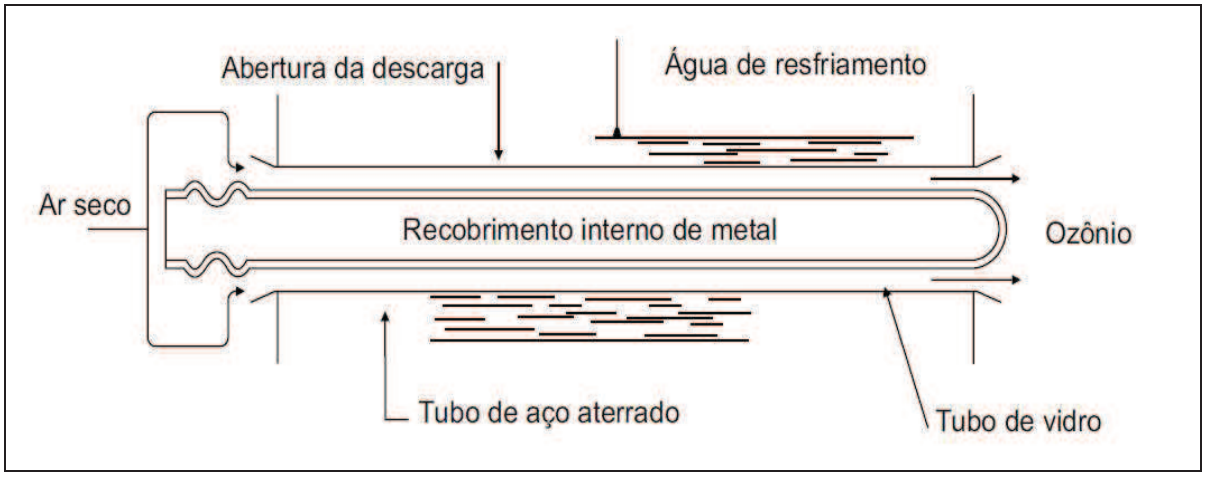
Quadro 2: Formação de espécies radicalares a partir da decomposição do ozônio.

$O_3 + H_2O \xrightarrow{hv} H_2O_2 + O_2$
$H_2O_2 \xrightarrow{hv} 2\ {}^{\bullet}OH$
$O_3 + OH^- \longrightarrow O_2^- + HO_2^{\bullet}$
$O_3 + HO_2^{\bullet} \longrightarrow 2O_2 + {}^{\bullet}OH$

Fonte: PELEG, 1976; CHAMARRO et al.,1996 apud KUNZ, 1999).

Segundo Piveli et al. (2003) um dos métodos mais utilizados na geração do ozônio é o processo corona (Figura 2), que consiste em aplicar uma corrente elétrica em um fluxo gasoso de ar ou oxigênio.

Figura 2: Esquema da célula de geração do ozônio.



Fonte: DI BERNARDO et al., 2002 apud PIVELI et al.,2003.

A corrente elétrica forma um campo de energia capaz de quebrar em ligações duplas as moléculas de oxigênio (O_2), gerando desta maneira dois átomos de oxigênio (O), estes ao reagirem novamente com moléculas de oxigênio formando então o ozônio (O_3). Na célula de geração ocorre à seguinte reação:

$$3O_2 + \text{energia} \rightarrow 2O_3 + 0{,}82\ \text{kWh/kg}$$

Para Kunz (1999) a instabilidade do ozônio é um dos grandes inconvenientes uma vez que sua armazenagem não é possível, tornando a produção limitada ao local de aplicação.

3.3 Processos Convencionais de Tratamento de Efluente Têxtil

Os gastos para o tratamento dos efluentes têxteis contendo corantes têm assumido uma preocupação crescente para o setor onde, a cor é uma característica importante do efluente impactando os corpos receptores de maneira estética e também contribuindo para as questões ecotoxicológicas (EDWARDS, 2000).

Estima-se que pelo menos 20% dos corantes têxteis sejam descartados em efluentes, devido a perdas ocorridas durante o processo de fixação da tintura às fibras. A remoção desses compostos dos rejeitos industriais é um dos grandes problemas ambientais enfrentados pelo setor têxtil, sobretudo considerando que os corantes não pertencem a uma mesma classe de compostos químicos, mas englobam diversas substâncias com grupos funcionais diferenciados, com grande variedade na reatividade, solubilidade, volatilidade, estabilidade etc. que, por sua vez, requerem métodos específicos para identificação, quantificação e degradação (CARNEIRO e ZANONI, 2001).

Em geral, na indústria têxtil os processos de tratamento estão fundamentados nas operações de coagulação, seguidos de separação por flotação ou sedimentação e posterior tratamento biológico via sistema de lodos ativados (Tabela 3).

Tabela 3: Tecnologias de controle de efluentes da indústria têxtil.

TIPO E UNIDADE DE TRATAMENTO	Faixa de remoção (%)				
	DBO	DQO	SSt	OG	Cor
TRATAMENTO PRIMÁRIO					
Peneiramento	0 - 5	-	5% - 20	-	-
Equalização	0 - 20	-	-	-	-
Neutralização	-	-	-	-	-
Coagulação química (a remoção dependo dos produtos químicos e das dosagens utilizadas)	40 - 70	40 - 70	30 - 90	90 - 97	0 - 70
Flotação	30 - 50	20 - 40	50 - 60	90 - 98	-
Sedimentação primária	5% - 15	-	15 - 60	-	-
TRATAMENTO SECUNDÁRIO					
Lodos ativados e convencionais + clarificação	70 - 95	50 - 70	85 - 90	0 - 15	A remoção de cor em tratamento biológico não foi documentada
Aeração prolongada + clarificação	70 - 94	50 - 70	85 - 95	0 -15	
Lagoa aerada e clarificação	60 - 90	45 -60	85 - 95	0 -10	
Lagoa aeróbica	50 -80	35 - 60	50 - 60	0 -10	
Filtros biológicos	40 - 70	20 - 40	-	-	
Lodos ativados em dois estágios	90	-	-	-	
Lodos biológicos em dois estágios	90	-	-	-	
Filtros biológicos de alta taxa + lodos ativados	90	-	-	-	
TRATAMENTO TERCIÁRIO					
Coagulação química	40 - 70	40 - 70	30 - 90	90 - 97	0 - 70
Filtração em meio misto	25 - 40	25 - 40	80	-	80 - 90
Adsorção em carvão ativado	25 - 40	25 - 60	25 - 40	-	0 - 5
Cloração	0 - 5	0 - 5	-	-	70 - 80
Ozonização	-	30 - 40	50 - 70	-	-
Lagoa de polimento	50	-	-	-	-

Fonte: HASSEMER, 2000 apud DAMINELLI, 2008.

Nas lavanderias industriais, onde o despejo apresenta característica similar a indústria de processamento têxtil, o tratamento adotado resume-se nas etapas de pré-tratamento, tratamento primário e em alguns casos, tratamento secundário. Raríssimos são as unidades que adotam o tratamento terciário (CETESB, 2011).

A grande problemática quanto às estações de tratamento está ligada aos baixos níveis de eficiência na remoção da cor do efluente (HASSAMER, 2002). Para Nemerow (1977) deve-se adotar, além de todas as anteriores, certas práticas preliminares que tem por finalidade reduzir a quantidade e intensidade dos resíduos têxteis, das quais se pode citar; boas práticas organizacionais, controle de processos, substituição de matérias primas e produtos químicos e recuperação das mesmas dentro do processo produtivo.

3.3.1 Ozonização de Efluentes Têxteis

Recentemente a ozonização tem sido sugerida pela literatura como uma potencial alternativa para a descoloração de efluentes da indústria têxtil. Sua eficiência é satisfatória e o efluente depois de ser tratado apresenta pouca cor, baixa DQO, estando então próprio para ser lançado no corpo receptor ou mesmo retornar ao processo (HASSEMER, SENS, 2002). Para Robinson et al., (2001 apud SOMENSI, FENDRICH e SIMIONATTO, 2008) a aplicação do ozônio tem requerido especial atenção devido ao seu alto poder de oxidação quando comparado a outros agentes oxidantes, como por exemplo, o peróxido de hidrogênio. A ozonização tem servido para o tratamento de efluentes têxteis, mostrando-se bastante eficiente no processo de descontaminação ambiental.

A ozonização atualmente vem sendo considerada um dos mais promissores processos de oxidação, por meio dela, pode-se controlar os níveis de poluentes orgânicos em águas residuárias de lavanderia têxteis (TOSATO e HALASZ, 2011).

Dentro do processo de tratamento o ozônio é empregado em primeiro momento para quebrar as moléculas de corantes, e posteriormente atuando no processo de descoloração do efluente. Este método e muito promissor já que a oxidação dos corantes transforma-os em material degradável. Apesar de vários trabalhos sobre ozonização já tenham sido publicados pouco se sabe sobre a cinética e os produtos da reação (LIAKOU et al., 1997 apud HASSEMER e SENS, 2002).

Neste sentido vários estudos vêm demonstrando a eficiência da remoção de cor através da utilização do ozônio. Hassemer e Sens (2002) já citados neste trabalho, estudam a possibilidade de agregar ozônio ao tratamento físico-químico em efluentes têxteis. Outros autores citados por Kunz (1999) tais como; Perkins e Strickland (1995) avaliaram o uso do ozônio na descolaração de efluentes provenientes de processos de tingimento. Selcuk e Meric (2006) estudaram o uso do ozônio na remoção da toxidade aguda de efluentes têxteis.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

Há trinta anos atrás surgia o que é hoje a Riccieri Confecções Ltda. No principio, com nome de Confecções Daiel, eram confeccionados uniformes para empresas da região, após alguns anos a empresa passou a produzir peças para marcas famosas como Staroup, Lee, Cia Hering, entre outras.

Em 1993 aconteceu à grande transformação, a empresa passou a se chamar Riccieri Jeans, com produção de peças próprias, lançando a partir daí a sua marca no mercado. Atualmente a empresa conta com trezentos colaboradores. A empresa Riccieri Confecções Ltda localiza-se na rua Luiz Maragno, nº 570, distrito de Estação Cocal, município de Morro da Fumaça, Santa Catarina (Figura 3).

Figura 3: Mapa de localização do município de Morro da Fumaça, SC.

Fonte: Prefeitura Municipal de Morro da Fumaça, 2011.

A empresa encontra-se em perímetro urbano de Estação Cocal, podendo ser melhor observada na Figura 4.

Figura 4: Localização do empreendimento em Estação Cocal.

Fonte: Google Earth, 2011.

A água utilizada na empresa é proveniente de um poço artesiano localizado no mesmo terreno do parque fabril. O efluente após o tratamento é descartado em um córrego afluente da margem direita do rio Urussanga.

4.1.1 Geração de Efluente Industrial - Lavanderia

A empresa conta com lavanderia totalmente automatizada onde realiza o tingimento e lavagem das peças. Entre os equipamentos utilizados nos processos de lavagem e tingimento destacam-se as máquinas de lavar, centrifugas e secadoras. A Tabela 4 mostra a quantidade e capacidade dos principais equipamentos da lavanderia da Riccieri.

Tabela 4: Quantidade e capacidade do maquinário da lavanderia.

Maquinas de lavar	
Número de máquinas	**Capacidade de Carga (Kg)**
5	100
2	200
2	50
2	20
1	5
Centrífugas	
1	200
1	100
Secadoras	
2	200
2	100

Fonte: Elaborada pelo autor.

A quantidade de ciclos diários por máquina varia dependendo da quantidade de peças que serão lavadas em um lote. Desta forma, para lotes com maior quantidade de peças são utilizadas as máquinas com maior capacidade, objetivando a obtenção de uma maior eficiência por máquina e do processo.

Os processos de lavagem e tingimento obedecem às seguintes etapas: desengomagem, estonagem, alvejamento, amaciamento, tingimento, clareamento, branqueamento, centrifugação, enxague, oxidação, resinagem, redução, migração, neutralização e secagem. Além dos corantes são utilizados outros produtos como: desengomantes enzimáticos, soda cáustica, amaciantes, detergentes, sais fixadores de cor, entre outros.

O grande diferencial na lavanderia é referente ao sistema de ozonização, empregado no processo de alvejamento. Este processo é capaz de reduzir, a quantidade de água utilizada, em até 70% quando comparado ao processo convencional.

O fato de o ozônio ser um forte oxidante faz com que o efeito de migração de corantes seja muito menor, com isso se faz necessário um número menor de lavagens. Além do menor consumo de água, o uso do ozônio reduz o consumo de energia e de produtos químicos durante o processo de alvejamento, ao mesmo tempo em que proporciona o aumento na capacidade de produção.

4.1.2 Tratamento do Efluente

O efluente gerado na lavanderia industrial da Riccieri é conduzido à Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), onde a principal etapa do tratamento ocorre por meio de processos físico-químicos de coagulação e floculação.

Os insumos químicos utilizados no processo são: sulfato de alumínio como coagulante, soda caústica para correção do pH e polímero com floculante. Tanto o sulfato de alumínio quanto a soda e o floculante são adquiridos pronto para uso, fornecidos pela empresa Waltrick Química Sul, não sendo necessário realizar diluição.

Segundo dados obtidos na empresa, são gastos uma média mensal de 0,8 m^3 de sulfato de alumínio, 0,4 m^3 de soda cáustica e 1,2 m^3 de polímero.

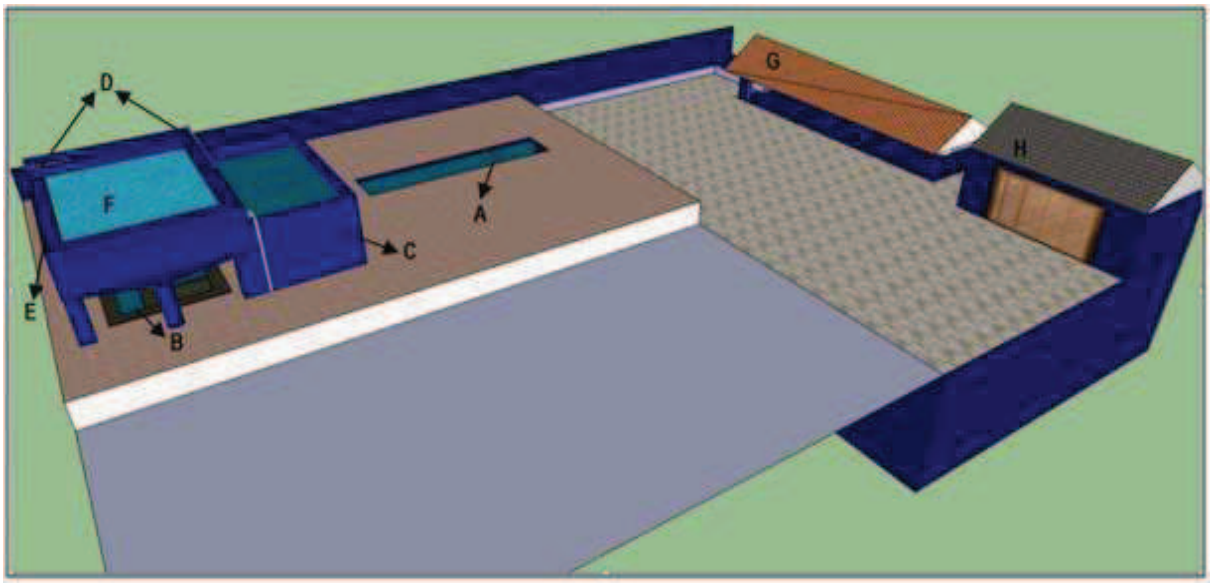
O lodo formado nos decantadores é enviado até o leito de secagem, sendo que após o período de secagem o mesmo é retirado e disposto em abrigo até encaminhamento ao aterro de resíduos industriais.

4.1.3 Composição da Estação de Tratamento de Efluente (ETE) da Riccieri

A ETE funciona em regime de batelada e a distribuição das etapas de tratamento podem ser visualizadas na Figura 5.

O efluente proveniente da lavanderia chega ao pré-decantador por gravidade, onde são decantadas partículas de maior tamanho. Em seguida, passa por etapa de peneiramento, onde as pedras utilizadas no processo de estonagem e que não ficaram retidas no pré-decantador são removidas. Após a peneira, o efluente passa novamente por um decantador onde o tempo de detenção hidráulica é maior, o que permite separar as partículas sedimentáveis que não foram removidas nas etapas anteriores.

Figura 5: Distribuição dos equipamentos que compõem a estação de tratamento de efluentes da Riccieri Confecções, Morro da Fumaça, SC.



Onde : (A) Pré-decantador primário e peneira, (B) Pré-decantador secundário, (C) Equalizador, (D) Bicos injetores de soluções (soda caústica, coagulante e floculante), (E) Calha com chicanas (misturador hidráulico), (F) Tanque de decantação ou clarificação, (G) Leito de secagem, (H) Galpão de estoque de lodo seco. Fonte: Elaborado pelo autor.

O efluente isento de partículas grosseiras é conduzido ao tanque de equalização, com objetivo de regularizar a vazão que alimentará o tratamento físico-químico ou unidade de clarificação química.

Do tanque de equalização o efluente é bombeado e conduzido aos misturadores hidráulicos onde recebe na sequência a adição do alcalinizante, coagulante e por último o floculante. Toda a dosagem dos insumos químicos é realizada por bombas dosadoras de pulso, com regulagem manual. O efluente com os condicionantes chega por gravidade ao decantador, da onde após a clarificação, é descartado no corpo receptor.

O lodo gerado nos decantadores da ETE da Riccieri é conduzido por gravidade ao leito de secagem, composto por quatro baias cobertas. Na prática, o operador da estação regula o tempo de secagem em função da capacidade da instalação, ou seja, quando as baias que compõem o leito chegam próximo ao limite, considera-se que o lodo tenha atingido o percentual de umidade necessário para o transporte, sendo então retirado manualmente e disposto em um galpão onde permanece até o encaminhamento ao aterro de resíduos industriais. Classificado

como resíduo classe II – não inerte, o lodo da ETE da Riccieri é atualmente encaminhado para deposição na Santec.

4.2 Caracterização do Efluente

A estação de tratamento de efluentes da Riccieri funciona desde 1993 e não se localizou nos arquivos da empresa, os projetos de sua instalação. A operação da ETE se dá em função da experiência prática dos operadores. Desta forma, para a elaboração deste estudo se fez necessário realizar o levantamento de alguns dados como vazão de efluente, vazão de dosagem de produtos, entre outros.

A medida de vazão do efluente foi obtida na saída do tanque de equalização, obtendo-se desta forma a vazão regularizada. Utilizou-se uma mangueira de 50 milímetros de diâmetro, uma bombona de 50 litros e um cronômetro digital. Para a vazão de dosagem dos produtos químicos a bombona foi substituída por um becker de 500 mililitros. As medidas de tempo para enchimento da bombona e do Becker foram realizadas em triplicada, considerando-se a média dos 3 valores para o cálculo da vazão.

A amostragem do efluente bruto para análise laboratorial foi realizada no período matutino do dia 17 de outubro de 2011, sendo obtida também no tanque de equalização. Para amostragem utilizou-se uma garrafa “pet”, previamente lavada e enxaguada com o próprio efluente, com capacidade de 3,3 litros. A amostra foi mantida refrigerada, sendo imediatamente, após a coleta, encaminhada ao laboratório de Águas e Efluentes Industriais do IPAT/UNESC. Os parâmetros analisados e seus respectivos métodos analíticos são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3: Método de análise físico-química.

Parâmetro	Método de Análise
DQO ($mg.L^{-1}$)	Refluxo aberto com dicromato
DBO ($mg.L^{-1}$)	Teste DBO 5 dias por Winkler
Sólidos Voláteis Totais (550°C) ($mg.L^{-1}$)	Gravimétrico
Sólidos Dissolvidos Voláteis (550°C) ($mg.L^{-1}$)	Gravimétrico
Sólidos Dissolvidos Totais (105°C) ($mg.L^{-1}$)	Gravimétrico
Sólidos Totais (105°C) ($mg.L^{-1}$)	Gravimétrico
Cor Aparente ($mg.L^{-1}$ PtCo)	Espectrofotômetro

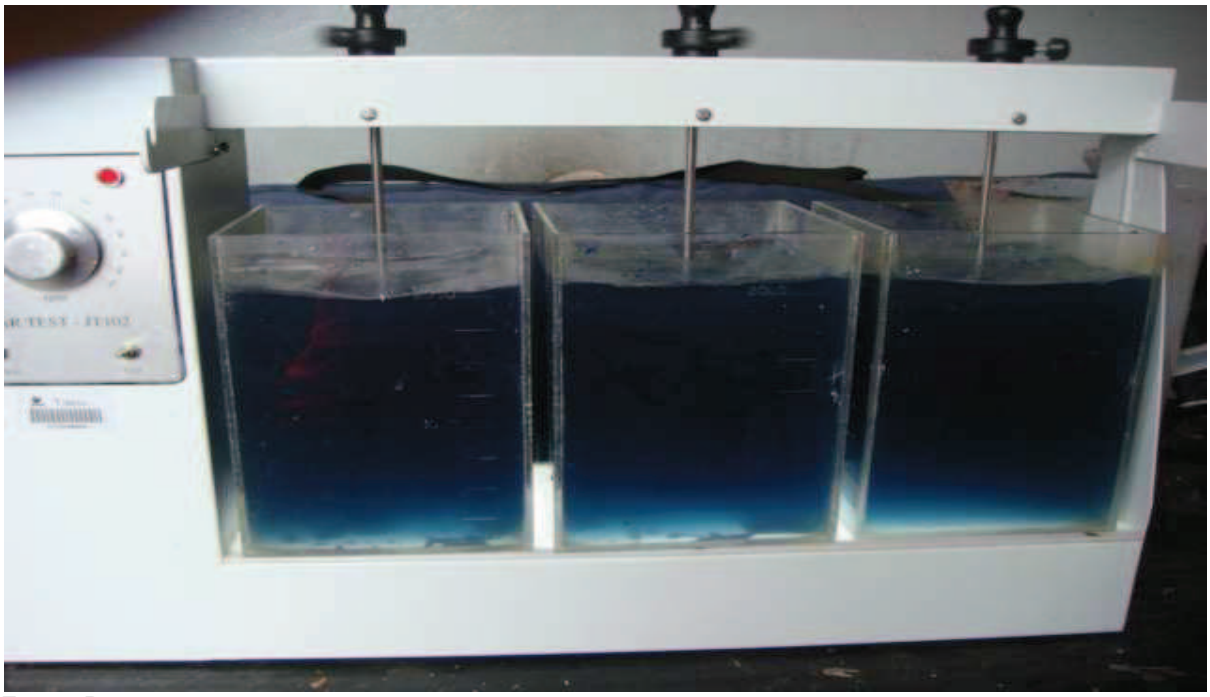
Fonte: (Adaptado de IPAT/UNESC, 2011).

4.3 Ensaios de Tratabilidade

Num primeiro momento, procurou-se reproduzir o tratamento adotado na ETE da Riccieri utilizando-se um equipamento de Jar Test. Esta etapa foi realizada com objetivo de comparar o tratamento convencional com o tratamento proposto no presente estudo, mantendo-se as mesmas condições de mistura, dosagem, tempo de decantação, entre outros.

Assim, com base nas medidas de vazão do efluente e de dosagem de produtos químicos realizadas na ETE, foram obtidos os parâmetros para o teste. Utilizou-se os mesmos reagentes da ETE. Os ensaios foram realizados em aparelho de *Jar Test* (Figura 6) de propriedade do IPAT/UNESC, composto de três jarros com capacidade de dois litros cada. Nos jarros observa-se a coloração do efluente bruto.

Figura 6: Aparelho de Jar Test utilizado nos ensaios de tratabilidade.



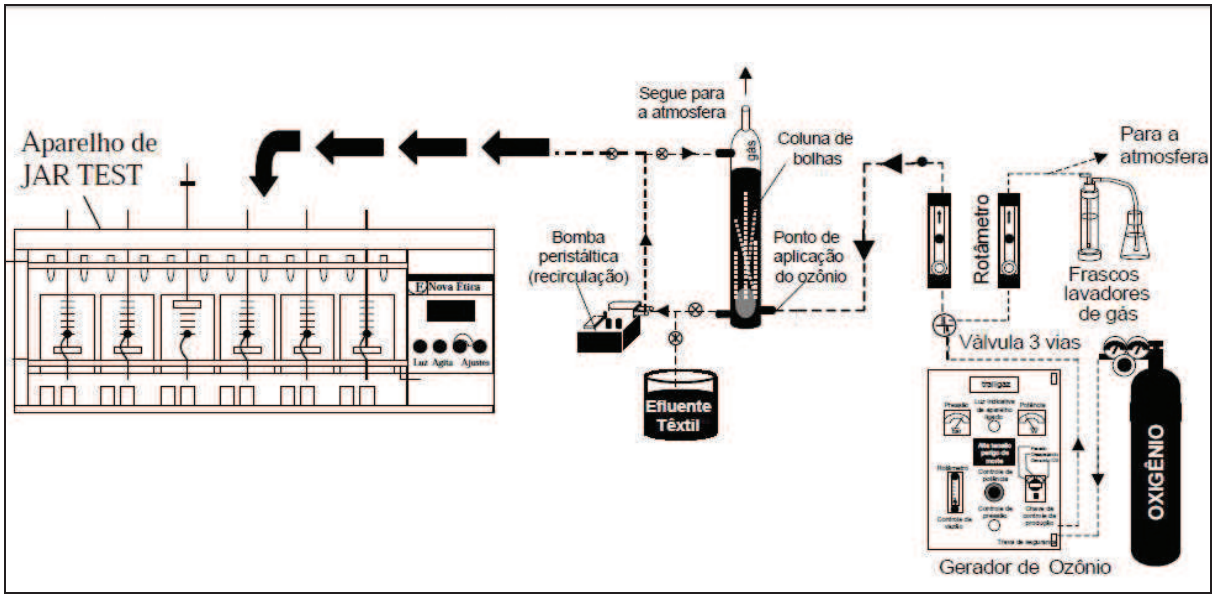
Fonte: Do autor

Os testes de coagulação e floculação seguiram as mesmas etapas adotadas na ETE, ou seja, adição de sulfato de alumínio até atingir pH 3,5. Em seguida eleva-se o pH até 6,5 utilizando-se soda cáustica; para então iniciar a adição de floculante. Utilizou-se rotação de 240 rpm para coagulação e correção de pH e 40 rpm para a floculação. Para medir o volume de lodo gerado no tratamento,

transferiu-se 250 mL do efluente floculado para uma proveta de igual volume, aguardando-se 1 hora para a leitura do lodo decantado.

A segunda etapa dos ensaios de tratabilidade de efluentes consistiu em avaliar a ozonização como etapa prévia ao tratamento físico-químico. Para realizar os testes com ozônio partiu-se do modelo básico proposto por Hassemer e Sens (2002), conforme mostra a Figura 7.

Figura 7: Sistema de ozonização proposto por Hassemer e Sens.



Fonte; Hassemer e Sens, 2002.

Desta forma, o ensaio de tratabilidade do efluente da Riccieri com uso de ozônio foi adaptado de Hassemer e Sens (2002), onde o efluente ozonizado em um reator é enviado ao *Jar test* onde é avaliada a condição de clarificação. O diferencial entre o ensaio realizado pelos autores e o presente estudo refere-se ao parâmetro de controle adotado, sendo que Hassemer e Sens (2002) variaram o pH do efluente enquanto que no sistema utilizado variou-se o tempo de contato ou tempo de ozonização.

A composição do sistema piloto de ozonização adotado na Riccieri consistiu de: a) aparelho gerador de ozônio marca Solaris, modelo 3, com capacidade de produção média de 100 gramas de ozônio por hora; b) concentrador de oxigênio marca Millenium, modelo M10, com capacidade de 10 litros por minuto, sendo que foram utilizados dois destes equipamentos nos ensaios; c) reator piloto com capacidade de 12 litros; d) conexões e registros soldáveis de policloreto de

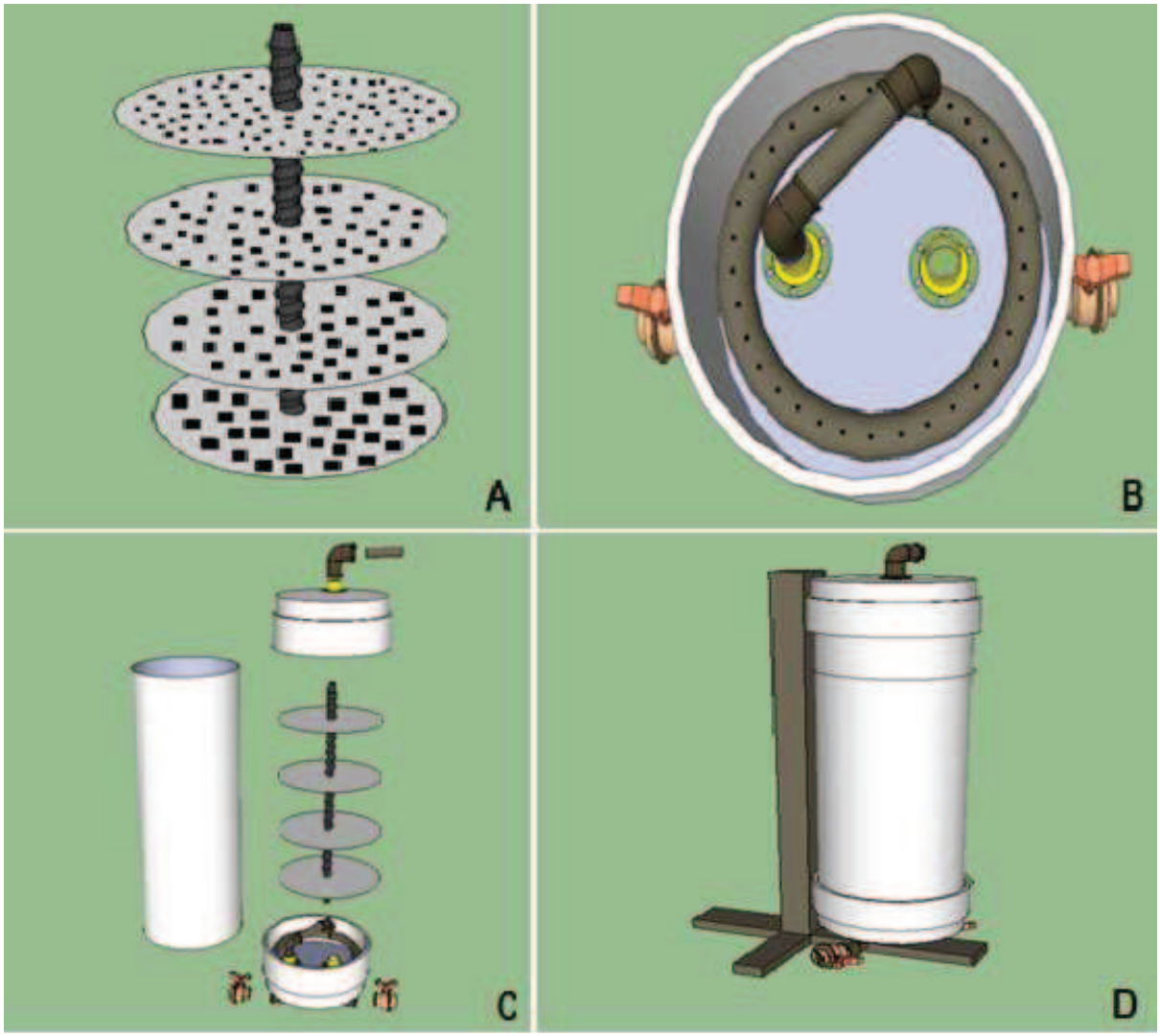
vinila (PVC) com diâmetro de meia polegada; e) bombonas de 50 litros cada, utilizadas como reservatório de efluente bruto e de efluente ozonizado.

4.3.1 Montagem do Reator Piloto

Para a montagem do reator piloto utilizou-se um tubo de policloreto de vinila (PVC), com diâmetro de 150 milímetros e 80 centímetros de comprimento, as conexões de entrada e saída, bem como flanges, registros e canos com diâmetro de meia polegada, em PVC soldáveis. Foram utilizados 3 registros, 3 flanges e 50 centímetros de cano. Como dispositivo de saída foi utilizado uma mangueira plástica sanfonada.

Internamente, o reator possui quatro pratos que tem por finalidade proporcionar melhor a mistura do gás ozônio com o efluente (Figura 8).

Figura 8: Partes constituintes do reator piloto utilizado para ozonização do efluente da lavanderia da Riccieri Confecções, Morro da Fumaça, SC.



Onde: (A) Sistema de bandejas perfuradas ou pratos para mistura efluente/ozônio; (B) Sistema de alimentação de ozônio; (C) Esquema de montagem do reator piloto; (D) Reator piloto montado. Fonte: Do autor.

Os pratos foram montados com o uso de lâminas de plástico, com o mesmo diâmetro interno do reator; perfurados com diferentes diâmetros e fixados por um parafuso sem-fim de metal.

Como dispositivo de entrada do gás (ozônio) no reator piloto, foi acoplada uma mangueira de silicone com diâmetro de meia polegada conectada no flange e formando um círculo na base do reator. A alimentação do gás ocorreu através de orifícios na mangueira. O reator piloto foi acoplado a um pedestal de madeira e preso por uma abraçadeira.

4.3.2 Tratamento em Escala Piloto

Após a montagem do reator piloto, procedeu-se o ensaio de tratabilidade utilizando a pré-ozonização. Para tanto, seguiram-se os seguintes passos:

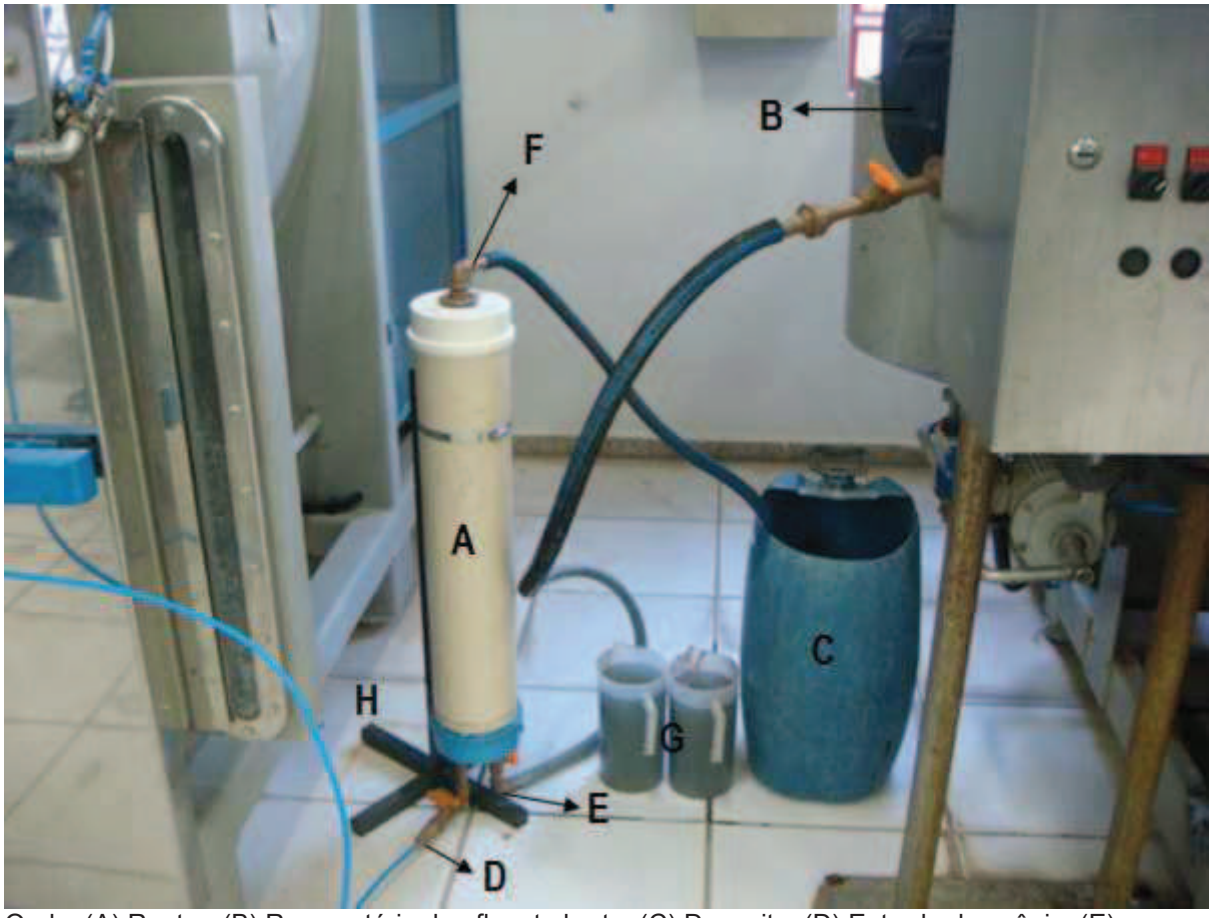
a) A coleta do efluente a ser tratado foi realizada com auxílio de uma bombona de 50 litros. O efluente foi obtido no tanque de equalização, ou seja, isento de sólidos grosseiros;
b) A bombona contendo o efluente bruto (reservatório) foi posicionada de forma a possibilitar o escoamento do efluente para o reator por gravidade;
c) A vazão de efluente bruto foi regulada através da abertura ou fechamento do registro na entrada do reator. Com auxílio de cronômetro e recipientes de volume conhecido aferiu-se a vazão de alimentação de forma a obter diferentes tempos de contato entre a massa líquida (efluente bruto) e o gás (ozônio). Para se calcular o tempo de contato utilizou-se a equação:

$$T = V/Q$$

Onde:
T = tempo de contato (minutos);
V = volume do reservatório (litros);
Q = vazão de efluente na entrada do reator (litros por minuto);

Para facilitar o uso do ozônio, o reator foi disposto ao lado de uma das máquinas de lavar equipada com o gerador de ozônio. O gás foi captado na entrada da máquina e a sua geração foi controlada no painel de controle através do botão liga/desliga. A Figura 9 mostra o sistema montado para a realização dos ensaios.

Figura 9: Sistema piloto para ozonização do efluente de lavanderia da Riccieri Confecções. Morro da Fumaça, SC.



Onde: (A) Reator; (B) Reservatório de efluente bruto; (C) Deposito; (D) Entrada de ozônio; (E) Entrada de efluente; (F) Saída de efluente ozonizado; (G) Recipientes coletores; (H) Pedestal.
Fonte: Do Autor.

O reator apresentou fluxo ascendente, onde o efluente bruto e o ozônio são injetados na parte inferior do reator, sendo que o efluente ozonizado sai pela parte superior. A vazão de efluente na entrada do sistema foi regulada de forma a obter 12, 6 e 4 minutos de tempo de contato. Entre cada troca de vazão respeitou-se um tempo determinado para que não se coletasse efluentes com maior ou menor tempo de contato.

Após a ozonização em diferentes tempos de contato o efluente foi submetido ao *Jar test*, avaliando-se a eficiência da coagulação e floculação. Foram mantidos os mesmos reagentes utilizados na ETE. O melhor resultado foi selecionado em função do aspecto visual do efluente tratado e em função da quantidade de lodo gerada para um período de decantação de 1 hora.

Quanto a verificação do consumo de energia do sistema gerador de ozônio foi necessário contato direto com o fornecedor do produto. O mesmo

informou que o consumo médio do sistema fica em torno de 2 KW/hora para a potência máxima do aparelho. A partir deste dado houve a possibilidade de se estimar um custo para o consumo de energia elétrica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para avaliar o uso do ozônio como pré-tratamento do efluente gerado na lavanderia industrial da Riccieri Confecções, se fez necessário obter alguns dados a respeito da Estação de Tratamento de Efluentes em operação, de forma a poder comparar os dois processos. Chegou-se a uma vazão média de efluentes da lavanderia de 71,5 litros por minuto ou 4,3 metros cúbicos por hora.

A Tabela 5 mostra as características do efluente equalizado com base nos resultados laboratoriais (pH, cor aparente, DQO, DBO, Sólidos Totais - ST, Sólidos Voláteis Totais - SVT, Sólidos Dissolvidos Totais - SDT e Sólidos Dissolvidos Voláteis – SDV); e nas relações obtidas entre os parâmetros medidos (biodegradabilidade, Sólidos Fixos Totais – SFT, Sólidos Dissolvidos Fixos – SDF, Sólidos Suspensos Totais – SST, Sólidos Suspensos Fixos – SSF e Sólidos Suspensos Voláteis – SSV).

Tabela 5: Características do efluente equalizado, Lavanderia da Riccieri Confecções Ltda, Morro da Fumaça, SC.

Parâmetro	Resultado
pH (ambiente)	5,9
Cor Aparente ($mg.L^{-1}$ PtCo)	2975,0
DQO ($mg.L^{-1}$)	608,5
DBO ($mg.L^{-1}$)	284,0
Biodegradabilidade (DQO/DBO)	2,1
Sólidos Totais (105°C) ($mg.L^{-1}$)	600,0
Sólidos Voláteis Totais (550°C) ($mg.L^{-1}$)	198,0
Sólidos Fixos Totais ($mg.^{L-1}$)	402,0
Sólidos Dissolvidos Totais (105°C) ($mg.L^{-1}$)	468,0
Sólidos Dissolvidos Voláteis (550°C) ($mg.L^{-1}$)	164,0
Sólidos Dissolvidos Fixos ($mg.L^{-1}$)	304,0
Sólidos Suspensos Totais ($mg.L^{-1}$)	132,0
Sólidos Suspensos Voláteis ($mg.L^{-1}$)	34,0
Sólidos Suspensos Fixos ($mg.L^{-1}$)	98,0

Fonte: Adaptado de IPAT/UNESC, ensaio nº 1717/2011.

Entre os indicadores de poluição considerados, apenas pH e DBO constam na Resolução 430/2011 do CONAMA e na Lei 14.675/2009 de Santa Catarina como padrões de emissão de efluentes.

Para estes parâmetros o CONAMA estabelece os limites de 5 a 9 para pH e fixa uma remoção mínima de 60% para a concentração de DBO.

Ainda com relação a estes parâmetros, a Legislação de Santa Catarina é mais restritiva que o CONAMA, regulamentando os valores de 6 a 9 para pH e 60 $mg.L^{-1}$ para DBO, sendo que este limite somente pode ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento biológico de água residuária que reduza a carga poluidora em termos de DBO do despejo em no mínimo 80% (oitenta por cento); e desde que não se altere a condição do corpo receptor (artigo 177 da Lei 14.675/2009).

Para o efluente da lavanderia em estudo a relação DQO/DBO apresentou valor próximo a 2, indicando que o mesmo é facilmente biodegradável, ou seja, o tratamento biológico é um bom indicativo para o tratamento conforme sugerido por Braile; Cavalcanti (1979).

Contudo, a estação de tratamento de efluentes em operação não contempla o tratamento biológico, restringindo-se às etapas de pré-tratamento e tratamento primário, ou físico-químico. Conforme aponta Nunes (2004) na etapa de pré-tratamento são removidos os sólidos grosseiros, enquanto que no tratamento primário são removidos os sólidos em suspensão e parte dos sólidos coloidais.

Conforme pode ser observado na Tabela 5, os contaminantes se encontram no efluente equalizado predominantemente na forma dissolvida (SDT), o que indica a necessidade de tratamento complementar ao tratamento físico-químico para o efluente abordado neste estudo.

Neste sentido, alerta-se para as recomendações de Sperling (1996) que afirma que a presença de sólidos dissolvidos pode acrescentar cor ao efluente a ser tratado. Desta forma, atribuiu-se indiretamente a concentração de sólidos dissolvidos à presença de corantes no efluente.

Ainda com objetivo de avaliar o uso do ozônio como pré-tratamento, buscou-se junto aos arquivos da empresa, dados relativos à característica do efluente tratado na estação em operação. Os dados se encontram na Tabela 6.

Tabela 6: Características do efluente da lavanderia tratado na estação em operação. Riccieri Confecções Ltda, Morro da Fumaça, SC.

Parâmetro	Resultado
pH	7,47
DQO ($mg.L^{-1}$)	215,0
DBO ($mg.L^{-1}$)	131,3
Sólidos Totais (105°C) ($mg.L^{-1}$)	1366,0
Cor Aparente ($mg.L^{-1}$ PtCo)	18,0

Fonte: Riccieri Confecções, 2011.

Comparando as características do efluente equalizado, ou seja, aquele onde apenas os sólidos grosseiros foram removidos, com o efluente tratado (após o tratamento primário) na estação atual da Riccieri Confecções, verificou-se que o tratamento é bastante eficiente com relação à remoção de cor, registrando redução de 99%. Em termos de remoção de matéria orgânica, registrou-se eficiência de 54% para DBO e 65% para a DQO. Contudo, observou-se o aumento na concentração de sólidos totais no efluente tratado, situação esta que se deve à utilização de produtos químicos para correção de pH e clarificação de efluentes.

O levantamento realizado na estação em operação apontou para um consumo de 0,47 mL de hidróxido de sódio; 1,45 mL de coagulante e 1,68 mL de floculante para cada litro de efluente tratado. Lembrando que os produtos utilizados na estação são fornecidos pelo fabricante pronto para o uso, ou seja, a empresa adquire os produtos químicos já diluídos.

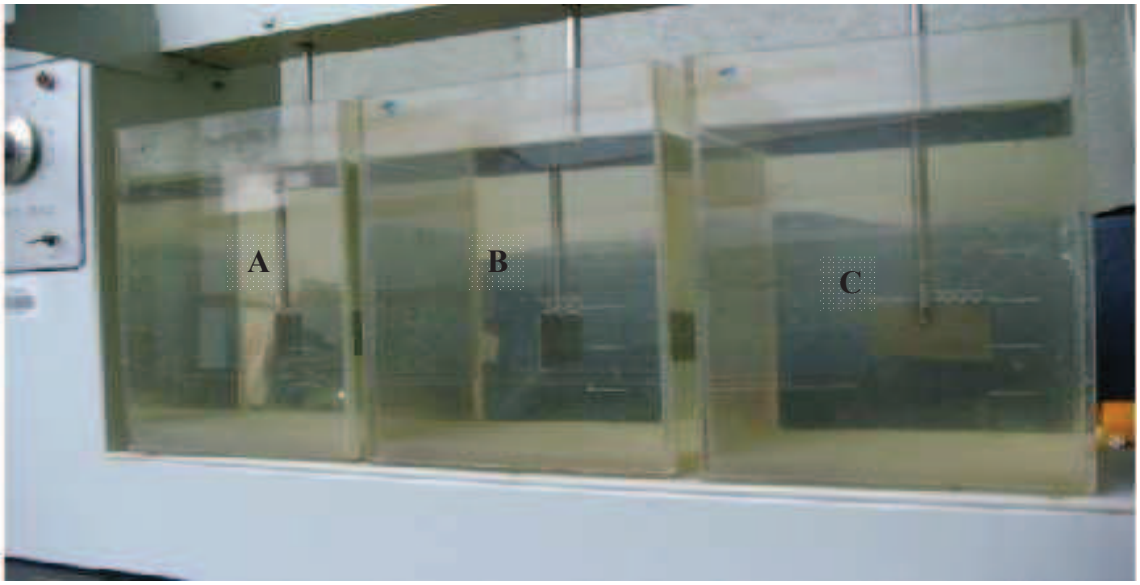
Visando avaliar a viabilidade do uso do ozônio como etapa de oxidação prévia de tratamento do efluente da lavanderia da Riccieri Confecções, partiu-se do princípio que o uso deste oxidante deveria reduzir o consumo de produtos químicos no tratamento, além de propiciar um efluente de melhor qualidade.

O fato do efluente bruto proveniente da lavanderia apresentar algumas características sensoriais ou organolépticas facilitou de forma preliminar a identificação das operações com melhor resultado, ou seja, em termos de ensaios de tratabilidade. Desta forma, considerou-se em princípio, o melhor resultado o efluente com menor intensidade de cor.

Variou-se o tempo de residência do efluente no reator (câmara de ozônio), baseado na vazão e volume do reator, resultando em tempo de contato ozônio/efluente em 12, 6 e 4 minutos; e constatou-se que visualmente não era possível identificar o melhor resultado (Figura 10). Verificou-se que as amostras de

efluente com t=12; t=6 e t=4, após serem submetidas ao mesmo tratamento físico-químico, resultaram em um efluente clarificado, sendo difícil visualmente identificar-se o melhor resultado. Desta forma, os testes seguintes foram realizados considerando o menor tempo de contato, ou seja, 4 minutos.

Figura 10: Ensaios de tratabilidade com pré-ozonização em diferentes tempos de contato.



Onde: (A) 12 minutos de contato; (B) 6 minutos de contato; (C) 4 minutos de contato. Fonte: Do Autor.

O efluente ozonizado com 4 minutos de contato foi submetido ao Jar test utilizando os mesmos produtos utilizados na estação, porém desta vez, variando-se a dosagem dos produtos. Para seleção do melhor resultado, considerou-se na sequência: a) clarificação de efluente (identificado visualmente); b) geração de menor volume de lodo; e c) menor consumo de reagentes.

O ensaio considerado como melhor resultado foi encaminhado para caracterização no laboratório de Águas e Efluentes do IPAT/UNESC. Os resultados se encontram na Tabela 7.

Tabela 7: Caracterização do efluente tratado após a etapa de pré-ozonização (tempo de contato de 4 minutos).

Parâmetro	Resultado
pH	7,5
Cor Aparente ($mg.L^{-1}$ PtCo)	124,0
DQO ($mg.L^{-1}$)	278,8
DBO ($mg.L^{-1}$)	83,0
Biodegradabilidade (DQO/DBO)	3,4
Sólidos Totais (105°C) ($mg.L^{-1}$)	862,0
Sólidos Voláteis Totais (550°C) ($mg.L^{-1}$)	138,0
Sólidos Fixos Totais ($mg.^{L-1}$)	724,0
Sólidos Dissolvidos Totais (105°C) ($mg.L^{-1}$)	755,0
Sólidos Dissolvidos Voláteis (550°C) ($mg.L^{-1}$)	138,0
Sólidos Dissolvidos Fixos ($mg.L^{-1}$)	617,0
Sólidos Suspensos Totais ($mg.L^{-1}$)	107,0
Sólidos Suspensos Voláteis ($mg.L^{-1}$)	0
Sólidos Suspensos Fixos ($mg.L^{-1}$)	107,0

Fonte: Adaptado de IPAT/UNESC, ensaio nº 1718/ 2011.

Comparando as características do efluente equalizado com o efluente tratado e pré-ozonizado, registra-se eficiência de 96% com relação à remoção de cor, eficiência esta menor do que a obtida no tratamento atual. Com relação à remoção da matéria orgânica o efluente pré-ozonizado apresentou eficiência de 71% relativa à DBO, comparado a 54% de eficiência obtida na estação atual.

A maior eficiência com relação à DBO se deve bem provavelmente à oxidação da matéria orgânica dissolvida durante o processo de ozonização, lembrando que a estação em operação não contempla a remoção de sólidos dissolvidos, uma vez que estes não são removidos no tratamento primário.

Em contrapartida, a redução da cor na estação atual é maior (Tabela 6) do que a obtida utilizando-se o ozônio como pré-tratamento. Com relação a esse fato, Lin e Lin (1993 apud Hassemer e Sens, 2002) alertam que a turbidez aumenta com o tempo de ozonização, dificultando a redução de cor devido a um aumento significativo da quantidade de sólidos suspensos durante o processo. No entanto, para o caso em questão, deve ser considerado o fato de ter sido utilizado um parafuso de ferro para a separação das bandejas no interior do reator. É bem provável que o uso do ozônio tenha acelerado a oxidação do ferro, fato este que se justifica também pela tonalidade levemente amarelada do efluente tratado.

Neste caso, ressalta-se que este fato também pode ter alterado a eficiência do reator aumentando o tempo de contato necessário para que se promovesse a descoloração do efluente.

Os principais resultados comparando o efluente bruto, tratado atualmente e ozonizado comparando-se com as legislações aplicáveis pode ser mais bem observado na tabela 8.

Tabela 8: Comparativo entre os principais parâmetros analisados e legislações aplicáveis.

Parâmetro	Efluente Bruto	Efluente atual	Efluente ozonizado	CONAMA 430/2011	Lei 14675/2009
pH	5,9	7,47	7,5	6,0-9,0	6,0-9,0
DQO ($mg.L^{-1}$)	608,5	215	278,8	-	-
DBO ($mg.L^{-1}$)	284,0	131,3	83	60% de remoção	60 mg/L
Sólidos Totais (105°C) ($mg.L^{-1}$)	600	1366,0	862,0	-	-
Cor Aparente ($mg.L^{-1}$ PtCo)	2.975,0	18,0	124,0	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

O incremento de sólidos totais no efluente ozonizado foi menor quando comparado ao obtido na estação em operação, provavelmente pelo resultado de menor consumo de reagentes no tratamento, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Consumo de produtos químicos no tratamento atual de efluentes e considerando a implantação da pré-ozonização.

Produto	**R$/L do produto**	**Consumo (L produto/m^3 de efluente tratado)**		**Custo (R$/ m^3 de efluente tratado)**	
		tratamento atual	com pré - ozonização	tratamento atual	com pré - ozonização
Soda cáustica (NaOH)	2,250	0,475	0,125	1,070	0,280
Coagulante	1,720	1,454	0,250	2,500	0,430
Floculante	0,017	1,678	1,500	0,040	0,030

Fonte: Elaborado pelo autor.

Avaliando o consumo de reagentes constatou-se que são gastos atualmente aproximadamente R$ 3,6 para cada m^3 de efluente tratado enquanto que para o efluente pré-ozonizado seriam gastos nas condições do ensaio, aproximadamente R$ 0,74 para cada m^3, totalizando uma redução no custo final em torno de 5 vezes.

O consumo elétrico do gerador de ozônio mais os concentradores de oxigênio atingiram 2 KW/hora. Na Tabela 9 são apresentados os dados de consumo energético estimados para um reator com capacidade de tratamento de 30 litros por minuto.

Tabela 10: Consumo de energia elétrica do conjunto gerador de ozônio por m^3 de efluente tratado.

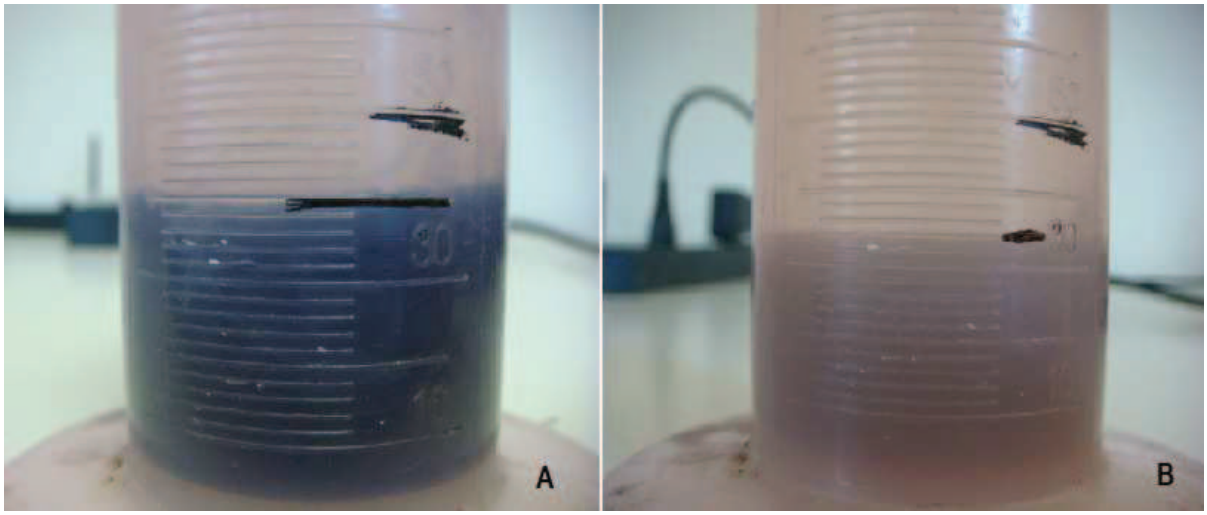
Vazão de efluente (m^3/hora)	Consumo elétrico (KW/m^3)	Custo do KW (R$)	Custo de energia por m^3 (R$)
1,800	1,110	0,45	0,50

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, estimou-se que o custo com energia elétrica relativo ao uso do gerador de ozônio, fica em torno de R$ 0,50 por metro cúbico de efluente tratado. Somando-se os custos dos reagentes e custos do acréscimo de consumo de energia em função da pré-ozonização, atinge-se R$ 1,24 por metro cúbico de efluente tratado, custo esse abaixo do que é atualmente gasto.

Além disso, deve ser considerado o menor volume de lodo gerado no sistema com pré-ozonização, o que incidirá na redução de custos com transporte e disposição final deste resíduo. A Figura 11 compara o volume de lodo gerado em 250 mL de efluente tratado na estação atual (10A) com o volume gerado, considerando-se a pré-ozonização do efluente com tempo de contato de 4 minutos (10B).

Figura 11: Comparação do volume de lodo gerado, onde: A) em efluente tratado na estação atual; e B) efluente com pré-ozonização.



Onde: (A) Efluente tratado na ETE; (B) Efluente pré-ozonizado. Fonte: Do Autor.

Observou-se a redução no volume de lodo, o que irá se refletir também na redução de 15% dos custos relativos ao transporte e disposição final do resíduo.

Considerando-se os dados da última carga de lodo encaminhado para disposição em aterro terceirizado, verificou-se que para 10 toneladas de resíduo, considerando o custo de disposição de R$115,00 por tonelada, chegou-se a um valor de 1.150,00 Reais. Levando-se em conta a redução na produção de lodo em 15% com a pré-ozonização, o custo de disposição do resíduo cairia para 978,00 Reais.

Os resultados obtidos foram extrapolados considerando-se o consumo de água na lavanderia para o mês de outubro de 2011, que foi de 1.248 m^3. Supondo que a taxa de conversão entre a água que entra no processo e a geração de efluente seja de 80%, chegou-se 999 m^3 de efluente tratado. Na Tabela 10 são comparados os custos de tratamento considerando o uso de reagentes e consumo de energia no tratamento atual e para o tratamento com pré-ozonização, adotando-se como base a vazão de efluente e preços de outubro/2011.

Tabela 11: Estimativa de custo para o mês de outubro/2011 para tratamento atual e com pré-ozonização.

Vazão de efluente (m^3/mês)	Custo por m^3 de efluente tratado atualmente (R$)	Custo mensal tratamento atual (R$)	Custo por m^3 de efluente pré-ozonizado (R$)	Custo mensal efluente pré-ozonizado (R$)
999,0	3,60	3.600,00	1,24	1.240,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como visto, a pré-ozonização aliado ao tratamento físico-químico contribuiu significativamente na redução de custos, cerca de 65%, além da redução no volume de lodo.

Comparando os resultados obtidos conclui-se que as principais vantagens do uso do ozônio como pré-tratamento, quando comparado ao tratamento atualmente adotado para o efluente da Riccieri Confecções, são: o menor consumo de reagentes; o menor volume de lodo produzido no tratamento; pelo reagente (O_3) ser produzido no local, evita imparcialidade de demanda; maior eficiência na remoção de matéria orgânica biodegradável, incluindo-se a fração dissolvida; além do que não forma compostos tóxicos (PHILIPPOPOULOS e NIKOLAKI, 2010).

Por outro lado, as desvantagens restringem-se ao consumo adicional de energia elétrica; e o fato de que o reagente (O_3) não pode ser armazenado. Além disso, deve ser alertado o elevado custo de aquisição do gerador de ozônio, sendo que para vazões, como as da lavanderia da Riccieri, o uso de ozônio só se justifica quando se tem gerador disponível para ser usado no tratamento de efluentes.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O efluente gerado no seguimento têxtil incluindo as lavanderias industriais, tem como principal característica a presença residual dos corantes utilizados no tingimento do fio ou do tecido, que mesmo se encontrando em baixas concentrações desenvolvem forte coloração no efluente, tornando o tratamento mais complexo.

A estação de tratamento do efluente gerado na lavanderia da Riccieri Confecções da empresa é composta pelas etapas de tratamento preliminar, onde são removidos os sólidos grosseiros; equalização; e tratamento físico-químico composto pelas etapas de neutralização, coagulação, floculação e clarificação.

A análise realizada no efluente equalizado demonstrou que além de forte coloração azulada, o efluente apresenta boa condição de biodegradabilidade e os contaminantes se encontram predominantemente dissolvidos. Estas características apresentam eficiência limitada no tratamento até então adotado na Riccieri.

O presente estudo procurou avaliar em escala piloto a viabilidade do uso do ozônio na etapa de pré-tratamento do efluente gerado na lavanderia da Riccieri Confecções, visando à melhoria na qualidade do efluente final e redução no consumo de reagentes.

O tratamento com ozônio resultou em maior eficiência na remoção de DBO, quando se compara com o tratamento atual. É provável que este fato se relacione à oxidação da fração dissolvida de matéria orgânica pelo ozônio.

Com relação à remoção de cor, os dados apontavam que a estação atual tem uma boa eficiência na redução deste parâmetro, chegando conforme os dados que constam nos arquivos da empresa, em 99% de remoção de cor. O ensaio realizado com ozônio apresentou uma eficiência menor (96%). No entanto, o uso de um parafuso de ferro para a fixação das bandejas no interior do reator pode ter influenciado negativamente este resultado.

De qualquer forma, pode se dizer que a pré-ozonização resulta em efluente de melhor qualidade e que para o parâmetro DBO, atende às condições fixadas pela resolução do CONAMA 430/2011.

Além disso, observou-se que a utilização do ozônio como etapa do pré-tratamento, reduz o consumo de reagentes no tratamento físico-químico

comparativamente com o tratamento atual. Outro ponto positivo é o menor volume de lodo gerado no tratamento físico-químico do efluente pré-ozonizado.

Com base no tratamento piloto pode se inferir que o sistema operacional para aplicação de ozônio é relativamente simples e requer uma pequena área para sua instalação.

O estudo apontou ainda que o custo operacional de tratamento com ozônio é menor do que o tratamento atualmente adotado pela Riccieri, reduzindo de R$ 3,60 por metro cúbico de efluente tratado, atualmente, para R$ 1,24 por metro cúbico de efluente, utilizando o ozônio como pré-tratamento.

Contudo, ressalta-se que o custo para aquisição do equipamento gerador de ozônio é elevado, limitando o uso do mesmo.

Cabe destacar que é necessário realizar estudos comparativos analisando-se efeitos de toxicidade entre o efluente tratado de forma convencional com o efluente tratado após a pré-ozonização, além de ensaios com o lodo gerado nas duas situações, bem como repetir os ensaios com objetivo de comprovar e otimizar os resultados deste estudo. Sugere-se ainda para trabalhos futuros, a reprodução de novos ensaios com uso de outras variáveis, como por exemplo, o pH, além da construção de reatores que não possuam em sua estrutura peças oxidáveis.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. et al. Tratamento de Efluentes Industriais por Processos Oxidativos na Presença de Ozônio. **Química Nova.** São Paulo, vol. 27, nº 5, p. 818 - 824, jul. 2004.

BADER, H; HOIGNÉ, J. Rate Constants of Reactions of Ozone with Organic end Inorganic Compounds in Water. **Water Research.** Alemanha, vol. 17, p. 185 – 194. 1981.

BAIRD, C. **Quimica ambiental.** 2.ed., Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BARBUSIŃSKI, K.; MAJEWSKI, J. Discoloration of Azo Dye Acid Red 18 by Fenton Reagent in the Presence of Iron Powder. **Polish Journal of Environmental Studies.** Polônia, vol. 12, nº 2, p. 151-155. 2003.

BARÊA TEIXEIRA, C. P. de A. **Estudo comparativo de diferentes tipos de processos oxidativos avançados.** 2002. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. 2002.

BASTIAN, E. Y. O; ROCCO, J. L. S. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil**. São Paulo. CETESB; SINDITÊXTIL, 2009. 81 p.

BLUM, J. R. C. **Critérios e padrões de qualidade da água**. In: Mancuso, P.C.S; Santos, H.F. Reúso de água. Barueri, São Paulo: Manoli, 2003.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305p.

BRAILE, P. M; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais.** São Paulo: CETESB, 1979. 764 p.

BRANCO, S. M. **Água:** origem, uso e preservação. São Paulo: Moderna, 2000. 71 p.

BUARQUE, H. L. de B. et al. Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos Fenton e foto-assistidos (UV e UV/H_2O_2). **Revista Sanitária e Ambiental.** Rio de Janeiro, vol.14, nº1, p.1 – 8, jan/mar 2009.

CARNEIRO, P. A.; ZANONI, M. V. B. O descarte dos corantes têxteis. **Ciência Hoje**. Rio de Janeiro, vol. 29, nº174, p. 61 – 64, agosto de 2001.

CAVALCANTI, J. E. W de A. **Manual de tratamento de efluentes industriais.** São Paulo: Engenho Editora técnica Ltda. 2009. 453p.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Variáveis da qualidade das águas.** Disponível em <http:// http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/34-variaveis-de-qualidade-das-aguas---old >. Acesso em: 22 setembro de 2011.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. **RESOLUÇÃO CONAMA 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, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.** Data da legislação: 13/05/2011 – Publicada no DOU. Livro do CONAMA – BRASIL – Ministério do Meio Ambiente.

DAMINELLI, P. E. **Estação de tratamento de efluente:** eficiência. 2008. 94 f. Monografia (especialização em Gestão de Recursos Naturais) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma. 2008.

DURÁN, N. et al. Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. **Química Nova.** São Paulo, vol. 25, nº. 1, p.78 - 82, jan. 2002.

EDWARDS, J. C. **Investigation of Color Removal by Chemical Oxidation for Three Reactive Textile Dyes and Spent Textile Dye Wastewater.** 2000, 56 F. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Engenharia) – Universidade da Virginia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Virginia. 2000.

GIORDANO, G. Tratamento e controle de efluentes industriais. 2004. Disponível em: <http://www.ufmt.br/esa/Modulo_II_Efluentes_Industriais/Apost_EI_2004_1ABES_Mato_Grosso_UFMT2.pdf>. Acesso em: 29 setembro de 2011.

GOOGLE EARTH. Imagem via satélite. 2011.

GUAN, C. T. et al. Treatment of textile wastewater by advanced oxidation processes – a review. **Global Network for Environmental Science and Technology**. Grécia, vol. 6, nº 3, p. 222-230. 2004.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**. São Paulo, vol. 23, nº1, p. 71 – 78, 2000.

HASSEMER, M. E. N.; SENS, L. M. Tratamento do Efluente de uma Indústria Têxtil. Processo Físico-químico com Ozônio e Coagulação/floculação. **Revista Sanitária e Ambiental.** Rio de Janeiro, vol. 7, nº 1, p. 30-36, jan/mar 2002 e nº 2, abr/jun 2002.

IMHOFF, K.; IMHOFF, K. R.; HESS, M. L. **Manual de tratamento de águas residuárias.** São Paulo: Edgard Blücher, 1996. 301 p.

IPAT – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense. **Relatório de Ensaio** n. 1717/2011. IPAT: Laboratório de Análises Físico-Químicas. 2011. 1p.

____. **Relatório de Ensaio** n. 1718/2011. IPAT: Laboratório de Análises Físico-Químicas. 2011. 1p.

KUNZ, A. **Remediação de Efluente Têxtil:** Combinação entre processo químico (ozônio) e biológico (*P. Chrysosporium*). 1999. 130 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. 1999.

MACÊDO, J. A. B. de. **Águas & Águas.** São Paulo: Varela, 2001. 505 p.

MALHEIROS, T. F; PHILIPPI JR. Águas residuárias: visão de saúde pública e ambiental. In: PHILIPPI JR. A.(Org.) **Saneamento, saúde e ambiente**: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri, SP: Manole, 2005.

MARTINS. L. M. **Estudo da aplicação de processos oxidativos avançados no tratamento de efluentes têxteis visando o seu reuso.** 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Piauí, Piauí. 2011.

MATTOS NUNES, L. de. **Avaliação de aplicação do descarte de lodo de E.T.A em E.T.E através de monitoramento de eficiência de remoção de DQO :** estudo de caso : Samae, Sombrio - SC. 2010. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma. 2010.

MIERZWA, J. C; HEPANHOL, I. **Água na Indústria**: uso racional e reuso. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 143p.

NEMEROW, N. L. **Aguas residuales indistriales:** teoria, aplicaciones y tratamiento. Madrid: Hermann Blume, 1977. 572 p.

NUNES, A. N. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 4. ed. Sergipe: J. Andrade, 2004. 298 p.

PHILIPPOPOULOS, C. J.; NIKOLAKI, M. D. Photocatalytic processes on the oxidation of organic compounds in water. In: ŠRAMOVÁ, B.(Ed.). **New trends in technologies**. Croácia: In-Tech, 2010. p. 89-108.

PIVELI, R. P. et al. Desinfecção de Efluentes Sanitários por Meio da Ozonização. In: GONÇALVES, F. R. (Coord.). **Desinfecção de Efluentes Sanitários.** 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 169-207.

PREFEITURA MUNICÍPAL DE MORRO DA FUMÇA. **Mapa de localização do Município**, 2011. Disponível em: <http://www.morrodafumaca.sc.gov.br/conteudo/?item=18684&fa=8>. Acesso em : 02/11/2011.

RAMALHO, R. S. **Introduction to wastewater treatment processes.** San Diego: Academic Press, 1983. 580 p.

RICHITER, C. A; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água**. 1. ed. São Paulo: Cetesb. 1991. 304p.

RUFINO, E. C. G.; FARIA, L. A. Degradação de corantes têxteis através de ozônio gerado eletroquimicamente em ânodos de B-PbO2.. In: VI ENCONTRO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E X SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2006, Uberlândia. **Anais...** Instituto de Química – UFU. Uberlândia. 2006.

SANTA CATARINA. **Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009, Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências**. Data da legislação: 13/05/2009. Florianópolis, Santa Catarina.

SANTOS, E. O. **Caracterização, biodegradabilidade e tratabilidade do efluente de uma lavanderia industrial.** 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco. 2006.

SILVA, S. A; MARA, D. D. **Tratamentos biológicos de águas residuárias**: lagoas de estabilização. Rio de Janeiro: ABES, 1979. 140p.

SOMENSI, A.C.; FENDRICH, L. J.; SIMIONATTO, E. L. Estudo da Ozonização de Efluente Têxtil em Escala Piloto como Alternativa no Processo de Descontaminação Ambiental. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** ABEPRO, Rio de Janeiro, 2008.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2.ed. Belo Horizonte: FCO, 1996. 243 p.

TEIXEIRA, C. P. A. B; JARDIM, W. F. **Processos oxidativos avançados;** Conceitos teóricos. Caderno Temático, vol. 3. UNICAMP. 2004.

TOSATO, J. C. Jr.; HALASZ, M. R. T. Tratamento de Efluentes Têxteis Utilizando Processos Físico-Químicos e Oxidativos Avançados. IN: 3rd International Workshop; Advances in Cleaner Production. **Anais...**São Paulo, 2011.

VANDEVIVERE, P. V.; BIANCH, R.; VERSTRAETE, W.; Treatment and Reuse of Wastewater from the Textile Wet-Processing Industry: Review of emerging technologies. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**. SCI, vol. 72, p. 289 - 302, 1998.