

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO - MESTRADO PROFISSIONAL

JOÃO CARLOS RIBEIRO

TRATAMENTO E REUSO DO EFLUENTE GERADO EM UM
PROCESSO DE PINTURA INDUSTRIAL POR ELETRODEPOSIÇÃO

Passo Fundo

2015

JOÃO CARLOS RIBEIRO

**TRATAMENTO E REUSO DO EFLUENTE GERADO EM UM
PROCESSO DE PINTURA INDUSTRIAL POR ELETRODEPOSIÇÃO**

Orientador: Prof. **Marcelo Hemkemeier, Dr.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo

2015

JOÃO CARLOS RIBEIRO

**TRATAMENTO E REUSO DO EFLUENTE GERADO EM UM
PROCESSO DE PINTURA INDUSTRIAL POR ELETRODEPOSIÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 11 de setembro de 2015.

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Marcelo Hemkemeier
Orientador

Professor Doutor Osvaldo Luis Vieira Farias
Universidade Católica de Pelotas

Professor Doutor Vandrê Barbosa Brião
Universidade de Passo Fundo

Professor Doutor Charles Leonardo Israel
Universidade de Passo Fundo

DEDICATORIA

À Deus,

por me promover a oportunidade de vida e a graça de cumprir mais esta jornada.

Aos meus pais, Nativo e Eleonora (in memoriam),

que sempre me ensinaram o valor da honestidade e da dignidade.

À minha esposa, Maria Lúcia,

companheira e amiga que me incentivou e me deu força em todos os momentos.

Aos meus queridos filhos,

que compreenderam a minha ausência durante o tempo dedicado a este projeto.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marcelo Hemkemeier,
por me aceitar como orientando e acreditar nos resultados do projeto proposto,
pela dedicação e orientação durante o período desta pesquisa,
pela amizade e sobretudo pelo incentivo e direcionamento com foco no resultado.

A todos os professores da Universidade de Passo Fundo (UPF) e a coordenação do
curso de Mestrado em Projetos e Processos de Fabricação,
pela dedicação suporte e profissionalismo demonstrado durante o período do curso.

Aos amigos e colegas de turma,
pela amizade, parceria e união durante este período.

Ainda,
Os meus sinceros agradecimentos à todos que de alguma forma contribuíram,
direta ou indiretamente, para o atingimento de mais este objetivo.

*O futuro pertence àqueles que acreditam na
beleza de seus sonhos.*

Eleanor Roosevelt.

RESUMO

A utilização de efluentes para a alimentação de sistemas de pintura, associada as restrições ambientais e viabilidades econômicas, impulsiona a criação de projetos voltados para o reuso da água nas indústrias. O tratamento e reuso de efluentes tem se mostrado uma importante ferramenta para minimizar problemas relacionados a disponibilidade hídrica, além de oferecer vantagens econômicas. Neste trabalho foi avaliado o efluente gerado de um sistema de pré-tratamento com nanotecnologia e pintura *e-coat*, para viabilizar o seu reuso como fonte de abastecimento no próprio sistema de pintura. O efluente gerado neste processo é tratado na ETE por processos físico-químicos e biológicos para atender a legislação ambiental, sendo em seguida lançado na sua totalidade para os corpos receptores. A caracterização deste efluente, após passar pelo processo da pintura, apresentou valores elevados de condutividade, pH, sólidos totais, óleos e graxas, surfactantes e a presença de bactérias, sendo necessário o emprego de uma etapa adicional de tratamento com a finalidade de torná-lo adequado para o reuso como água do processo de pintura. As coletas do efluente foram feitas diariamente durante um período de 20 dias. Dentro desse processo, foram analisados os efluentes do tanque quatro, primeiro tanque após o desengraxe, tanque oito, primeiro tanque após o conversor nanocerâmico e a mistura do tanque quatro com o tanque oito na proporção 50/50. Foram utilizados 4 tipos de tratamento sendo eles, coagulação/floculação, neutralização, filtração com filtro bag 1 μ m, filtração com carvão ativado, bem como as suas combinações para avaliar a melhor alternativa econômico/financeira para o reuso. Após realizado os testes, a tecnologia de tratamento composto por coagulação/floculação, seguido de filtração com filtro bag e filtro de carvão ativado, apresentou o melhor resultado para o reuso. Analisando os parâmetros após a sequência de tratamento, constatou-se que o efluente do tanque oito que apresentou valores abaixo do valor máximo permitido, poderia voltar para o sistema novamente através de um circuito fechado, sem tratamento. Quanto ao efluente do tanque quatro, este deverá ser submetido ao processo de recuperação definido antes de retornar para o sistema. Com a implantação do sistema de reuso, estima-se uma redução anual no consumo de água de 17.393m³, sendo o efluente do tanque oito responsável por 61% deste valor. Com a reutilização dos dois efluentes, a empresa terá uma economia anual de R\$ 258.811,00 considerando a água de rede utilizada no processo e o seu custo para tratamento.

Palavras chaves: Reuso; Caracterização; Tratamento de superfície; Nanotecnologia.

ABSTRACT

The use of the wastewater as the water to feed painting systems, associate to environment and economics availability restrictions, propels the need to create projects focused to reuse of water on industries. The treatment and reuse of wastewater generated at industries has showed an important tool for minimize the problems related of hydric availability, besides offering economic advantages. This work evaluated the effluent generated from a pre-treatment system with nanotechnology and *e-coat* paint, to enable its reuse as a source of supply on the same painting system. The effluent generated in this process is treated in the ETE by physicochemical and biological processes to meet environmental legislation, and then released in its entirety to the receiving bodies. The characterization of this effluent, after passing through the painting process, showed high levels of conductivity, pH, total solids, oil and grease, surfactants and the presence of bacteria, being necessary to use an additional treatment step with the purpose to make it unable to reuse as water to painting process. The sampling of effluent were performed daily during a period of 20 days. Within this process were analyzed the wastewater of tank four, first tank after degrease, tank eight, first tank after the nanoceramic conversion and the mix of tank four with the tank eight in 50/50 proportion. It was used 4 types of treatment being, coagulation/flocculation, neutralization, filtration with bag filter of 1 μ m, filtration with activated carbon and their combinations to evaluate the better alternative economic/financial to reuse. After performing the tests, the treatment technology consisted of coagulation/flocculation followed by filtration with bag filter of 1 μ m and activated carbon filter showed the best result for reuse. Analyzing the parameters after the treatment sequence, was verified that the wastewater of the tank eight, which showed values bellow of the maximum allowed, could returned again to system through a closed circuit, without treatment. Regarding the effluent of tank four, this should be submitted to wastewater recovering system defined before to return to painting system. With the implementation of the reuse system, it is estimated an annual reduction of water consumption of 17.393m³, being the wastewater of tank eight responsible for 61% of this value. Using these two wastewater, the company will have an annual saving which can turn around R\$ 258.811,00 considering the water used in the process and the cost to treat this wastewater.

Key words: Reuse; Characterization; Surface treatment; Nanotechnology.

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas técnicas
AFM	Atomic Force Microscopy
ASTM	American Society for Testing and Materials
COT	Carbono Orgânico Total
CETESB	Companhia ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
E-coat	Electrophoretic Coating
EDP	Eletrodeposição
EB	Efluente Bruto
ELPO	Electro Coat Paint Operation
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FB	Filtro Bag
FCA	Filtro com Carvão Ativado
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
FQ	Físico-Químico
LQ	Limite de Qualificação
MO	Matéria Orgânica
NC	Não controlado
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez)
O&G	Óleos e Graxas
ONU	Organização das Nações Unidas
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SIS	Instituto de Normas Suecas
SISAUTO	Sistema de Auto monitoramento de Efluentes Líquidos das Atividades Poluidoras Industriais
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SS	Sólidos Suspensos
SSMA	Saúde Segurança e Meio Ambiente

SSPC	Conselho de Pintura de Estruturas Metálicas
ST	Sólidos Totais
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
TS	Teor de Sólidos
UFC	Unidade de Formação de Colônia
WHO	Organização Mundial de Saúde

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Poluição das águas	19
2.2 Métodos de tratamento de efluentes	21
2.2.1 Padrões de lançamento de efluentes	23
2.3 Técnicas de tratamento de efluentes	27
2.3.1 Neutralização	27
2.3.2 Filtração	28
2.3.3 Precipitação química.....	29
2.3.4 Coagulação, floculação e sedimentação ou flotação	30
2.3.5 Adsorção em carvão ativado.....	33
2.4 Processo de pintura por eletrodeposição.....	34
2.4.1 Considerações gerais	34
2.4.2 Preparação da superfície.....	35
2.4.3 Conversor Nanocerâmico	37
2.4.4 Eletrodeposição	41
2.4.4.1 Eletrodeposição Anódica x Catódica.....	42
2.4.4.2 Eletrodeposição Catódica	43
2.4.4.3 Controle de qualidade.....	44
3 MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1 Processo de tratamento de superfícies	46
3.1.1 Estágios 1 a 3 (Desengraxe Alcalino).....	47
3.1.2 Estágios 4 a 6 (Enxágue)	48
3.1.3 Estágio 7 (conversor nanocerâmico)	48
3.1.4 Estágio 8 a 9 (Enxágue).....	49
3.2 Caracterização do efluente gerado no processo de pré-tratamento.....	50
3.2.1 Coleta do efluente para análise.....	50
3.3 Sistemas de tratamento do efluente dos banhos (tanque 4 e mistura tanque 4-8)	52
3.3.1 Testes de Coagulação/floculação (Físico-Químico).....	53
3.3.2 Testes de Filtração	55
3.3.2.1 Filtração com filtro Bag.....	55
3.3.2.2 Filtração com carvão ativado.....	56

3.3.3	Teste físico-químico + filtro bag	56
3.3.4	Teste físico-químico + filtro de carvão ativado.....	57
3.3.5	Teste físico-químico + filtro bag + filtro de carvão ativado.....	57
3.4	Viabilidade Técnico-econômica	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1	Caracterização prévia do efluente	59
4.1.1	Tanque 4	59
4.1.2	Tanque 8	60
4.2	Sistema de tratamento dos efluentes dos banhos	64
4.2.1	Coagulação/floculação (físico-químico).....	65
4.2.2	Filtração com filtro bag 1µm.....	65
4.2.3	Filtração com carvão ativado.....	66
4.2.4	Físico-químico + filtro bag 1µm	66
4.2.5	Físico-químico + filtro carvão ativado	67
4.2.6	Físico-químico + filtro bag 1µm + filtro carvão ativado.....	68
4.2.7	Caracterização dos efluentes antes e após os diferentes sistemas de tratamento	68
4.3	Análise individualizada do processo de recuperação do efluente.....	69
4.3.1	Condutividade.....	69
4.3.2	Dureza Total	70
4.3.3	pH	71
4.3.4	Sólidos totais (ST)	72
4.3.5	Surfactantes	73
4.3.6	Óleos e Graxas.....	73
4.3.7	Contaminação microbiológica	74
4.3.8	Definição do processo de tratamento para reuso	75
4.4	Viabilidade econômica do projeto	76
4.4.1	Consumo de água utilizada no processo (Jan/2015 a Mai/2015)	77
4.4.2	Custo mensal com água + tratamento (Jan/2015 a Mai/2015)	77
4.4.3	Estimativa de custo mensal com o tratamento físico-químico	78
4.4.4	Estimativa de custo para a aquisição do sistema de reuso.....	78
4.4.5	Retorno financeiro	79
5	CONCLUSÃO	81
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pré-tratamento com conversor nanocerâmico.....	36
Figura 2 - Morfologia da camada nanocerâmica comparado ao fosfato de ferro.....	37
Figura 3 - Comparativo camada nanocerâmica / fosfato ferro / fosfato zinco	38
Figura 4 – Evolução de massa de revestimento depositado com o passar do tempo	39
Figura 5 - Fluxo do processo de pré-tratamento com conversor nanocerâmico.....	39
Figura 6 - Comparativo: fosfato ferro / conversor nanocerâmico / fosfato zinco	40
Figura 7 - Performance da camada nanocerâmica.....	40
Figura 8 - Eletrodeposição catódica x anódica.....	43
Figura 9 - Eletrodeposição catódica	43
Figura 10 - Gráfico de composição do banho e-coat.....	44
Figura 11 - Fluxograma do processo de tratamento superficial.	46
Figura 12 – Esquema dos tanques de desengraxe com seus parâmetros do processo	47
Figura 13 – Esquema dos tanques de enxágue pós desengraxe com parâmetros de processo .	48
Figura 14 – Esquema do tanque do conversor nanocerâmico com parâmetros de processo .	49
Figura 15 – Esquema dos tanques de enxágue pós conversor nanocerâmico com parâmetros de processo	50
Figura 16 - Ponto de coleta do efluente do tanque 4 (a) e tanque 8 (b).....	51
Figura 17 - Agitador mecânico de bancada - FISATOM modelo 715	53
Figura 18 – Esquema representativo - Processo físico-químico.....	55
Figura 19 – Esquema representativo - Sistema de filtração com filtro bag.....	55
Figura 20 – Esquema representativo - Sistema de filtração com filtro de carvão ativado	56
Figura 21 – Esquema representativo - Processo físico químico + filtro bag.....	56
Figura 22 – Esquema representativo - Processo físico-químico + filtro de carvão ativado	57
Figura 23 – Esquema representativo - processo físico químico + filtro bag + filtro de carvão ativado	57
Figura 24 - Fluxo atual do processo de abastecimento de água no sistema de pintura.	62
Figura 25 - Fluxo proposto com o sistema de reuso do efluente.....	62
Figura 26 - Fluxo proposto com o sistema de reuso composto por FQ / FB / FCA.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características de sedimentação de algumas partículas	31
Tabela 2 - Parâmetros dos tanques de desengraxa	47
Tabela 3 - Parâmetros dos tanques de enxágue	48
Tabela 4 - Parâmetros dos tanques do conversor nanocerâmico	49
Tabela 5 - Parâmetros dos tanques de enxágue pós conversor nanocerâmico	50
Tabela 6 – Produtos utilizados durante o processo físico-químico	53
Tabela 7 - Etapas processo físico-químico com amostras coletadas do tanque quatro	54
Tabela 8 - Etapas do processo físico-químico com amostras tanque quatro e oito	54
Tabela 9 - Dados técnicos do filtro bolsa 1µm.....	55
Tabela 10 - Valores encontrados dos parâmetros após a caracterização do efluente do tanque 4 e tanque 8.....	61
Tabela 11 – Parâmetros de referência do efluente para uso no deionizador	63
Tabela 12 – Caracterização do efluente dos tanques 4 (TQ 04), 8 (TQ08) e mistura dos dois (TQ 04-08).....	63
Tabela 13 - Propriedades do efluente antes e após o tratamento físico-químico	65
Tabela 14 - Propriedades do efluente antes e após a filtração com filtro bag 1µm	66
Tabela 15 - Propriedades do efluente antes e após a filtração com carvão ativado	66
Tabela 16 - Efluente antes e após o processo físico-químico + filtro bag.....	67
Tabela 17 - Efluente antes e após processo físico-químico + filtro de carvão ativado	67
Tabela 18 - Efluente antes e após físico-químico + filtro bag + filtro carvão ativado	68
Tabela 19 – Caracterização do efluente do tanque 4 e da mistura dos tanques 4-8	68
Tabela 19 (continuação)	69
Tabela 20 –Condutividade.....	70
Tabela 21 – Dureza Total	71
Tabela 22 – pH	72
Tabela 23 – Sólidos Totais	72
Tabela 24 –Surfactantes.....	73
Tabela 25 – Óleos e Graxas.....	74
Tabela 26 – Bactérias	74
Tabela 27 – Parâmetros tanque quatro após tratamento	75
Tabela 28 - Valores médios praticados nos meses de Jan/15-Mai/15	76
Tabela 29 - Consumo de água do tanque 4 e tanque 8 nos meses de Jan/15-Mai/15.....	77

Tabela 30 – Média mensal do custo com a água e tratamento (Jan/15-Mai/15)	77
Tabela 31 – Estimativa de custo mensal do tratamento físico-químico	78
Tabela 32 – Investimento necessário para a implementação do sistema de reuso	78
Tabela 33 – Planilha de avaliação do retorno financeiro (Tanque 4 e 8)	79
Tabela 34 – Planilha de avaliação do retorno financeiro (Tanque 4)	79
Tabela 35 – Planilha de avaliação do retorno financeiro (Tanque 8)	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Métodos de tratamento utilizados para despejos industriais	22
Quadro 2 – Parâmetros físicos de qualidade da água	23
Quadro 3 – Parâmetros químicos de qualidade da água	24
Quadro 4 – Parâmetros biológicos de qualidade da água	25
Quadro 5 - Principais poluentes das águas residuais	25
Quadro 6 - Classes dos possíveis contaminantes presentes nos efluentes	26
Quadro 7 - Processos usuais de precipitação química	30

1 INTRODUÇÃO

As empresas não estão somente preocupadas em atender as necessidades dos seus clientes fornecendo soluções de boa qualidade e baixo custo, mas também em produzir e fornecer soluções inovadoras com alto desempenho e com o menor impacto ambiental. Estas diretrizes estão se tornando uma necessidade cada vez mais constante em virtude da escassez dos recursos naturais.

Segundo Rodrigues (2005), o reuso de água surge atuando em dois aspectos: Como instrumento para redução de consumo de água (controle de demanda) e recurso hídrico complementar.

A falta de conhecimento sobre o assunto ou até mesmo a negligência, podem trazer algumas consequências como: altos riscos de contaminação do meio ambiente (caso a água não tenha sido tratada corretamente); práticas inadequadas (carência de informação dos usuários); riscos à saúde pública e dificuldade de autorização dos órgãos ambientais.

Em função dessas características, o reuso vem sendo difundido de forma crescente no Brasil, impulsionado pelos reflexos financeiros associados aos instrumentos trazidos pela Lei 9.433 de 1997, que implanta a Política Nacional de Recursos Hídricos e outorga a cobrança pelo uso dos recursos hídricos (RODRIGUES, 2005). Desta forma, o reuso tem se mostrado uma importante ferramenta para minimizar os problemas de reduzida disponibilidade hídrica, além de oferecer vantagens econômicas.

Os investimentos voltados à redução do impacto ambiental, muitas vezes não são mensurados ou previstos nos planos de investimento das empresas. Um dos motivos é o impacto direto no retorno do capital investido das companhias, pois os benefícios nem sempre são claros ou mensuráveis. Porém ao longo do tempo estes investimentos podem trazer grandes benefícios não só financeiros, mas também reconhecimentos da sociedade por se tratar de empresas que se preocupam com o meio ambiente, produzindo produtos de alta qualidade e com os menores impactos ambientais.

As tecnologias avançadas atualmente disponíveis para se tentar alcançar uma melhor qualidade nos parâmetros para água de reuso podem ser físicas, químicas e biológicas. A escolha de uma ou a combinação entre duas ou mais técnicas, sempre dependerá do potencial de cada técnica, dos mecanismos envolvidos na redução do contaminante de interesse (MIERZWA, 2005) e da qualidade da água de reuso que se necessita.

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 430 de 2011 que complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357 de 2005, estabelece os limites para o lançamento desses componentes. Em virtude de inúmeros anos de descaso e de desrespeito a tais limites e normas, a população assiste e sente os danos causados pela poluição. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis. Desta forma o reuso do efluente gerado no próprio sistema, reduzirá o custo deste processo produtivo e evitará assim um possível impacto ao meio ambiente.

Outro fator não menos importante é o fato que a região onde está instalado este sistema de pré-tratamento e pintura por eletrodeposição, fica situada em um polo metal mecânico e o efluente gerado, deverá atender a qualidade mínima estabelecida para ser lançando de volta para os nossos recursos hídricos. Diante deste cenário, o consumo de água representa para as companhias um fator de extrema importância não só devido ao seu custo financeiro, mas também pela preocupação quanto a sua imagem perante a sociedade por se tratar de um recurso natural cada vez mais escasso na natureza.

Desta forma a escassez da água torna premente a busca de alternativas para redução de sua utilização. As indústrias, que hoje são as grandes consumidoras, podem aplicar técnicas de economia de água evitando o desperdício e devem realizar estudos para verificar a possibilidade de praticar o reuso das águas residuárias diretamente, ou após tratamento e a reciclagem da água no processo industrial. As indústrias devem também, sempre que possível, alterar seus processos visando a redução do consumo, ou seja, identificar, modificar ou até eliminar a própria fonte poluidora.

A eficiência do sistema de eletrodeposição está diretamente relacionada com a limpeza adequada das superfícies das peças que antecede a este processo, que é composto de uma sequência de banhos químicos (alcalinos para remoção de óleos e graxas), seguido de lavagens com água. Estes produtos acondicionados aos banhos, essenciais para a eficiência deste processo, e associados com os resíduos de óleos, graxas e outros contaminantes provenientes das peças processadas no sistema, fazem parte da composição final do efluente gerado, devendo este ser tratado antes de retornar para os corpos receptores.

O propósito deste trabalho é desenvolver um sistema de recuperação do efluente gerado em um processo de pintura industrial, objetivando a sua reutilização parcial ou total, reduzindo o custo empregado neste processo e o mais importante, tornar a companhia

conhecida como uma empresa que se preocupa com a preservação dos nossos recursos naturais. Os objetivos específicos são: avaliar os processos e seus principais contaminantes utilizados no tratamento de efluentes de banhos de pintura, para embasar a escolha do processo mais adequado para o efluente em estudo, reduzir o consumo de água de rede utilizado no processo de pintura e conseqüentemente a quantidade de efluente enviado para tratamento na ETE e analisar a viabilidade econômica e o retorno financeiro do investimento aplicado na aquisição do sistema de recuperação do efluente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão bibliográfica apresenta inicialmente uma breve explanação sobre a importância da água na vida humana tanto para a sobrevivência como também na sua utilização em processos industriais, a caracterização do efluente gerado pelas indústrias do setor metal-mecânico e a classificação e diretrizes para o reuso da água em processos industriais bem como as técnicas hoje utilizadas para a recuperação de efluentes industriais. Por fim será abordado o processo de tratamento superficial utilizando o conversor nanocerâmico e pintura por eletrodeposição.

2.1 Poluição das águas

A água é um bem essencial na natureza, sendo necessária a todos os processos básicos da vida. Apesar de ser um recurso natural encontrado em grandes quantidades, o uso indiscriminado da água e a ação poluidora do homem estão provocando o seu esgotamento, havendo assim a necessidade de sua preservação e reuso (MANCUSO; SANTOS, 2003).

A grande importância deste recurso natural foi apresentada de forma objetiva e clara através da Carta Europeia da Água, promulgada pelo Parlamento da Europa em 1988, que destaca:

- a) A água é indispensável ao homem como bebida, para sua higiene, como via de transportes, matéria-prima;
- b) As disponibilidades de água doce não são ilimitadas. Desta forma é preciso preservá-las controlá-las e, se possível acrescê-las;
- c) Alterar a qualidade da água significa prejudicar a vida do homem e dos seres vivos que dependem dela;
- d) Após a utilização da água, a mesma é restituída ao seu ambiente natural, a qual não deve comprometer o seu posterior uso, tanto públicos como privados;
- e) Usar a água de maneira imprudente significa abusar do patrimônio natural;
- f) A água não tem fronteira.

De acordo com o artigo 1º, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) esta baseada nos seguintes fundamentos:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

A Lei 9433/97 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SNGRH, destaca as funções de efetuar a cobrança pelo uso deste recurso e de gerenciar o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos em sua área de atuação, prevendo a cobrança pelo uso e devolução de efluente. O intuito desta cobrança é garantir a autonomia financeira das entidades gestoras e a sustentabilidade das operações, além de promover o uso racional desse recurso. A cobrança será aplicada segundo a orientação dos planos de bacia e obedecerá ao Princípio Usuário-Poluidor/Pagador. Assim a gestão dos recursos hídricos deixa de ser responsabilidade de um pequeno conjunto de órgãos públicos e passa a ser atribuída à União, aos Estados, aos municípios, aos usuários e à sociedade civil. A unidade de planejamento e gestão da água passa a ser a bacia hidrográfica, e o fórum de decisão no âmbito de cada bacia é o Comitê, que é constituído por representantes dos usuários de recursos hídricos, da sociedade civil organizada e dos três níveis de governo (Brasil, 1997).

Segundo a Resolução CONSEMA nº 129/2006, todo o efluente gerado nas indústrias e que é lançado nos corpos receptores, não devem ultrapassar os limites máximos de toxicidade nela definidos para diferentes níveis tróficos. Isso significa que as avaliações de uma potencial toxicidade contida nos efluentes, devem não somente serem realizadas com organismos diferentes, mas também que representam as diferentes funções dentro de um ambiente natural. O artigo 9º desta Resolução estabelece os valores máximos de toxicidade que são permitidos para lançamento de efluentes em corpos hídricos superficiais, bem como os prazos específicos para o atendimento dos padrões e emissão de acordo com a vazão máxima de lançamento de efluente líquido da empresa, que consta na licença ambiental. Desta forma o reuso do efluente proporcionará uma condição favorável à companhia perante os órgãos ambientais.

A WHO (Organização Mundial da Saúde) apresentou a seguinte definição de poluição para as águas. Deve-se Considerar que uma água esta poluída, quando a sua composição ou o seu estado estão de tal modo alterados que já não reúnem as condições necessárias (propriedades físicas, químicas e biológicas) para as utilizações para as quais estava destinada no seu estado natural.

Desta forma, torna-se extremamente necessário o tratamento de esgotos e despejos industriais antes de serem lançados nos rios e corpos receptores, assim como o tratamento da água para o consumo humano. Na indústria de uma forma geral, a água apresenta um grande número de aplicações, podendo ser utilizada como matéria-prima, solvente de processo, fluido de refrigeração, agente de limpeza , fonte de vapor, etc. Dentre os contaminantes que podem estar presentes nas águas descartadas, podemos citar (VITERBO JUNIOR, 1998)

- a) **Matérias orgânicas solúveis** - causam a diminuição do oxigênio contido nos rios além de produzir gostos ou odores indesejados;
- b) **Substâncias tóxicas e íons de metal pesado (cianetos, cobre, zinco, mercúrio etc.)** - apresentam problemas de toxicidade através da cadeia alimentar;
- c) **Cor e turbidez** - indesejáveis esteticamente podendo causar manchas em tecidos;
- d) **Elementos nutritivos (nitrogênio, fósforo e potássio)** - aumentam o processo de envelhecimento de lagos e pântanos;
- e) **Tensoativos e biodegradáveis** - formam espumas nos rios e não são removidos pelos tratamentos convencionais;
- f) **Ácidos e álcalis** - interferem na decomposição biológica e na vida aquática;
- g) **Temperatura** - poluição térmica, conduz ao esgotamento do oxigênio dissolvido e modifica o ecossistema.

2.2 Métodos de tratamento de efluentes

Existem diversos tipos de tratamento para os despejos que necessitam ser tratados antes de serem lançados nos rios para não causar problemas ao meio ambiente. Entre eles podemos citar a adsorção em carvão ativado, coagulação, floculação e sedimentação, oxidação com ozônio, dióxido de cloro e peróxido de hidrogênio, separação por membranas (microfiltração, ultrafiltração, nano filtração e osmose reversa), eletrólise reversa, troca iônica, destilação e precipitação química (MANCUSO; SANTOS, 2003; MIERZWA; HESPANHOL, 2005; METCALF; EDDY, 2003).

Os poluentes industriais mais preocupantes são os orgânicos (em especial os sintéticos) e os metais pesados (CETESB, 1993).

Entre as diversas substâncias encontradas na água, algumas possuem seus teores limitados por padrões de qualidade, administrativos e operacionais.

Os cuidados devem ser tomados por necessidade de ordem estética ou por inconveniência na utilização da água, tais como: salinidade, corrosividade, dureza excessiva ou predisposição ao desenvolvimento de organismos microbianos indesejáveis.

O quadro 1 mostra os métodos de tratamento mais empregados para os despejos industriais.

Quadro 1 – Métodos de tratamento utilizados para despejos industriais

Métodos de tratamento			
Método	Aplicação	Processo	Observação
Métodos Físicos	Remoção de sólidos flutuantes Remoção de sólidos em suspensão Remoção de areias Remoção de óleos e graxas	<ul style="list-style-type: none"> • Grades • Peneiras • Caixa de areia • Tanques de remoção de óleos e graxas • Decantadores • Filtros de areia etc. 	<p>- Algumas das fases de tratamento pode-se aproveitar para adotar a recuperação de material retido.</p> <p>- A flotação é empregada em alguns despejos industriais como por exemplo na recuperação de óleos emulsionáveis.</p>
Métodos Químicos e Físico-Químicos	Remoção de material coloidal Cor e turbidez Odor Ácidos Metais pesados e óleos	Utilização de agentes químicos.	<p>- Os agentes químicos também são utilizados para neutralizar ácidos e álcalis.</p> <p>- Se o despejo industrial contiver substâncias ácidas e alcalinas, deve-se considerar a mistura destes despejos com vistas à neutralização.</p>
Métodos Biológicos	A aplicação se dá em função de cada projeto	Diversos tipos de processos biológicos, processo aeróbio e/ou anaeróbio.	- Estes processos dependem da ação de micro-organismos presentes no efluente buscando transformar componentes complexos em componentes simples como sais minerais, gás carbônico e outros.

Fonte: Adaptado de Braile; Cavalcanti, 1993

2.2.1 Padrões de lançamento de efluentes

De acordo com a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), a definição de poluição é “a degradação da qualidade ambiental resultante das atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e bem estar da população, criem condições adversas às atividades sociais e econômicas, afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente, lancem matérias ou energias em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL, 1981).

Enquanto a poluição referente às emissões de esgotos domésticos está normalmente associada aos microrganismos e poluentes orgânicos, a poluição proveniente de efluentes industriais está ligada às matérias-primas e aos insumos utilizados no processo produtivo. Muitas vezes é possível encontrar metais pesados, detergentes, óleos e outros poluentes semelhantes em corpos receptores próximos a indústrias que lançam seus efluentes sem nenhum tipo de tratamento ou em condições inadequadas devido a tratamentos com baixa eficiência. Para avaliar o nível de poluição dos recursos hídricos são utilizados os indicadores de qualidade da água representados por parâmetros que traduzem as principais características químicas, físicas e biológicas das águas (SPERLING, 1993).

Nos quadros 2, 3 e 4 são apresentados os parâmetros básicos indicadores de qualidade da água.

Quadro 2 – Parâmetros físicos de qualidade da água

PARÂMETROS FÍSICOS	CONCEITO
Sólidos	Sólidos totais: Sólidos suspensos + sólidos dissolvidos.
	Sólidos suspensos: fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que não são filtráveis.
	Sólidos dissolvidos: fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que são filtráveis.
	Sólidos sedimentáveis: fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que sedimenta em 1 hora no cone Imhoff.
	Sólidos suspensos voláteis: componente orgânico do sólido em suspensão.
Cor	Responsável pela coloração na água.
Turbidez	Representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água.
Sabor e odor	Interação entre o gosto (salgado, doce, azedo, amargo) e o odor (sensação olfativa).
Temperatura	Medição da intensidade de calor.

Fonte: Adaptado de Sperling, 1996

Quadro 3 – Parâmetros químicos de qualidade da água

PARÂMETROS QUÍMICOS	CONCEITO
pH	Representa a concentração de íons hidrogênio H^+ , dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água.
Alcalinidade	Quantidade de íons na água que reagirão para neutralizar os íons de hidrogênio. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos, carbonatos e os hidróxidos.
Dureza	Concentração de cátions multimetálicos em solução. Os cátions mais frequentemente associados à dureza são os cátions divalentes Ca^{+2} e Mg^{+2} .
Cloretos	São advindos (Cl) da dissolução de sais (ex: cloreto de sódio).
Nitrogênio	No meio aquático o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas: nitrogênio molecular (N_2), escapando para a atmosfera, nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão), amônia, nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-).
Fósforo	Na água apresenta-se na forma de ortofosfato (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$, H_3PO_4), polifosfato (moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo) e fósforo orgânico.
Oxigênio dissolvido	É essencial para os organismos aeróbios (vivem na presença de oxigênio). Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios.
Matéria orgânica	Mistura heterogênea de diversos compostos orgânicos. Principais componentes: proteínas, carboidratos e lipídios. Normalmente utilizam-se os parâmetros de DBO que é a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica e o DQO que é o consumo de oxigênio durante a oxidação química da matéria orgânica para quantificação da matéria orgânica.
Micropoluentes inorgânicos	Uma grande parte dos micropoluentes inorgânicos é tóxica, em especial os metais pesados.
Micropoluentes orgânicos	Alguns materiais orgânicos são resistentes à degradação biológica. Entre eles destacam-se os defensivos agrícolas, alguns tipos de detergentes (ABS) e um grande número de produtos químicos.

Fonte: Adaptado de Sperling, 1996

Quadro 4 – Parâmetros biológicos de qualidade da água

PARÂMETROS BIOLÓGICOS	CONCEITO
Coliformes	Indicadores de contaminação fecal apontam se uma água foi contaminada por fezes e se apresenta uma potencialidade para transmitir doenças.
Algas	Importantes na produção de oxigênio nos corpos d'água e em alguns processos de tratamento de esgoto.
Bactérias	São as principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. Algumas bactérias são patogênicas.
Fungos	Também de grande importância para a decomposição da matéria orgânica.
Protozoários	São essenciais no tratamento biológico para a manutenção do equilíbrio entre os diversos grupos.
Vírus	Causam doenças e são de difícil remoção no tratamento da água ou esgoto.

Fonte: Adaptado de Sperling, 1996

O quadro 5 mostra a presença de certos contaminantes que já é uma constatação indicativa do grau de poluição do corpo receptor.

Quadro 5 - Principais poluentes das águas residuais

POLUENTES	PARÂMETRO DE CARACTERIZAÇÃO	TIPO DE EFLUENTES	CONSEQÜÊNCIAS
Sólidos em suspensão	Sólidos em suspensão totais	- Domésticos	- Problemas estéticos
		- Industriais	- Depósitos de lodo - Adsorção de poluentes - Proteção de patogênicos
Sólidos flutuantes	Óleos e graxas	- Domésticos - Industriais	- Problemas estéticos
Matéria orgânica biodegradável	DBO	- Domésticos	- Consumo de oxigênio - Mortandade de peixes
Patogênicos	Coliformes	- Domésticos	- Doenças de veiculação hídrica
Nutrientes	Nitrogênio	- Domésticos	- Crescimento excessivo de algas eutrofização)
	Fósforo	- Industriais	- Toxicidade aos peixes - Doenças em recém-nascidos (nitratos)
Compostos não-biodegradáveis	Pesticidas	- Industriais	- Toxicidade
	Detergentes	- Agrícolas	- Espumas
	Outros		- Redução da transferência de oxigênio - Não biodegradabilidade - Maus odores
Metais pesados	arsênio;cádmio, cromo, mercúrio, zinco etc.)	- Industriais	- Toxicidade - Inibição do tratamento biológico dos esgotos - Problemas de disposição de lodo na - Contaminação da água subterrânea
Sólidos inorgânicos dissolvidos	Sólidos dissolvidos totais Condutividade elétrica	- Reutilizados	- Salinidade excessiva – prejuízo às plantações - Toxicidade a plantas (alguns íons) - Problemas de permeabilidade do solo (sódio)

Fonte: Adaptado de Castro, 1995

Segundo Mierzwa e Hespanhol (2005), a escolha da técnica mais adequada para o tratamento de um efluente depende do tipo das características dos contaminantes que deverão ser eliminados ou reduzidos. Estes contaminantes são divididos em 6 classes conforme mostrado no quadro 6.

Quadro 6 - Classes dos possíveis contaminantes presentes nos efluentes

CLASSE	CONTAMINANTES	EXEMPLOS
1	Sais inorgânicos dissolvidos	- Íons metálicos e não metálicos (Cl^- , F^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{2+} , Cr^{6+} , Na^+ , Mg^{2+} , CN^- , etc.)
2	Gases dissolvidos	- NH_3 , H_2S
3	Compostos orgânicos dissolvidos	- Solventes, pesticidas, herbicidas, tensoativos e açúcares, entre outros
4	Partículas em suspensão	- Areia, sílica coloidal, sais insolúveis, sólidos suspensos diversos
5	Micro-organismos	- Bactérias, vírus, protozoários, fungos, leveduras
6	Óleos e graxas	

Fonte: Parekh, 1988

De um modo geral os efluentes das indústrias são lançados no corpo receptor mais próximo após o tratamento. Para verificar as características destes efluentes e consequentemente sua influência sobre o corpo receptor é comum valer-se da coleta e exame de amostras junto ao ponto de lançamento visando determinar se os parâmetros avaliados estão dentro dos padrões estipulados pela legislação vigente. Em âmbito nacional, os padrões de lançamento dos efluentes são estipulados pela Resolução CONAMA nº 430 (2011). Em conjunto com esta Resolução deve ser igualmente considerada no estado do Rio Grande do Sul os padrões de emissão dos efluentes gerados nos empreendimentos de acordo com a Resolução CONSEMA 128/2006.

Também devem ser cumpridos os requisitos da Resolução CONSEMA nº 1 (1998) que fixa as exigências e condições do Sistema de Auto Monitoramento de Efluentes Líquidos das Atividades Poluidoras Industriais (SISAUTO) localizadas no estado do Rio Grande do Sul, pelo qual são estabelecidas as condições da coleta, medição e análise dos efluentes líquidos a serem realizadas pela própria empresa geradora. Com base nessa legislação e na Resolução CONSEMA 128/2006 que o órgão ambiental do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM) determina os padrões de emissão dos efluentes líquidos presentes na licença de operação dos empreendimentos licenciados, bem como periodicidade das coletas, medição, análises dos efluentes e outros itens relevantes sobre o tema.

2.3 Técnicas de tratamento de efluentes

A opção por uma determinada técnica de tratamento ou combinação entre uma ou mais técnicas é que define um sistema de tratamento e deve basear-se no conhecimento do potencial de cada técnica e os mecanismos envolvidos na redução do contaminante em questão. Para embasar esta escolha a seguir são listados algumas das técnicas utilizadas para o tratamento de efluentes industriais (KIANG; METRY, 1982; MARTIN; JOHNSON, 1987; NALCO, 1988; IDAHO, 1992; TCHOBANOGLIOUS, 1996):

- a) Neutralização;
- b) Filtração;
- c) Precipitação química;
- d) Coagulação/floculação e sedimentação ou flotação;
- e) Adsorção em carvão ativado;

Embora esta relação não contemple todas as técnicas disponíveis, ela serve como um roteiro para atender uma variação muito grande das necessidades de tratamento de efluentes industriais.

2.3.1 Neutralização

A neutralização é utilizada para ajustar o pH dos efluentes num valor aceitável, geralmente entre 5 a 9, conforme padrões estabelecidos em norma (CETESB, 1992). Este processo é adotado para eliminar ou reduzir a reatividade e o aspecto corrosivo do efluente utilizando ácido ou álcali de acordo com a necessidade. O processo pode ser contínuo ou intermitente, dependendo da quantidade e forma de geração dos efluentes. As substâncias utilizadas são:

- a) Substâncias ácidas (ácido sulfúrico ou ácido clorídrico) para a diminuição do pH;
- b) Substâncias alcalinas (hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio ou carbonato de sódio) para aumentar o pH.

O processo de neutralização demanda equipamentos bastante simples como bombas, tanques, misturadores e medidores de pH para o controle do processo. O custo de implantação e operação não é alto, porém esta técnica não é adequada para a remoção de uma série de contaminantes, pois pode criar reações e gerara subprodutos extremamente tóxicos. O

processo de neutralização pode ser utilizado em operações intermediárias dentro de outro processo de tratamento (IDAHO, 1992).

2.3.2 Filtração

A filtração é um processo onde as substâncias insolúveis são separadas e retidas quando a corrente líquida passa por um meio ou barreira permeável chamado de meio filtrante. O processo de separação se dá através da retenção das partículas na malha do filtro.

Em razão do acúmulo de material sólido na superfície do elemento filtrante, a resistência à passagem do fluido aumenta elevando-se a perda de carga do sistema e diminuindo o fluxo do líquido. Devido a esta razão os sistemas de filtração são desenvolvidos para trabalhar a uma certa perda de carga com valores predefinidos, que estabelecem o momento em que o filtro deverá ser trocado (METCALF; EDDY, 2003).

Atualmente existem vários tipos de sistema de filtração, com meios filtrantes descartáveis ou reutilizáveis, destacando-se os seguintes (MIERZWA, 2005):

- a) Filtro tipo cartucho;
- b) Filtros com meio granular;
- c) Filtros a vácuo;
- d) Filtros prensas;
- e) Prensas desaguadoras.

A escolha do tipo de sistema deverá ser avaliado considerando a concentração de sólidos presentes, o diâmetro da menor partícula que se deseja remover e a quantidade de efluente a ser filtrado.

Os filtros tipo cartucho são indicados para efluentes que contêm baixa concentração de sólidos (menos que 0,01% em peso), e para vazões não muito elevadas. Já os filtros com meio granular são indicados para baixa concentração de sólidos e vazões maiores (MONTGOMERY, 1985; IDAHO, 1992). Os demais sistemas são indicados para efluentes que possuem alta concentração de sólidos.

É importante frisar que a técnica de filtração é uma operação complementar das técnicas de floculação e/ou sedimentação. É bastante econômica, consome pouca energia, fácil de operar e bem desenvolvida tecnicamente.

2.3.3 Precipitação química

A precipitação química consiste em mudar a solubilidade e tornar insolúveis algumas ou todas as substâncias dissolvidas numa corrente líquida, alterando-se o equilíbrio químico (KIANG; METRY, 1982; IDAHO, 1992), com bases nos seguintes procedimentos ou a combinação entre eles:

- a) Adição de uma substância química que reage quimicamente com a substância em solução, formando um composto insolúvel;
- b) Adição de uma substância que altera o equilíbrio de solubilidade, de forma que não favorece mais a permanência da substância em solução;
- c) Adição de compostos que reagem entre si formando precipitado, que irá arrastar ou adsorver a substância a ser removida (coprecipitação);
- d) Alteração da temperatura de uma solução saturada ou próxima à saturação, para diminuir a solubilidade da substância presente.

As reações de precipitação mais comuns removem espécies iônicas inorgânicas, principalmente íons metálicos, de vários meios aquosos. Contudo, em alguns casos, podem-se retirar alguns compostos orgânicos (MIERZWA, 2005).

A presença de determinados compostos pode prejudicar o processo de precipitação, pois podem reagir com as substâncias a serem removidas e formar complexos altamente solúveis. A solução será eliminar o composto complexante antes do processo de precipitação química (IDAHO, 1992).

Os fosfatos participam de forma direta do precipitado químico obtido, como complexos hidroximetalfosfatos. Por exemplo, na adição de íons férricos e ferrosos podemos ter a formação de $\text{Fe}(\text{PO}_4)_x(\text{OH})_{3-3x}(\text{H}_2\text{O})$ (BRATBY, 2006).

A precipitação química do fósforo por exemplo é realizada utilizando-se sais de alumínio. Estes sais formam produtos complexos insolúveis contendo fósforo, os quais precipitam (BRATBY, 2006).

Os sólidos formados devem ser separados da massa líquida utilizando um processo complementar de coagulação, floculação ou sedimentação ou por filtração. Em alguns casos, após o processo de precipitação, deverá ser utilizado um adicional de neutralização para ajustar o pH aos valores aceitáveis (entre 5 a 9). O quadro 7 exemplifica os processos de precipitação química mais utilizados.

Quadro 7 - Processos usuais de precipitação química

COMPOSTO QUÍMICO UTILIZADO	COMPOSTOS REMOVIDOS	pH	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Hidróxido de cálcio (cal)	As, Cd, Cr(III), Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn. Eficiência de remoção: 99% => Cr, Cu, Pb, Fe 98% => Zn 97% => Ni	9,4	- Comumente utilizado - Efetivo - Econômico	- O lodo é desidratado facilmente - Gera um grande volume de lodo - Interfere com agentes complexantes quando da estabilização da lama de hidróxidos - Dosagem excessiva reduz a qualidade - Não adequada para a recuperação do metal
Hidróxido de sódio (soda cáustica)	As, Cd, Cr(III), Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn e Ag Eficiência de remoção: 99% => Cd, Cr, Ni, Zn 98% => Cu 76% => Ag	9 a 11	- Gera um volume menor de lodo - Eficiência de neutralização - Recuperação dos metais	- Mais caro que o óxido de cálcio - Requer equipamentos de grande porte para a separação dos sólidos porque o material precipitado é muito fino
Óxido ou hidróxido de magnésio	As, Cd, Cr(III), Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn	8 a 9	- Efetivo para o tratamento de efluentes com baixa concentração de metais ($\leq 50\text{mg/l}$) - Pequeno volume de lodo - Fácil desidratação do lodo - Mais eficiente	- Reagente de custo bastante elevado - Requer uma quantidade 3 a 4 vezes superior à estequiométrica, para elevar o pH à valores entre 8 e 9
Sulfetos solúveis (sulfeto de sódio)	As, Cd, Cr(III), Fe, Mn, Pb e Zn Eficiência de remoção: 82% => Pb 88% => Cr 93% => Zn 95% => Cd 98% => Cu e Ni	9	- A solubilidade dos sulfetos metálicos é menor que a dos hidróxidos - Cromados não requerem a etapa de redução - Não é afetado pela maioria dos agentes quelantes - Recuperação dos metais	- Pode gerar gás sulfídrico, em condições ácidas - o efluente tratado pode ter sulfeto em excesso após o tratamento - A informação rápida deprecipitado pode dificultar a precipitação

Fonte: Idaho, 1992

2.3.4 Coagulação, floculação e sedimentação ou flotação

Utiliza-se o processo de coagulação e floculação para separar sólidos em suspensão sempre que a taxa de subsidência, separação espontânea de um sólido num líquido, for muito baixa para promover clarificação efetiva da água (NALCO, 1988). É o caso das partículas finas em suspensão em estado coloidal ou em solução que permanecem em suspensão devido a terem cargas elétricas em sua superfície.

O processo de coagulação tem o principal objetivo neutralizar as cargas elétricas das partículas em suspensão, por meio da adição de compostos químicos com cargas elétricas positivas. Os coagulantes mais utilizados são: sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), cloreto férrico (FeCl_3), sulfato ferroso (FeSO_4), sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), cloreto de polialumínio ($\text{Al}(\text{OH})_x(\text{Cl})_y$) e polímeros catiônicos. O processo de floculação após a coagulação promove o contato entre as partículas desestabilizadas, de modo a possibilitar uma agregação em forma de flocos maiores e mais pesados, que posteriormente são removidos pelo processo de sedimentação (LIBÂNIO, 2005).

Segundo Nunes (2004), o processo de coagulação é relativamente rápido, sendo a etapa de desestabilização da dispersão coloidal, consumida em segundos durante a mistura do coagulante. Esta mistura é feita em tanques com agitação rápida para promover dispersão do coagulante com energia suficiente para a dispersão total das partículas (NUNES, 2004).

A dosagem e o tipo dos coagulantes dependem das características do efluente e a natureza dos sólidos em suspensão. A seleção do coagulante e do auxiliar de floculação que será utilizado no tratamento de água é geralmente baseado em questões econômicas, juntamente com confiabilidade, segurança e modo de armazenamento do material (DE ASSIS, 2006).

Segundo dados disponíveis na literatura, as partículas coloidais podem medir desde 10^{-3} μm até 10 μm . Suas características de sedimentação são expostas na tabela 1.

Tabela 1 - Características de sedimentação de algumas partículas

TIPO	DIMENSÃO		ÁREA (m^2)	TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO PARA O PERCURSO DE 1m
	mm	μm		
Silte	0,01	10	0,314	108 minutos
Bactérias	0,001	1	3,14	180 horas
Material coloidal	0,0001	0,1	31,4	755 dias

Fonte: Nalco, 1988

Na floculação, etapa mais lenta, prevalecem os processos físicos como colisões e crescimento dos flocos. O gradiente de velocidade da mistura é entre 20s^{-1} a 80s^{-1} e o tempo ideal de agitação para formar os flocos com densidade suficientes para sedimentar é em torno de 30 minutos.

Segundo NUNES (2004), para atingir bons flocos deve-se observar a dosagem adequada do coagulante. Pequenas doses podem não atingir o ponto isoelétrico (carga elétrica líquida zero) e dosagens muito altas podem reverter o sinal das cargas restabilizando-as.

A floculação ocorre após o processo de coagulação e tem a finalidade de aglomerar os sólidos suspensos e as partículas coloidais formadas na coagulação, formando partículas com dimensões maiores através da ação de floculantes. Este processo é bastante complexo sendo necessário fazer ensaios em laboratório para determinar a dosagem adequada, duração e intensidade da mistura de floculação.

Uma alternativa para os processos de sedimentação para separar os flocos formados pela coagulação e floculação, é a flotação. Este processo foi inicialmente desenvolvido para atender a indústria de mineração (KIANG; METRY, 1982). Porém ao passar do tempo o

processo de flotação foi também utilizado em outros campos que envolvem a separação de materiais sólidos de correntes líquidas, dentre eles os efluentes gerados nos processos de pintura por eletrodeposição.

O processo de flotação consiste em pressurizar uma fração clarificada do efluente e dissolver parte do oxigênio no líquido. Assim o efluente pressurizado é liberado no interior de um dispositivo (flotador) adequado para esta finalidade, formando bolhas de ar em razão da expansão do oxigênio que aderem as partículas e as fazem flutuar. Na superfície do dispositivo há um sistema que remove o material sólido flotado, e o líquido é escoado pela parte inferior do dispositivo. No mercado se encontram dispositivos que englobam os processos de coagulação, floculação, flotação e filtração num só equipamento. Estes equipamentos não são específicos e sim dimensionados de acordo com a combinação dos processos necessários para o tipo de efluente e a sua finalidade. Existem no mercado várias empresas que podem oferecer alternativas para o tratamento de efluentes, entre elas podemos citar a Scientech Brasil, Belfano, RGO, Tecitec, Daibase, Equipax e Tega Ambiental.

Mesmo após a passagem do líquido pelo decantador ou flotador, ainda existirá partículas em suspensão na água as quais o processo não removeu. Desta forma deve-se utilizar um processo complementar de filtração conforme descrito no item 2.3.2.

No trabalho de Oenning e Pawlowsky (2007), foram avaliadas algumas tecnologias para o reuso de água nas indústrias metal-mecânica. Os processos avaliados foram: carvão ativado, oxidação com oxônio, oxidação com dióxido de cloro, osmose inversa e coagulação/floculação.

O objetivo foi desenvolver um estudo para definir uma alternativa economicamente viável, para a redução do consumo de água e o descarte de efluente na indústria. O efluente foi caracterizado em termos de pH, turbidez; cor, DQO, DBO, CT, COT, Cl, ST, SST, SDT, coliformes totais e coliformes fecais. Os resultados das simulações em laboratório concluíram que:

- a) as tecnologias de adsorção com carvão ativado e filtração por osmose inversa, apresentaram os melhores resultados em termos de qualidade do efluente para o reuso; em termos financeiros o tratamento por adsorção em carvão ativado, ficou mais atrativo comparado com o processo de osmose inversa.
- b) a ozonização apresentou tratamento satisfatório somente quando aplicado no efluente já filtrado em processos anteriores. Este processo mostrou uma eficiência muito boa na

desinfecção dos coliformes totais e fecais e também na oxidação da cor. Já nos demais parâmetros se mostrou inviável.

- c) o dióxido de cloro mostrou a menor eficiência entre as tecnologias testadas inviabilizando a sua utilização para este caso.
- d) a coagulação/floculação apresentara resultados satisfatórios. Todos os parâmetros analisados para esta tecnologia, à exceção dos SDT, estavam aptos a atender as diretrizes de reuso determinadas.

2.3.5 Adsorção em carvão ativado

Carvão ativado é qualquer forma de carvão amorfo que tenha sido tratado para produzir um material com alta capacidade de adsorção. É um material poroso e de origem natural, importante devido as suas propriedades de adsorção. O carvão mineral, madeira, casca de coco, resíduos de produção do papel e resíduos a base de petróleo são as principais matérias-primas do carvão ativado (KIANG; METRY, 1982).

Sua característica física mais significativa é a enorme área superficial interna (600 a 1200m²/g), que é desenvolvida durante o processo de produção. Esta área é produzida por oxidação, onde o material carbonáceo desenvolve uma porosidade que tem uma eficiência muito grande de retenção de substância a se adsorvida.

O processo de adsorção se dá quando uma molécula, geralmente do contaminante entre em contato com a superfície do carvão e permanece lá devido a ação das forças físicas e/ou químicas (SNOEYINK, 1990; IDAHO, 1992).

Tanto o carvão em pó como o granulado são eficientes. A diferença é a limitação da aplicação do carvão em pó, cabendo apenas em situações atípicas como problemas de odores ou a remoção de contaminantes não característicos da instalação. Já o carvão granulado é amplamente aplicado, principalmente em colunas estacionárias através das quais o efluente flui. Segundo Idaho, 1992, a superfície do carvão adsorve o contaminante por este apresentar uma baixa solubilidade no efluente e ter uma grande afinidade pelo carvão.

Teoricamente, não existem limites para a concentração do contaminante na corrente de alimentação, porém na prática a concentração máxima é na ordem de 10.000mg/l de carbono orgânico total (KIANG; METRY, 1982).

Outro fator importante é que a presença de sólidos, óleos e graxas no efluente prejudicam o desempenho do processo, seja pela grande perda de carga no leito do carvão,

que acaba funcionando como um filtro, seja pelo entupimento dos poros do carvão que consequentemente resulta na perda de capacidade de retenção dos contaminantes.

De acordo com Soares (1998) o carvão ativado granular é adequado para a remoção de cor e outros contaminantes de efluentes. Geralmente o carvão ativado granular adsorve corantes e outros compostos orgânicos nos efluentes e é mais efetivamente utilizado em colunas de adsorção.

2.4 Processo de pintura por eletrodeposição

2.4.1 Considerações gerais

Os fenômenos físico-químicos fundamentais que compõem a eletrodeposição são conhecidos desde o século passado, porém, o aprofundamento dos estudos ocorreram no início deste século.

Na década de 30, ocorreu a primeira utilização industrial, com a aplicação de latexes ou resinas hidrossolúveis. Na década de 50, surgiram os estudos para aplicação da eletroforese em automóveis, sendo que em 1962, a Ford USA utilizou pela primeira vez o processo de eletroforese para pintura de rodas. Em 1963 esta mesma empresa passou a pintar automóveis com este processo. Nesta mesma década, a eletroforese passou a ser empregada também na indústria geral. A tecnologia empregada era o sistema Anódico, sendo que na década de 60 iniciaram-se os estudos para o desenvolvimento do sistema Catódico. A EDP (Eletrodeposição) catódica passou a ser empregada na década de 70 nas indústrias em geral e em 1976 na pintura de automóveis pela PPG Industries.

Um processo de eletrodeposição, para que seja bem sucedido, depende na maioria das vezes de uma boa limpeza do substrato (metal). Este deve estar livre de impurezas como óleos, graxas, poeira, óxidos etc. De nada adianta ter um processo de eletrodeposição em ótimas condições, se o metal que será feito a eletrodeposição não está preparado adequadamente. Os problemas mais comuns encontrados em peças que não foi realizado uma limpeza eficiente, são: a falta de aderência; áreas que não há cobertura e diminuição na espessura do filme depositado prejudicando o poder de proteção das camadas eletro depositadas (CABRAL; MANNHEIMER, 1979).

Para que estes problemas sejam evitados, é necessário incluirmos um processo de limpeza de superfície eficiente em uma etapa anterior a eletrodeposição como desengraxe, decapagem ou remoção mecânica seguida de enxágues e aplicação de uma película de fosfato de zinco, ferro ou um conversor nano cerâmico.

Existem normas que tratam da preparação da superfície dos metais que serão submetidos a eletrodeposição. Diversas associações tratam o assunto como: SSPC (Steel Structures Painting Council), a ASTM (American Society for Testing and Materials), a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e a SIS (Swedish Standards Institute), entre outras.

2.4.2 Preparação da superfície

A qualidade obtida em peças pintadas pelo processo de eletrodeposição é resultante não só do processo de eletrodeposição, mas também da maneira como a superfície das peças são preparadas. Este tratamento superficial que antecede a pintura, é o fator fundamental para garantir uma boa aderência do filme e conseqüentemente a qualidade final das peças processadas.

Os desengraxantes mais frequentes utilizam solventes orgânicos e soluções alcalinas a quente contendo hidróxido de sódio, carbonato de sódio, fosfato de sódio e sabão (CABRAL; MANNHEIMER, 1979).

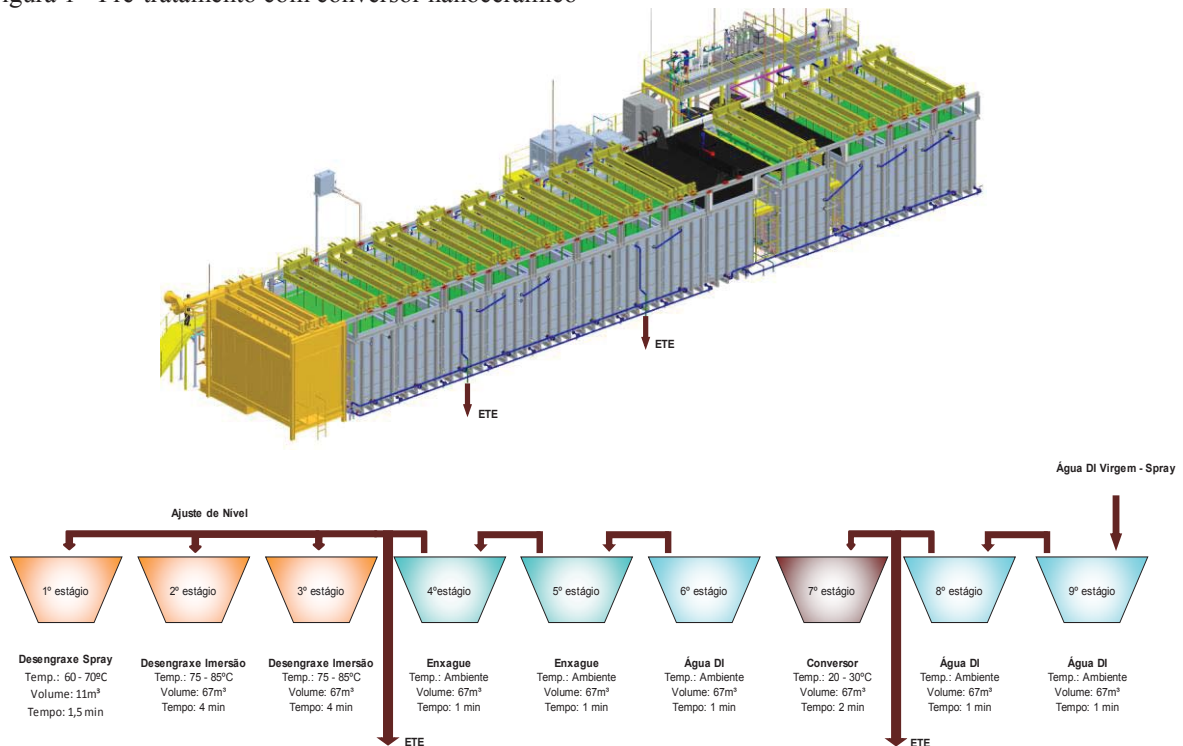
Segundo Gentil (1987), o processo de desengraxe tem como objetivo a remoção dos filmes e agregados de substâncias oleosas que se encontram nas superfícies metálicas provenientes de processos anteriores como laminação, conformação, dobra, entre outros. Para que o desengraxe seja eficiente, quatro variáveis são fundamentais:

- a) a concentração da solução;
- b) o tempo de exposição;
- c) a temperatura e
- d) a ação mecânica.

Para evitar a contaminação dos banhos subsequentes, é necessário se ter uma etapa de enxágue após a aplicação do desengraxe. A concentração do banho é medida através da análise de alcalinidade livre e da alcalinidade total, onde a primeira é determinada pela titulação com HCl 0,1N em presença de fenolftaleína, enquanto que a segunda utiliza-se o verde bromo-cresol como indicador.

A Figura 3 mostra uma seqüência das etapas necessárias em um sistema de pré-tratamento com nano tecnologia, composto de tanques de desengraxe por aspensão e imersão, tanques de enxágue e o tanque do conversor nanocerâmico.

Figura 1 - Pré-tratamento com conversor nanocerâmico



Fonte: AGCO do Brasil, 2015

Em todos os tratamentos de superfície metálica, a superfície a ser recoberta deve estar limpa, isto é, isenta de qualquer sujidade. Esta condição é fundamental para se conseguir revestimentos de boa aderência, uniformidade e aparência (PONTE, 2000).

Os métodos de limpeza adotados podem influenciar na aderência à superfície. É essencial remover qualquer tipo de contaminantes oleosos e produtos corrosivos para obter um bom acabamento (SANKARA; NARAYANAN, 1996a).

Ainda, uma etapa de pré-lavagem é indicado, como por exemplo um desengraxante aplicado por spray com pressão que varia de 1,5 a 3,0 bar que, além da ação química que age sobre a peça, também temos a ação mecânica facilitando assim a remoção grosseira de óleos e partículas que poderiam tornar difícil a etapa de limpeza (PETSCHER, 1996).

Dentre os tipos de impurezas mais comuns que devem ser removidas da superfície a ser recoberta estão (PPG, Informação Privada, 2015):

- camadas de óxido provenientes de corte a laser;
- óleos, graxas, tintas, resinas, parafinas;
- poeira, resíduos do processo de fabricação;
- sais e crostas de tratamento térmico.

A remoção destas impurezas é fator fundamental para que possa ser obtido um revestimento com boa aderência e qualidade. Estima-se que cerca de 85% das falhas em revestimentos de superfícies sejam consequências de problemas de pré-tratamento.

2.4.3 Conversor Nanocerâmico

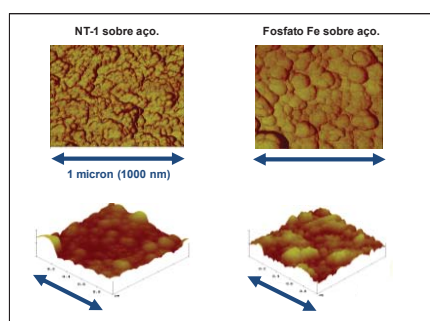
Baseados em uma combinação de nanoestrutura do tipo cerâmico óxido metálico, utilizando metais como o Zircônio e/ou Titânio, o revestimento nanocerâmico é produzido rapidamente e uma película depositada de óxido metálico é obtida após 20 a 30 segundos de exposição (DRONIOU, 2006).

A nanotecnologia é um conceito que consiste em aplicar ou incorporar às superfícies metálicas partículas com estrutura nanométrica que, após a sua deposição e cura, assumem uma característica nanocerâmica em virtude de a camada ser constituída de óxidos. Esta característica faz com que a camada aplicada seja mínima e uniforme promovendo assim as mesmas propriedades especiais após receber a camada de tinta, tais como: aderência, flexibilidade, ausência de efeito revelador de fundo e aumento da resistência à corrosão comparando com o fosfato de ferro e zinco convencional.

O conversor nanocerâmico utiliza uma composição a base de flúor e/ou zircônio e/ou titânio para produzir uma camada nanocerâmica sobre substratos metálicos como o ferro, aço, zinco e alumínio. É um processo isento de metais pesados e componentes orgânicos. As partículas da camada de conversão são chamadas de nanocerâmicas e devido a sua estrutura estas partículas possuem um tamanho na escala do nanômetro em torno de 20 nm de diâmetro. Essa camada pode ser visualizada através da AFM (Atomic Force Microscopy), conforme mostra a figura 2 apresentando uma característica fechada e amorfa.

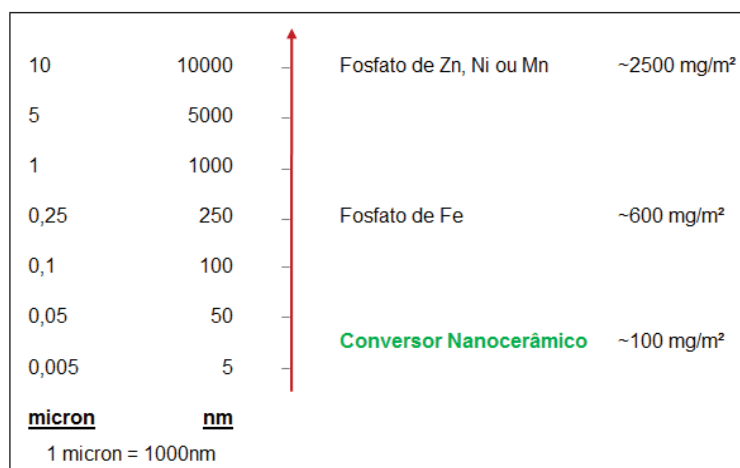
A espessura da camada nanocerâmica comparada com as camadas obtidas nos outros processos de fosfatização podem ser vistas na figura 3 (TESTA, 2005).

Figura 2 - Morfologia da camada nanocerâmica comparado ao fosfato de ferro



Fonte: TESTA, 2005

Figura 3 - Comparativo camada nanocerâmica / fosfato ferro / fosfato zinco



Fonte: TESTA, 2005

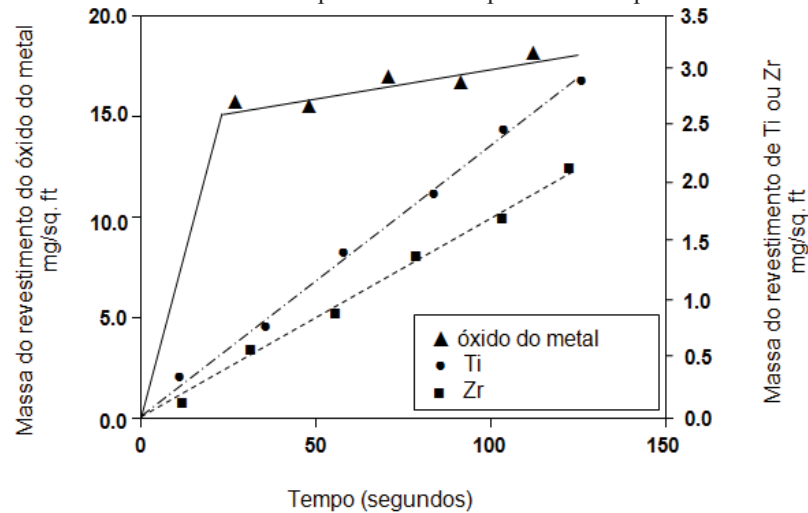
A nanotecnologia aplicada a tratamentos superficiais traz grandes vantagens para a indústria como mostrado abaixo:

- baixa complexidade;
- necessário menor número de estágios de pré-tratamento;
- isento de fósforo;
- isento de DQO/DBO;
- isento de metais pesados;
- redução de geração de resíduos.
- o banho não precisa ser descartado;
- temperatura ambiente;
- redução do custo de tratamento do efluente;
- baixo investimento inicial comparado aos demais.

Avaliando a figura 4, podemos observar que o depósito das nano partículas de óxido de metal alcança um pico dentro dos primeiros 20 a 30 segundos de exposição. Em seguida elas se mantêm relativamente constantes e parecem seguir um mecanismo limitado de deposição, enquanto os componentes do titânio e do zircônio continuam a aumentar linearmente.

Enquanto o tempo decorre durante a aplicação, antecipa-se que o Zr ou o Ti estão depositados através da primeira matriz do óxido de metal, selando os espaços vazios entre as partículas (DRONIOU, 2005).

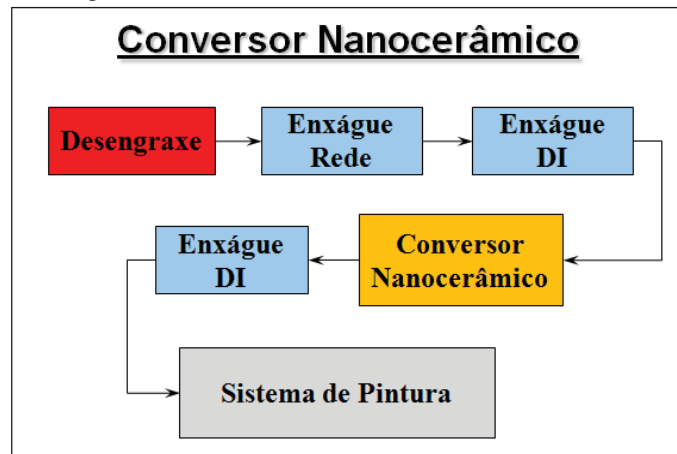
Figura 4 – Evolução de massa de revestimento depositado com o passar do tempo



Fonte: DRONIOU, 2005

A camada de conversão nanocerâmica é aplicada em um processo de múltiplos estágios: desengraxe alcalino; dois enxágues sendo o segundo com água deionizada; banho nanocerâmico; última lavagem com água deionizada conforme demonstrado na figura 5.

Figura 5 - Fluxo do processo de pré-tratamento com conversor nanocerâmico

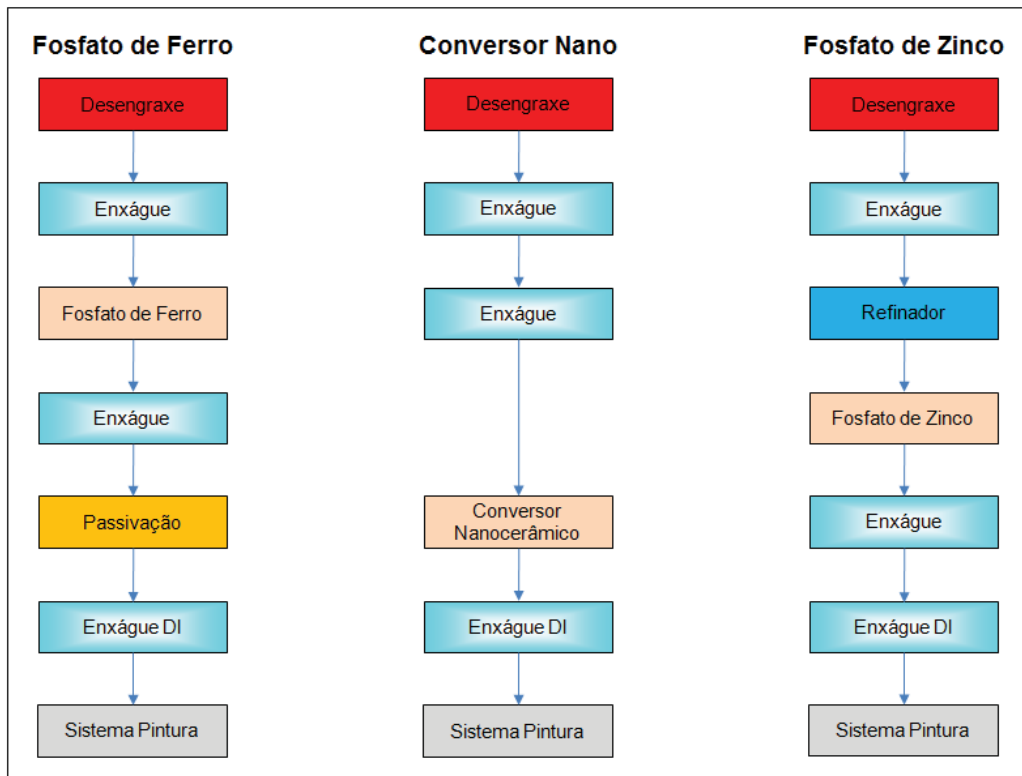


Fonte: HENKEL, Informação Privada, 2015

Fazendo-se uma breve comparação do processo nanocerâmico de conversão com os processos de fosfatização podemos afirmar que em termos de tempo de processo, ou da complexidade, o fosfato de ferro necessita uma etapa adicional de passivação e o fosfato de zinco é um processo ainda mais longo pois necessita de uma etapa de ativação para a nucleação dos cristais do fosfato de zinco sobre a superfície e o refinador.

A figura 6 mostra uma comparação entre os processos de fosfatização com fosfato de ferro, conversor nanocerâmico e fosfato de zinco, onde podemos ver com mais clareza o número de estágios necessários para cada processo.

Figura 6 - Comparativo: fosfato ferro / conversor nanocerâmico / fosfato zinco

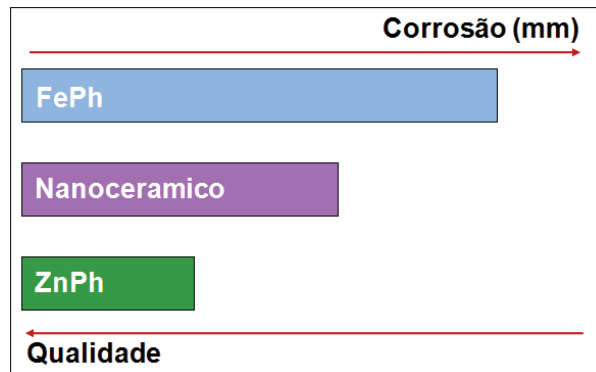


Fonte: HENKEL, Informação Privada, 2015

Droniou (2005) efetuou um estudo comparativo do processo de conversão nanocerâmico com os fosfatos de ferro e de zinco, onde verificou-se então que a camada nanocerâmica possui propriedades de proteção contra a corrosão e de adesão da camada de tinta no mínimo iguais ao fosfato de ferro. Em determinados exemplos, antecipa-se que esta conversão alcançaria o nível de um processo de fosfato de zinco.

Estas observações podem ser melhor visualizadas na figura 7, que mostra como a camada nanocerâmica se comporta em comparação às camadas de fosfato de ferro e fosfato de zinco.

Figura 7 - Performance da camada nanocerâmica



Fonte: DRONION, 2006

Além da vantagem de poder ser aplicado a frio, o processo nanocerâmico detém de outras vantagens que permitem a substituição dos fosfatos de ferro e zinco, utilizados há mais de 150 anos em processos de pré-tratamentos de metais, mas que exigem elevados gastos em tratamento dos efluentes decorrente da aplicação destes processos.

No trabalho de Bossardi (2007), foi avaliado a nanotecnologia aplicada em tratamentos superficiais em aço carbono AISI 1020 como alternativa ao fosfato de zinco. Os resultados mostraram que, nas condições estudadas, o processo nanocerâmico apresentou de uma maneira geral, comportamento e performance semelhante e, em alguns casos superior ao fosfato de zinco. Foi evidenciado no estudo que o processo nanocerâmico é realizado em tempo mais curto comparado ao processo de fosfato de zinco, significando uma redução de custo no ponto de vista industrial. Ambos os processos de tratamento superficial conferiram excelentes resultados no que diz respeito a aderência da camada de tinta.

2.4.4 Eletrodeposição

A técnica de pintura por eletrodeposição foi desenvolvida como método para atender aos requisitos anticorrosivos exigidos pela indústria automobilística, de autopeças e de eletrodomésticos. A pintura por eletrodeposição é conhecida por vários nomes, como por exemplo: Elpo; E-coat, Electro-dip, Electropaint, Paint Plating, Eletroforética, etc.

Pode-se dizer que a pintura por eletrodeposição é similar em seu processo à eletrodeposição metálica. Os dois processos envolvem a passagem de corrente elétrica para que ocorra a deposição de material. A diferença fundamental está no fato de que a eletrodeposição metálica deposita íons metálicos e a pintura por eletrodeposição deposita moléculas orgânicas.

Basicamente, o processo de eletrodeposição ocorre quando se mergulha um objeto metálico em um banho de tinta diluída em água, através da qual se faz passar uma corrente elétrica contínua, onde a peça a ser pintada é conectada ao polo positivo sendo o outro polo o próprio tanque, ou então, os eletrodos colocados em suas paredes laterais.

A eletrodeposição é um processo de deposição de pigmentos em um substrato metálico em decorrência de quatro fenômenos químicos (PPG, Informação Privada, 2015):

- a) Eletrólise – Ocorre a separação de elementos químicos de um composto com o uso da eletricidade. No caso da eletrodeposição, consiste em uma reação de oxirredução da água separando os íons de hidrogênio e oxigênio em solução, quando há aplicação de uma diferença de potencial.

- b) Eletroforese - É o fenômeno de migração de partículas de pigmento, envolvida pela respectiva resina e demais componentes da tinta em direção a peça a ser pintada, quando aplicado uma corrente elétrica.
- c) Eletrocoagulação - É o fenômeno da aproximação entre a partícula de tinta carregada e o polo contrário a sua carga, com uma troca de carga elétrica promovendo assim a adesão da partícula ao substrato, formando um filme de tinta insolúvel no meio aquoso.
- d) Eletro-osmose - É o fenômeno onde há a eliminação dos eletrólitos contidos na tinta aplicada, fazendo com que o filme eletro depositado perca quase toda a água.

2.4.4.1 Eletrodeposição Anódica x Catódica

A tinta catódica é composta de um polímero com características alcalinas quando eletro-depositada. Materiais alcalinos tendem a ser inibidores de corrosão, enquanto as tintas anódicas são sintetizadas a partir de ácidos orgânicos, sendo que o polímero eletro-depositado tem alta acidez, não sendo assim, inibidores de corrosão (PPG, Informação Privada, 2015).

A tinta catódica possui pouca sensibilidade a degradação bacteriológica, comparativamente a anódica que é um bom meio de desenvolvimento de culturas bacterianas.

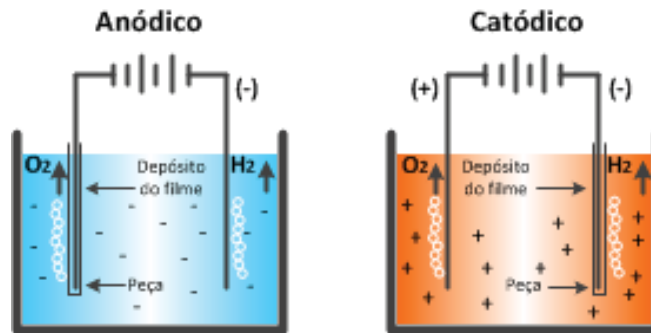
A pintura por eletrodeposição catódica apresenta vantagem de ter aproximadamente 30% a mais de poder de penetração ("throwing power") comparada com a anódica, representando mais homogeneidade na espessura da tinta e garantia de aplicação em toda a superfície da peça.

Outra vantagem da pintura catódica é apresentar 40% de economia na energia elétrica utilizada no processo.

A pintura catódica apresenta grande resistência anticorrosiva em espessura do filme entre 14 e 18 μ m, enquanto que a pintura anódica apresenta baixa resistência mesmo em espessuras do filme muito acima da encontrada no sistema catódico.

A tinta catódica apresenta menor diferença na resistência anticorrosiva com variação do substrato metálico utilizado no seu tratamento químico. A Figura 8 mostra o princípio de funcionamento da eletrodeposição catódica e anódica.

Figura 8 - Eletrodeposição catódica x anódica

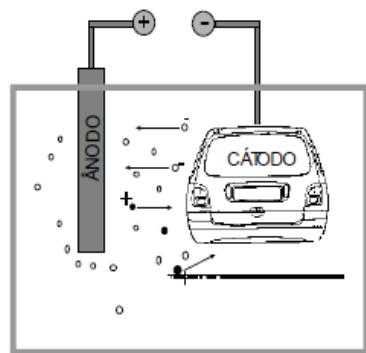


Fonte: PPG, Informação Privada, 2015

2.4.4.2 Eletrodeposição Catódica

A eletrodeposição catódica, é um processo de pintura por imersão totalmente automatizado e baseado no deslocamento de partículas carregadas sob a ação de um campo elétrico, as quais se dirigem para o pólo de sinal oposto conforme demonstrado na figura 9. Cataforese é o deslocamento de partículas em direção ao cátodo) (PONTE, 2000).

Figura 9 - Eletrodeposição catódica

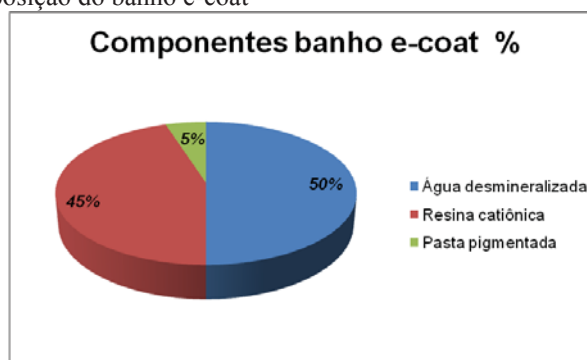


Fonte: PPG, Informação Privada, 2015

Aplica-se basicamente em peças metálicas, devido à necessidade de condução da corrente elétrica, conseguindo-se assim uma película uniforme e garantindo-se uma perfeita cobertura, inclusive nos interiores e nas partes ocas e de difícil acesso quando aplicado com outras tecnologias. Este tipo de pintura oferece uma grande proteção anticorrosiva, resistência a deformações mecânicas (testes batida de pedra, embutido, dobramento, impacto, etc.) (PONTE, 2000).

A pintura por cataforese é uma dispersão de resinas e pigmentos num meio aquoso, com um conteúdo de solventes orgânicos baixo (inferior a 4%) e com três componentes básicos: água desmineralizada; resina catiônica e pasta pigmentada nas proporções conforme mostrado na figura 10.

Figura 10 - Gráfico de composição do banho e-coat



Fonte: PPG, Informação Privada, 2015

De uma análise detalhada sobre a tecnologia de pintura no setor automotivo e agrícola, parece ser possível concluir que os dois temas com a maior prioridade deste domínio são (BOCK, 1997):

- a) otimização dos sistemas de pintura utilizando processos mais econômicos;
- b) melhorar os sistemas de pintura no quadro de uma gestão mundial das tecnologias levando em conta também os fatores econômicos.

As exigências de aspecto, comportamento, e as restrições técnicas e econômicas são muito importantes, porém as exigências inerentes ao acabamento como brilho inicial elevado, excelente retenção de cor e brilho, facilidade de reparação, estão cada vez mais presentes. Entretanto, associada a uma mudança mundial das tecnologias de pintura, onde empresas que detêm desta tecnologia desenvolvem novos produtos de alto teor de sólidos, de base aquosa, de curas por radiação, surgem também projetos audaciosos interligados com as próprias tecnologias de aplicação (MATRA, 1997) e tratamento de efluentes (HARSCH, 1999).

2.4.4.3 Controle de qualidade

As pinturas por eletrodeposição são controladas por dados físicos, técnicos e analíticos. Os fatores mais importantes de controle para a correta aplicação são voltagem e densidade de corrente, temperatura do banho, pH da tinta, condutividade da tinta em combinação com sólidos contidos e concentração eletrolítica.

Na prática, o teor de sólidos contidos, teor de cinzas, pH, solvente contido e condutividade são fáceis de medir, porém a informação não é suficiente. Desta forma a natureza complexa das interações de cada parâmetro torna necessário o controle durante o funcionamento do sistema, utilizando-se de dados analíticos e aplicações de testes em

laboratórios com equipamentos específicos que certifiquem a sua correta aplicação (STREIBERG; DÖSSEL, 2008).

Diariamente são tomadas medidas de sólidos contidos, condutividade e pH. Semanalmente são medidos dados analíticos como acidez e basicidade, solvente contido, cinzas contidas e confirmação da aplicação dos parâmetros de acordo com os padrões estabelecidos. A frequência da reposição de material nos tanques depende do seu nível de solicitação (STREIBERG; DÖSSEL, 2008).

A eletrodeposição pode apresentar problemas como contaminações por bactérias devido aos baixos níveis de solvente e composição não tóxicas. A presença de bactérias é extremamente nociva ao sistema. Em alguns casos é recomendado fazer um controle mais apurado da água deionizada e outras fontes potenciais de contaminação, assim como contagens semanais de bactérias ou a instalação de equipamentos que façam medidas contínuas (STREIBERG; DÖSSEL, 2008).

O consumo de água no sistema de eletrodeposição se dá basicamente na reposição dos níveis do tanque de *e-coat* e tanques UF (Ultra Filtração), devido às perdas inerentes ao processo como evaporação, arrastes, limpeza de tubulações, limpeza de membranas e do próprio tanque quando necessário (PPG, Informação Privada, 2015).

Os efluentes gerados são originários da limpeza das membranas de UF (Ultra Filtração), limpeza do tanque *e-coat* e drenagem das tubulações. Este efluente é tratado separadamente por tem uma concentração de tinta e solvente muito alta e de difícil clarificação (AGCO do Brasil, Informação Privada, 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

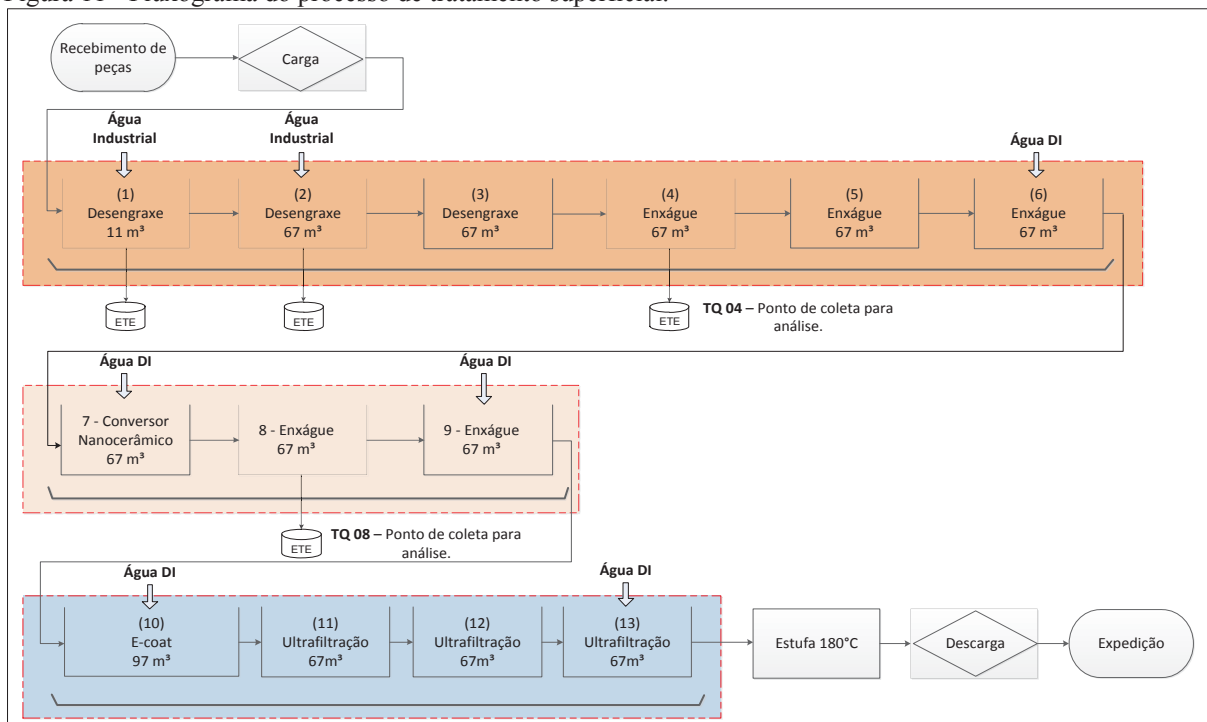
Neste capítulo primeiramente será abordado o processo atual do sistema de tratamento de superfícies, com foco no efluente gerado ao longo do processo desde a sua origem até o seu tratamento na ETE. Em seguida será descrito os materiais e métodos utilizados para embasar o desenvolvimento de um sistema de recuperação deste efluente visando o seu reuso no próprio sistema. Este estudo foi dividido em quatro etapas como descrito a seguir:

1. Identificação dos pontos geradores de efluente.
2. Apresentação das metodologias de amostragem e caracterização do efluente gerado no processo de tratamento superficial e pintura por eletrodeposição posteriormente tratado na ETE.
3. Realização de testes em bancada com o intuito de selecionar a sequência de equipamentos/processos mais adequado para o tratamento do efluente.
4. Análise econômica.

3.1 Processo de tratamento de superfícies

O processo de tratamento de superfícies é composto por 9 estágios (tanques), conforme mostrado na figura 11.

Figura 11 - Fluxograma do processo de tratamento superficial.



Fonte: Autor

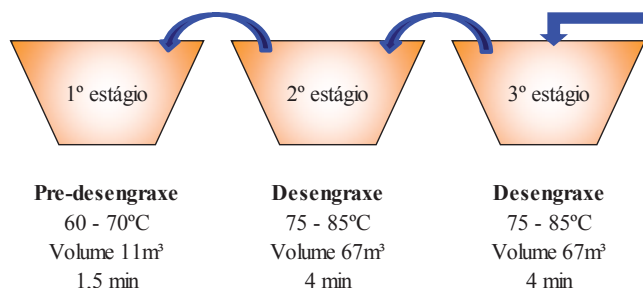
3.1.1 Estágios 1 a 3 (Desengraxe Alcalino)

O processo de desengraxe é composto por três tanques sendo 1 por aspersão e os tanques 2 por imersão. Ambos estão interligados por um sistema de cascata onde o líquido é escoado do tanque 3, menos saturado até o tanque 1, mais saturado (Figura 12).

O tanque 1, desengraxe por aspersão, é considerado um tanque de sacrifício por ser o primeiro ataque de limpeza da peça removendo as sujidades mais grosseiras como óleos, graxas, óxidos e limalhas provenientes dos processos de usinagem, estamparia e solda. A sua eficácia na limpeza se dá devido a ação química do produto desengraxante aliado a ação mecânica gerada pela pressão do jato pulverizado do produto de desengraxe sobre a peça.

Os tanques 2 e 3 possuem as mesmas características e parâmetros e tem a função de remoção de óleos, graxas e óxidos remanescentes da fase anterior. Por ser um processo por imersão, os tanques 2 e 3 conseguem remover sujidades em regiões onde não se tem o acesso pelo sistema de aspersão, principalmente áreas internas. Desta forma a combinação dos 3 estágios oferecem uma performance muito boa na limpeza da superfície das peças. A tabela 2 mostra os parâmetros utilizados na composição destes banhos.

Figura 12 – Esquema dos tanques de desengraxe com seus parâmetros do processo



Fonte: Autor

Tabela 2 - Parâmetros dos tanques de desengraxe

Estágio	Descrição	Produto	Processo	(m³)	Parâmetros			Características do produto
					Temperatura (°C)	Concentração (%)	Tempo (s)	
1º	Pré desengraxe por aspersão	Ridoline 422E	Aspersão	11	60 - 70	3 - 7%	120	Produto à base de Hidróxido de Sódio
		Ridosol 1270						Produto à base de Álcool Graxo Etoxilado e Propoxilado e Álcool Graxo Etoxilado
2º	Desengraxe I	Parco Cleaner 1533	Imersão	67	50 - 60	1,5 - 4,5%	240	Produto à base de Hidróxido de Potássio, Hidróxido de Sódio e Silicato de Sódio
		Ridosol 3000						Produto à base de Álcool Graxo Etoxilado e Dodecilbenzeno Sulfonato de Sódio
3º	Desengraxe II	Parco Cleaner 1533	Imersão	67	45 - 55	1,5 - 4,5%	240	Produto à base de Hidróxido de Potássio, Hidróxido de Sódio e Silicato de Sódio
		Ridosol 3000						Produto à base de Álcool Graxo Etoxilado e Dodecilbenzeno Sulfonato de Sódio

Fonte: Autor

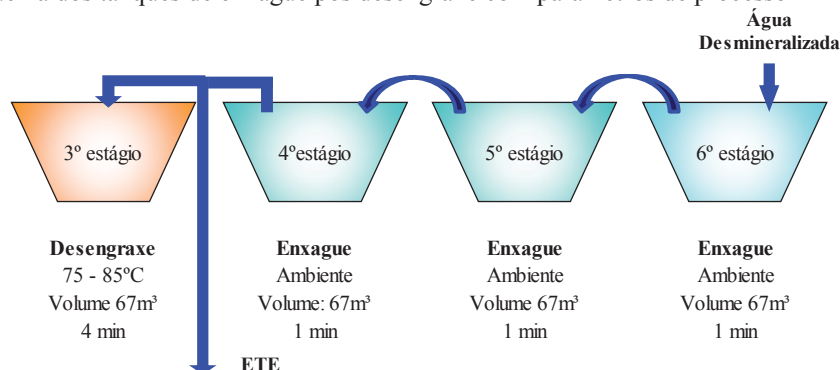
3.1.2 Estágios 4 a 6 (Enxágue)

Após o processo de desengraxe, o sistema conta com três tanques de enxágue que tem a função de remover o desengraxante alcalino remanescente evitando assim o seu arraste para os tanques posteriores. Estes tanques também estão interligados por um sistema de cascata onde o líquido é escoado do tanque 6, menos saturado até o tanque 4, mais saturado (Figura 13).

As características dos banhos são as mesmas para os 3 tanques de enxágue, com a diferença que ao tanque 6 é adicionado água deionizada, enquanto que os tanques 4 e 5 são montados com água industrial e renovados com a água proveniente do sistema de cascata. No tanque quatro tem-se a opção de enviar o produto do banho diretamente para a ETE, como também transferir o banho para o terceiro tanque de desengraxe.

A tabela 3 mostra os parâmetros utilizados na composição destes banhos.

Figura 13 – Esquema dos tanques de enxágue pós desengraxe com parâmetros de processo



Fonte: Autor

Tabela 3 - Parâmetros dos tanques de enxágue

Estágio	Descrição	Produto	Processo	(m³)	Parâmetros				Características do efluente
					Temperatura (°C)	Condutividade (µS/cm²)	pH	Tempo (s)	
4º	Enxágue I	Água industrial	Imersão	67	Ambiente	--	7,5 - 11	60	Efluente alcalino com teor elevado de Potássio, Sódio e Silício
5º	Enxágue II	Água DI	Imersão	67	Ambiente	< 300	5 - 9	60	
6º	Enxágue III	Água DI	Imersão	67	Ambiente	< 100	5 - 7	60	

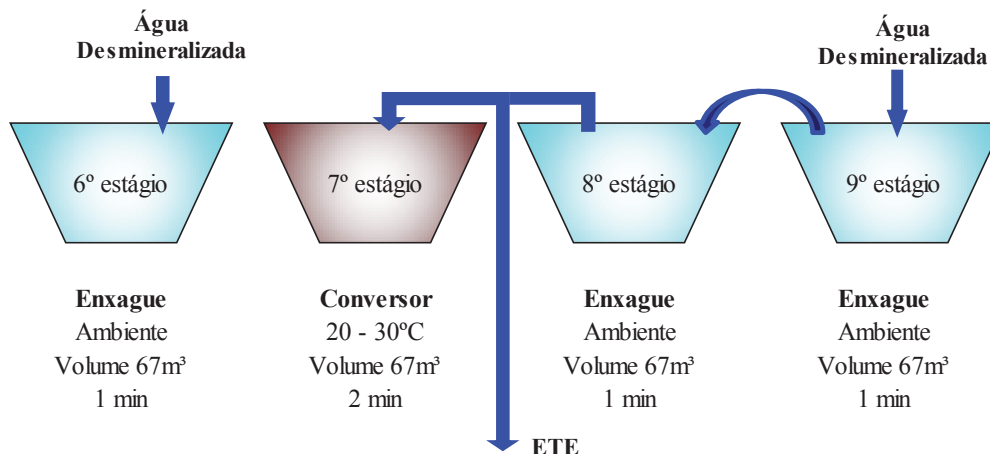
Fonte: Autor

3.1.3 Estágio 7 (conversor nanocerâmico)

Este estágio tem a função de preparar a superfície do substrato para receber a pintura por eletrodeposição (Figura 14). É o produto que vai dar a proteção anticorrosiva ao substrato, criando uma rugosidade à superfície metálica para melhorar a aderência do filme de tinta.

A tabela 4 mostra os parâmetros utilizados na composição do banho do conversor nanocerâmico.

Figura 14 – Essquema do tanque do conversor nanocerâmico com parâmetros de processo



Fonte: Autor

Tabela 4 - Parâmetros dos tanques do conversor nanocerâmico

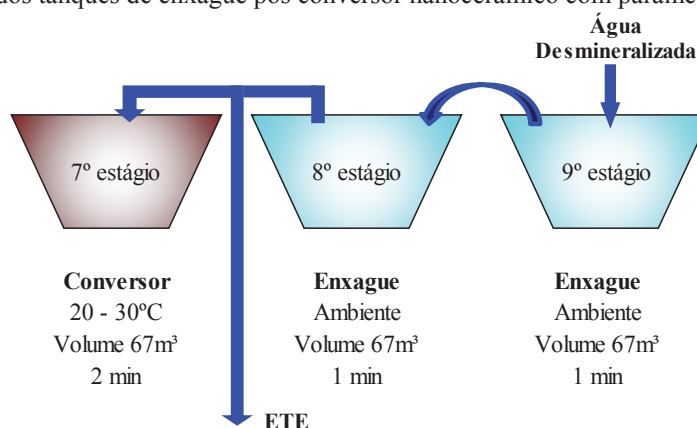
Estágio	Descrição	Produto	Processo	(m³)	Parâmetros				Características do efluente
					Temperatura (°C)	Condutividade (µS/cm²)	pH	Tempo (s)	
7º	Conversor Nanocerâmico	Componente A: TD1323HB	Imersão	67	20 - 30	< 1300	4 - 4,5	90	Produto à base de Ácido Hexafluorzircônico
		Componente B: TD1323HC							Produto à base de Nitrato de Cobre Tri-hidratado
		Parco Neutralizer 700							Produto à base de Bicarbonato de Amônio
		Deoxidine 2520							Produto à base de Ácido Nítrico

Fonte: Autor

3.1.4 Estágio 8 a 9 (Enxágue)

O oitavo e o nono estágio (Figura 15) possuem duas funções: a remoção dos produtos químicos do estágio anterior em excesso na superfície do substrato evitando marcas nas peças e evitar o arraste destes produtos para os estágios seguintes. Os dois tanques estão interligados através de um sistema de cascata com diferentes níveis de altura do banho, sendo que o tanque oito está interligado também com o tanque sete na função de reposição de nível, e possui uma ligação diretamente para a ETE. A tabela 5 mostra os parâmetros utilizados na composição destes banhos.

Figura 15 – Esquema dos tanques de enxágue pós conversor nanocerâmico com parâmetros de processo



Fonte: Autor

Tabela 5 - Parâmetros dos tanques de enxágue pós conversor nanocerâmico

Estágio	Descrição	Produto	Processo	(m ³)	Parâmetros				Características do efluente
					Temperatura (°C)	Condutividade (µS/cm ²)	pH	Tempo (s)	
8º	Enxágue IV	Água DI	Imersão	67	Ambiente	< 50	5 - 7	60	Efluente levemente ácido com teor elevado de Silício e Ferro
9º	Enxágue V	Água DI	Imersão	67	Ambiente	< 30	5 - 7	60	

Fonte: Autor

3.2 Caracterização do efluente gerado no processo de pré-tratamento

Após análise do fluxograma do sistema de pré-tratamento e pintura por eletrodeposição (Figura 11), foi feita uma caracterização prévia do efluente coletado dos tanques 4 e 8. Desta forma foi possível obter uma amostra de como se encontrava o efluente, com o objetivo do seu reuso.

3.2.1 Coleta do efluente para análise

Baseado nas condições do efluente, foi definido que será utilizado para o estudo somente o efluente proveniente do sistema de enxágues por se tratar de um efluente líquido, de renovação contínua e esta ligado diretamente com a ETE. Foram definidos então dois pontos para a coleta do efluente sendo um na saída do tanque quatro (Figura 16-a), que é o primeiro tanque após os tanques de desengraxe e na saída do tanque oito (Figura 16-b), que é o primeiro tanque após o tanque do conversor nanocerâmico. A escolha destes dois pontos se deu devido ao nível de saturação destes tanques que comparados com os tanques de enxágue subsequentes, é bem maior.

Figura 16 - Ponto de coleta do efluente do tanque 4 (a) e tanque 8 (b)



(a) Tanque 4



(b) Tanque 8

Fonte: AGCO do Brasil, 2015

O efluente gerado no processo de pré-tratamento foi monitorado e coletado no período de 02 de Junho a 1º de Julho de 2014, conforme recomendado pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Na sua caracterização foram empregadas amostragens diárias durante um período de 20 dias, considerando um turno de trabalho de 16h/d. O efluente bruto gerado no sistema de pré-tratamento foi coletado em recipientes de 1L e armazenado sob refrigeração conforme orientações do laboratório Econsulting Projetos e Consultoria Ambiental.

O recipiente utilizado para a coleta foi submetido a uma tríplice lavagem com o próprio efluente antes da realização da coleta.

Durante o monitoramento, o sistema de pré-tratamento se manteve em operação por mais de 3 horas ininterruptas após o início do turno de trabalho antes de dar o início a coleta do efluente. Desta forma se manteve uma amostra real da atual composição do efluente.

Ao final do processo de amostragem o efluente industrial foi caracterizado empregando-se o seguinte procedimento:

- a) Homogeneização do efluente coletado;
- b) Retirou-se uma amostra a qual foi preservada de acordo com as orientações do laboratório;
- c) O efluente foi caracterizado em termos de: Teor de Sólidos Totais, Óleos e Graxas, pH, Condutividade e outros, para servir de base para o estudo;
- d) Após a caracterização, os valores dos parâmetros encontrados foram comparados com os valores considerados como o limite de qualificação para o reuso conforme mostrado na tabela 10.

3.3 Sistemas de tratamento do efluente dos banhos (tanque 4 e mistura tanque 4-8)

O objetivo desta fase do trabalho é verificar as etapas de tratamento necessárias para tornar o efluente do tanque quatro em condições de reuso. Da mesma forma, verificar a possibilidade de utilizar no mesmo processo de recuperação do efluente, a mistura dos efluentes do tanque quatro e oito na proporção 50/50.

Para embasar esta escolha, foram simulados em nível de bancada os processos aplicáveis com o intuito de verificar a eficiência dos processos empregados na remoção dos contaminantes presentes no efluente. As simulações e análises foram feitas individualmente com o intuito de conhecer a eficiência de cada processo utilizado e o seu impacto no resultado final, e em conjunto com os outros processos de forma sequencial.

Com base nos resultados da caracterização prévia do efluente, informações retiradas de literaturas e a disponibilidade de execução das simulações em laboratório, optou-se em abordar os seguintes processos de tratamento:

- a) Coagulação/floculação (processo físico-químico);
- b) Neutralização;
- c) Filtração (filtro bag / filtro de carvão ativado).

3.3.1 Testes de Coagulação/floculação (Físico-Químico)

Inicialmente foram realizados os testes de coagulação/floculação (físico-químico) em laboratório empregando-se um agitador mecânico de bancada (especificação - FISATOM - Modelo 715 - Série 715 com regulador de velocidade entre 0 e 2.500 rpm), conforme ilustrado na figura 17. Os produtos utilizados para este processo são descritos na tabela 6.

Figura 17 - Agitador mecânico de bancada - FISATOM modelo 715



Fonte: Autor

Tabela 6 – Produtos utilizados durante o processo físico-químico

Produto	Princípio ativo	Aplicação	Característica
BIO FLOC	Mistura de poleletrolitos aniônicos e não iônicos	Floculação de sólidos em solução / compactação dos flocos	Alcalino
BIO TRAT	Agentes alcalinos inorganicos (carbonatos) com aditivos	Aumentar o pH / auxiliar a floculação de sólidos em solução	Alcalino
BIO ATIVO II	Emulsão de carvão ativo com aditivos	Redução de odores / DBO / DQO e O&G	Neutro
Neutralizante PAK	Policloreto de alumínio isento de ferro e aditivos	Redução nos parâmetros de sólidos suspensos / DQO / DBO e cor	Ácido
Neutralizante SA	Polisulfato de aluminio e aditivos	Floculação de sólidos em solução / clarificação da água	Ácido
Neutralizante A-130	Solução de ácidos minerais e aditivos	Redução do pH	Ácido
Neutralizante A-220	Hidroxido de sódio + hidróxido de potássio e aditivos	Aumento do pH	Alcalino

Fonte: Autor

A velocidade de rotação no equipamento e o tempo de mistura utilizado para o teste em cada etapa do processo foram adotados conforme valores determinados pela CETESB (1987), onde o tempo e a velocidade máxima e mínima foram de 5 minutos a 60 rpm e 10 minutos a 30 rpm respectivamente.

Para a realização das análises do tratamento físico-químico e posterior processo de filtração com filtro bag e filtro de carvão ativado, foi coletado duas amostras de 30 litros dos tanques quatro e oito. O recipiente usado para a coleta da amostras foi limpo e enxaguado duas vezes utilizando o próprio efluente a ser coletado. As análises foram feitas das amostras do tanque quatro individualmente e da mistura do tanque quatro e tanque na proporção 50/50. Desta forma possibilitará uma análise mais assertiva para embasamento na decisão de tratar os dois efluentes juntos ou separadamente antes de retornar para o processo produtivo. As tabelas 7 e 8 resumem as condições realizadas no processo de tratamento físico-químico do efluente coletado do tanque quatro e da mistura dos tanques quatro e oito na proporção 50/50. O esquema deste processo é demonstrado na figura 18.

Tabela 7 - Etapas processo físico-químico com amostras coletadas do tanque quatro

Seq	Etapas do processo	Amostra (litros)	Tempo (min)	pH	Produto utilizado	Qtde
1	Coleta da amostra (tq 04)	30				
2	Homogeneização da amostra	30	5	9,7		
3	Adição do Neutralizante	30	10	7,6	Policloreto de alumínio isento de ferro e aditivos	40gr
4	Adição do Ativador	30	10	9,0	Emulsão de carvão ativo com aditivos	60gr
5	Adição do Neutralizante	30	10	7,3	Polisulfato de alumínio e aditivos	40gr
6	Adição do agente Floculante	30	1		Mistura de poleletrolitos aniônicos e não iônicos	30gr
7	Decantação	30	300			
8	Separação do lodo sobrenadante	30				
9	Separação de amostras para análise	1				

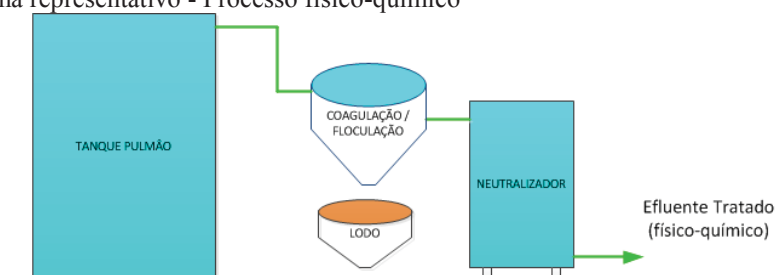
Fonte: Autor

Tabela 8 - Etapas do processo físico-químico com amostras tanque quatro e oito

Seq	Etapas do processo	Amostra (litros)	Tempo (min)	pH	Produto utilizado	Qtde
1	Coleta da amostra (tq 04 - 08)	30				
2	Homogeneização da amostra	30	5	9,1		
3	Adição do Neutralizador	30	10	6,8	Policloreto de alumínio isento de ferro e aditivos	10ml
4	Adição do Neutralizador	30	10	8,0	Hidróxido de sódio + hidróxido de potássio e aditivos	15ml
5	Adição do Ativador	30	15	8,5	Emulsão de carvão ativo com aditivos	60gr
6	Adição da solução Bio Trat	30	10	9,5	Agentes alcalinos inorgânicos (carbonatos) com aditivos	10gr
6	Adição do Neutralizador	30	10	7,4	Polisulfato de alumínio e aditivos	30gr
7	Adição do agente Floculante	30	1		Mistura de poleletrolitos aniônicos e não iônicos	30gr
8	Decantação	30	300			
9	Separação do lodo sobrenadante	30				
10	Separação de amostras para análise	1				

Fonte: Autor

Figura 18 – Esquema representativo - Processo físico-químico



Fonte: Autor

3.3.2 Testes de Filtração

Empregou-se a filtração como forma de remoção da turbidez e sólidos suspensos. Nos ensaios de bancada foi utilizado filtro bag de porosidade $1\mu\text{m}$, cujas especificações estão demonstradas na tabela 9.

Tabela 9 - Dados técnicos do filtro bolsa $1\mu\text{m}$

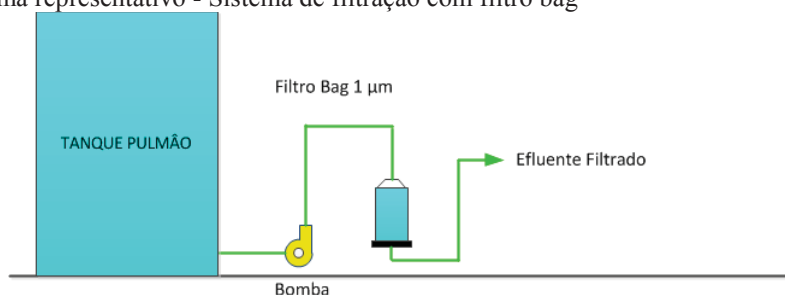
Elemento filtrante modelo	LPO-01-T2-P
Material	Feltros agulhados em polipropileno
Dimensões	7 x 32"
Micragem nominal	1 μm
Área	0,45m ²
Vazão	4m ³ /h
Temperatura de operação	Até 90°C

Fonte: Autor

3.3.2.1 Filtração com filtro Bag

O filtro bag foi um dos componentes utilizados como alternativa para a remoção da turbidez e sólidos suspensos. A coleta das amostras foi feita por amostragem composta conforme descrito no item 3.2. A amostra foi filtrada no filtro de $1\mu\text{m}$ conforme ilustrado no esquema da figura 19. Após a realização do teste, o efluente foi separado para a realização das seguintes análises laboratoriais: Condutividade, DBO, DQO, Dureza Total, pH, SS, ST, Surfactantes, Turbidez, O&G Totais e Bactérias.

Figura 19 – Esquema representativo - Sistema de filtração com filtro bag

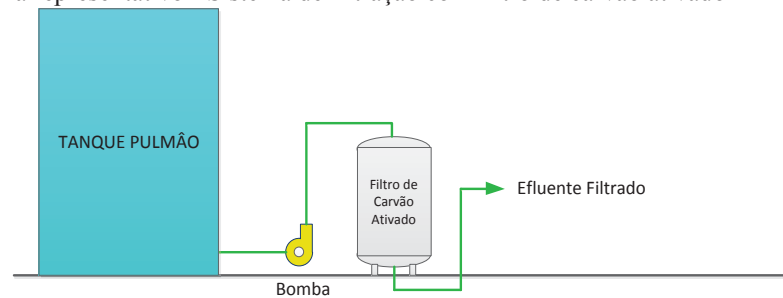


Fonte: Autor

3.3.2.2 Filtração com carvão ativado

Além do teste com filtros *bag*, o efluente foi submetido também a filtragem por carvão ativado (Figura 20). Neste processo o efluente também era coletado empregando-se a amostragem composta conforme descrito no item 3.2. Após a realização do teste, o efluente foi separado para a realização das seguintes análises: Condutividade, DBO, DQO, Dureza Total, pH, SS, ST, Surfactantes, Turbidez, O&G Totais e Bactérias.

Figura 20 – Esquema representativo - Sistema de filtração com filtro de carvão ativado

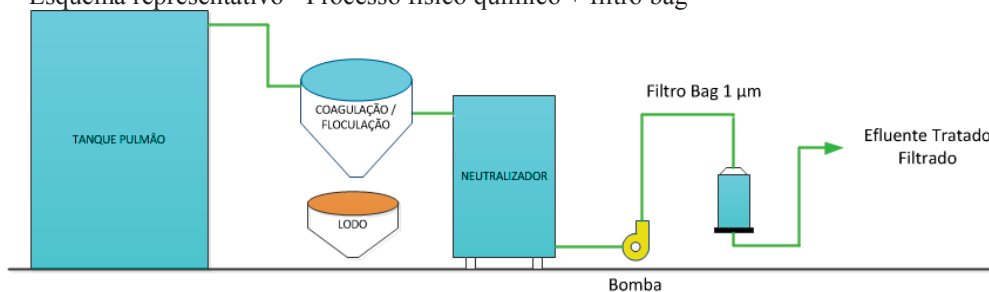


Fonte: Autor

3.3.3 Teste físico-químico + filtro bag

A coleta das amostras para os testes foi realizada por amostragem composta conforme descrito no item 3.2. O teste de coagulação/floculação foi realizado conforme descrito no item 3.3.1. Após este ensaio o efluente coletado foi submetido ao processo de filtragem em filtro bag, conforme descrito no item 3.3.2. Este procedimento é ilustrado na figura 21. Após a realização do teste, o efluente foi separado para a realização das seguintes análises: Condutividade, DBO, DQO, Dureza Total, pH, SS, ST, Surfactantes, Turbidez, O&G Totais e Bactérias.

Figura 21 – Esquema representativo - Processo físico químico + filtro bag

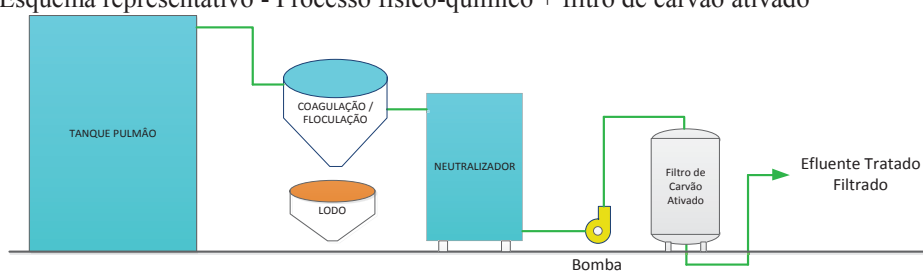


Fonte: Autor

3.3.4 Teste físico-químico + filtro de carvão ativado

A coleta das amostras para os testes foi realizada por amostragem composta conforme descrito no item 3.1. O teste de coagulação/floculação foi realizado conforme descrito no item 3.3.1. Após este ensaio o efluente coletado foi submetido ao processo de filtragem em filtro de carvão ativado (item 3.3.2). Este procedimento é ilustrado na figura 22. Após a realização do teste, o efluente foi separado para a realização das seguintes análises: Condutividade, DBO, DQO, Dureza Total, pH, SS, ST, Surfactantes, Turbidez, O&G Totais e Bactérias.

Figura 22 – Esquema representativo - Processo físico-químico + filtro de carvão ativado

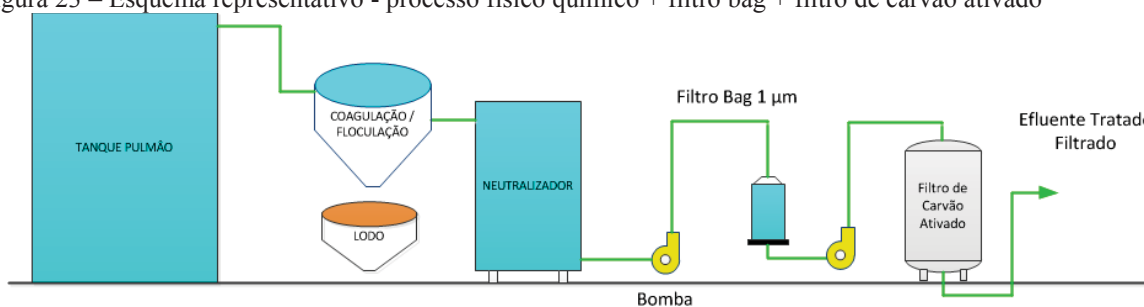


Fonte: Autor

3.3.5 Teste físico-químico + filtro bag + filtro de carvão ativado

A coleta das amostras para os testes foi realizada por amostragem composta conforme descrito no item 3.2. O teste de coagulação/floculação foi realizado conforme descrito no item 3.3.1. Após este ensaio o efluente coletado foi submetido ao processo de filtragem em filtro bag e filtro de carvão ativado (item 3.3.2). Este procedimento é ilustrado na figura 23. Após a realização do teste, o efluente foi separado para a realização das seguintes análises laboratoriais: Condutividade, DBO, DQO, Dureza Total, pH, SS, ST, Surfactantes, Turbidez, O&G Totais e Bactérias.

Figura 23 – Esquema representativo - processo físico químico + filtro bag + filtro de carvão ativado



Fonte: Autor

3.4 Viabilidade Técnico-econômica

A análise de viabilidade técnico-econômica deste trabalho foi baseada nas informações do consumo médio de água de rede nos tanques quatro e oito no período de Jan/2015 a Mai/2015 conforme mostrado na tabela 29. Os valores foram retirados das leituras mensais do medidor de vazão da água de reposição colocado na entrada do sistema de pintura, sendo que a vazão foi calculada pela diferença entre a leitura atual e a última realizada.

Foi considerado para esta análise a recuperação de 90% do efluente gerado no processo de pintura. Os 10% restantes foi considerado como perda por evaporação ou arraste do processo.

A análise do retorno financeiro foi realizada dividindo o valor total do investimento pelo valor que a empresa deixará de gastar mensalmente, considerando a economia referente ao efluente, descontando deste valor o custo do processo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente é mostrado o resultado da caracterização prévia do efluente, que foi usado como parâmetro para o direcionamento deste trabalho. Após são apresentados os resultados finais obtidos da caracterização do efluente antes do processo de recuperação (efluente bruto) e após a sua recuperação (efluente tratado).

Como mostrado no capítulo 3 deste trabalho, os processos definidos para a recuperação deste efluente foram: processo físico-químico, filtração com filtro bag e filtração com carvão ativado, bem como um arranjo sequencial dos mesmos e o efluente avaliado foi o efluente proveniente do tanque quatro e a mistura do efluente do tanque quatro e oito.

Após as definições anteriores, foi avaliado a eficiência de cada processo individualmente e como um arranjo sequencial, no atendimento dos parâmetros desejados para o reuso deste efluente.

Baseado nos resultados encontrados e definições propostas ao longo do trabalho, foi feito uma análise da viabilidade econômica considerando o investimento necessário para a recuperação parcial ou total do efluente gerado.

4.1 Caracterização prévia do efluente

Os resultados da caracterização prévia das amostras de efluente foram devidamente analisados para que se obtivesse uma base de valores para embasar a escolha do processo de regeneração do efluente a ser utilizado. A tabela 10 mostra os valores dos parâmetros encontrados no efluente bruto dos tanques 4 e 8 após a sua caracterização.

4.1.1 Tanque 4

As principais características físico-químicas do efluente do tanque 4 são:

- a) O nível de saturação do tanque quatro é mais elevado que o tanque oito. Este fato se explica perfeitamente pois os critérios de exigência a qual o tanque 4 é submetido, por ser o primeiro tanque de enxágue após os estágios de desengraxe, é bem maior devido ao arraste de contaminantes como óleo, graxa, limalhas e óxidos provenientes dos processos que antecedem ao tratamento superficial;
- b) Os componentes que se mostraram fora dos parâmetros de aceitação conforme demonstrado na tabela 10 foram: teor de magnésio, teor de potássio, teor de silício, teor

de sódio, teor de zinco, teor de ferro, condutividade, pH e surfactantes. Os demais componentes avaliados estão abaixo do nível de saturação especificado;

- c) O resultado do parâmetro de Óleos e Graxas, apesar de estar abaixo de 10 mg/l, deverá ser reavaliado. O valor deste parâmetro para o reuso do efluente deverá ser nulo, pois a presença de óleo no efluente afeta diretamente as resinas do deionizador;
- d) O efluente do tanque 4 se caracteriza por ser um efluente alcalino devido as características dos desengraxantes utilizados nos tanques anteriores a este.

4.1.2 Tanque 8

As principais características físico-químicas do efluente do tanque 8 são:

- a) Os componentes que ficaram fora dos parâmetros especificados conforme demonstrado na tabela 10 foram: teor de magnésio, teor de silício, teor de sódio, teor de zinco e teor de ferro. Os demais parâmetros se mantiveram dentro da faixa aceitável;
- b) O teor de ferro se mostrou ligeiramente acima dos valores especificados como referência para este estudo, devido a ação do conversor nanocerâmico que causa um princípio de oxidação nas peças em contato com o ar.
- c) Por ser um enxágue após o tanque do conversor nano, os valores de condutividade e pH ficaram dentro da faixa aceitável, podendo ser utilizado como enxágue nos tanques após o desengraxe.
- d) O efluente do tanque 8 se caracteriza por ser um efluente ácido devido as características do conversor nanocerâmico do tanque anterior a este.

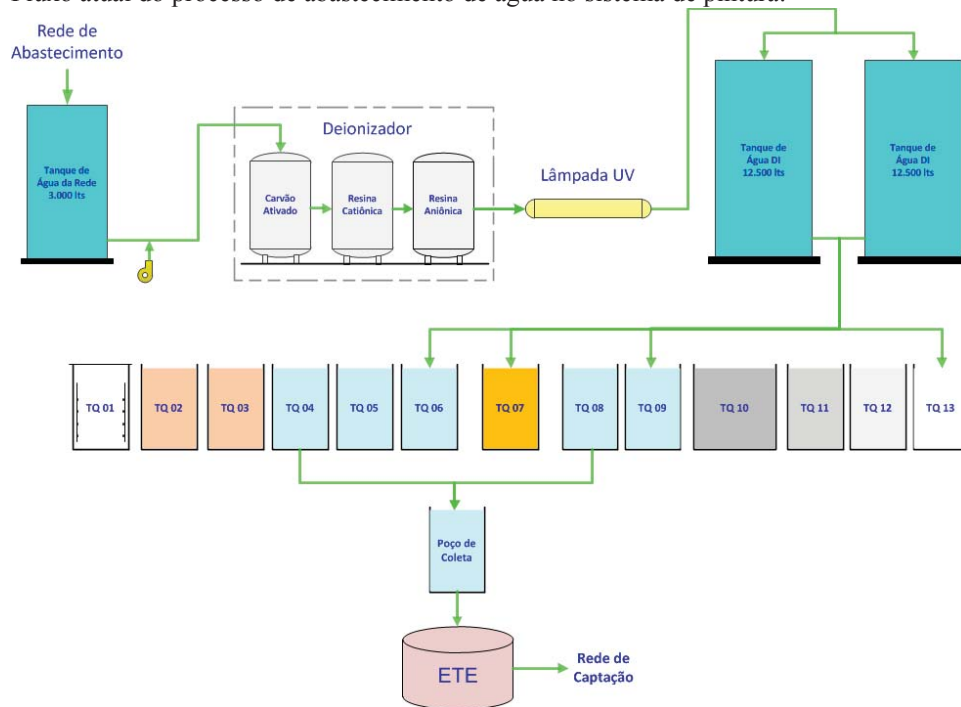
Tabela 10 - Valores encontrados dos parâmetros após a caracterização do efluente do tanque 4 e tanque 8

Parâmetros	UNIDADE	Limite de Quantificação	Características			
			TQ 4		TQ 8	
			Média	σ	Média	σ
Condutividade	$\mu\text{S/cm}$	50	104,71	38,33	8,95	2,72
Óleos e Graxas Mineral	mg/L	10	<10	0,000	<10	0,000
pH	--	5 - 7	9,35	0,54	6,05	0,78
Surfactantes	mg/L	0,06	2,378	0,724	0,059	0,004
Óleos e Graxas	mg/L	10	<10	0,000	<10	0,000
Magnésio	mg/Kg	0,010	0,124	0,092	0,048	0,015
Manganês	mg/L	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000
Molibdênio	mg/L	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000
Niquel	mg/L	0,050	0,050	0,000	0,050	0,000
Potássio	mg/L	0,500	19,060	6,619	0,462	0,037
Prata	mg/L	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000
Silício	mg/L	0,500	7,189	1,517	3,506	1,703
Sódio	mg/L	0,500	10,582	3,230	0,598	0,149
Telúrio	mg/L	0,005	0,005	0,000	0,005	0,000
Titânio	mg/L	0,050	0,050	0,000	0,050	0,000
Urânio Total	mg/L	0,005	0,005	0,000	0,005	0,000
Vanádio	mg/L	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000
Zinco	mg/L	0,010	0,021	0,009	0,017	0,016
Zircônio	mg/L	0,005	0,005	0,000	0,005	0,000
Alumínio	mg/L	0,050	0,050	0,000	0,050	0,000
Antimônio	mg/L	0,005	0,005	0,000	0,005	0,000
Arsênio	mg/L	0,005	0,005	0,000	0,005	0,000
Bário	mg/L	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000
Berílio	mg/L	0,005	0,005	0,000	0,005	0,000
Bismuto	mg/L	0,005	0,005	0,000	0,005	0,000
Boro	mg/L	0,050	0,050	0,000	0,050	0,000
Cádmio	mg/L	0,005	0,005	0,000	0,005	0,000
Cálcio	mg/L	0,500	0,500	0,000	0,500	0,000
Chumbo	mg/L	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000
Cobalto	mg/L	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000
Cobre	mg/L	0,050	0,050	0,000	0,050	0,000
Cromo	mg/L	0,010	0,010	0,000	0,010	0,000
Estrôncio	mg/L	0,005	0,005	0,000	0,005	0,000
Ferro	mg/L	0,050	0,201	0,216	0,496	0,149
Lítio	mg/L	0,050	0,050	0,000	0,050	0,000

σ = Desvio padrão

A água de rede, hoje utilizada para o abastecimento dos tanques de pré-tratamento, obrigatoriamente deve passar pelo deionizador que tem a função de retirar todos ou a maior parte dos sais contidos na água antes de ser bombeada para o processo. A figura 24 mostra o fluxo deste processo.

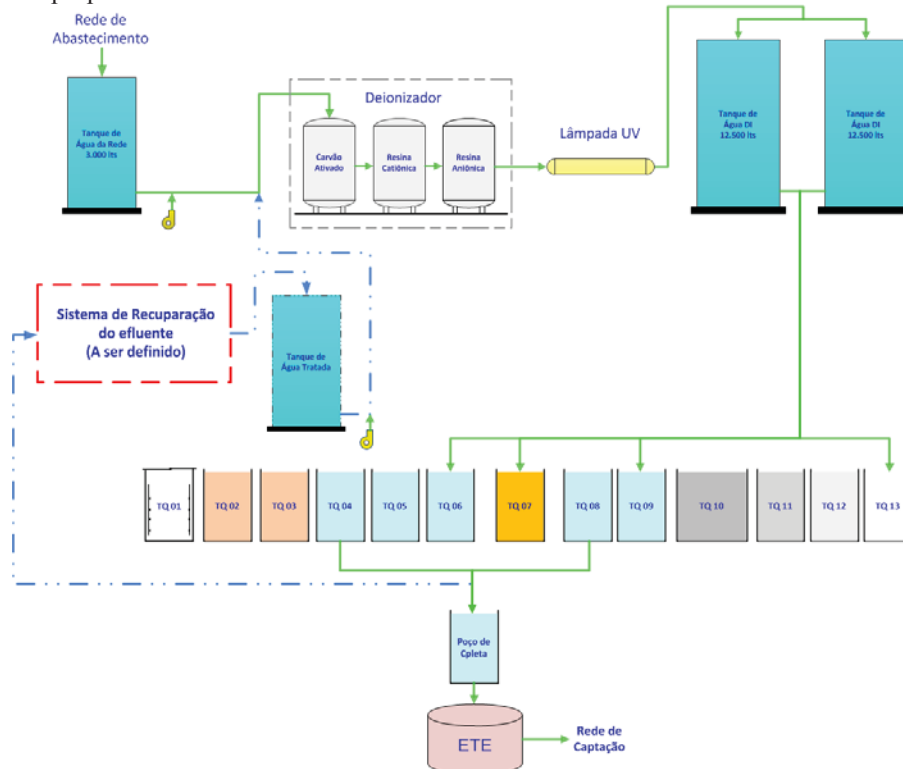
Figura 24 - Fluxo atual do processo de abastecimento de água no sistema de pintura.



Fonte: Autor

Foi definido como premissa do processo que, o efluente antes de retornar para o sistema, deveria antes passar pelo deionizador como forma de garantir a qualidade mínima desejada para o reúso do efluente. O fluxo deste processo é demonstrado na figura 25.

Figura 25 - Fluxo proposto com o sistema de reúso do efluente



Fonte: Autor

Este efluente não terá que atender as mesmas especificações pelas quais a água de rede está caracterizada, mas sim atender os padrões mínimos exigidos pelo qual o equipamento foi projetado. Desta forma, foi levantado junto ao fabricante do equipamento os parâmetros de referência que deverão ser controlados para que este efluente possa passar pelo deionizador antes de retornar para o sistema, onde o atendimento destes parâmetros é um pré-requisito para o processo uma vez que o não atendimento dos mesmos implicará na saturação prematura das resinas podendo causar danos irreversíveis as mesmas. A tabela 11 mostra os parâmetros definidos junto ao fornecedor do equipamento (Scientech Brasil).

Tabela 11 – Parâmetros de referência do efluente para uso no deionizador

Parâmetros	Unidade	Valor de referência
Condutividade	µS/cm	≤ 150
DBO	mg/l	≤ 80
DQO	mg/l	≤ 300
Dureza total	mg/l	≤ 500
pH	-	6,0 - 8,0
SS	mg/l	≤ 200
ST	mg/l	≤ 1.005
Surfactantes	mg/l	≤ 0,5
Turbidez	NTU	≤ 100
O&G totais	mg/l	Zero
Análise bacteriológica	UFC/ml	Zero

Fonte: Scientech Brasil

Baseado nesta informação, o efluente foi caracterizado em termos de: Condutividade, DBO, DQO, Dureza Total, pH, SS, ST, Surfactantes, Turbidez, O&G Totais e Bactérias. A tabela 12 mostra os valores encontrados da caracterização do efluente bruto proveniente do tanque 4, tanque 8 e da mistura dos dois tanques na proporção 50/50.

Tabela 12 – Caracterização do efluente dos tanques 4 (TQ 04), 8 (TQ08) e mistura dos dois (TQ 04-08)

Parâmetros	Unidade	Valor de referência	Características		
			TQ 04	TQ 08	TQ 04 - 08
Condutividade	µS/cm	≤ 150	184,0	6,6	82,2
DBO	mg/l	≤ 80	25,0	3,0	29,0
DQO	mg/l	≤ 300	72,0	9,0	86,0
Dureza total	mg/l	≤ 500	3,0	<1	2,0
pH	-	6,0 - 8,0	9,2	7,3	8,8
SS	mg/l	≤ 200	<11	<11	<11
ST	mg/l	≤ 1.005	181,0	61,0	78,0
Surfactantes	mg/l	≤ 0,5	2,4	0,2	0,9
Turbidez	NTU	≤ 100	23,3	3,2	6,1
O&G totais	mg/l	Zero	<10	Zero	<5
Análise bacteriológica	UFC/ml	Zero	10 ⁵	10 ²	10 ³

Fonte: Autor

Avaliando o resultado da caracterização do efluente gerado no tanque 4, 8 e a mistura dos dois tanques na proporção 50/50 mostrada na tabela 12 podemos dizer que:

- a) A condutividade do tanque quatro ficou acima do valor de referência. Apesar do valor ser baixo, o mesmo deverá ser ajustado para ficar dentro da faixa definida para este parâmetro.
- b) O efluente proveniente do tanque quatro mostrou teores de óleos e graxas totais acima de “zero”, podendo afetar as resinas do deionizador.
- c) O sistema possui separadores de óleo nos estágios anteriores, porém é possível que o óleo sobrenadante seja arrastado para o estágio posterior através do acúmulo de líquido nas peças com geometrias mais complexas. Para evitar ou minimizar este arraste, são previstos furos de processo com a finalidade de facilitar o escoamento do líquido das cavidades das peças, aliado a um tempo maior de escoamento após a saída da peça do tanque. Os furos de processo não tem função estrutural, porém são necessários para evitar ou diminuir a contaminação por arraste.
- d) Mesmo que o resultado encontrado de óleos e graxas no tanque 8 seja igual a “zero”, como mostrado na tabela 12, o processo deverá garantir que não seja arrastado para o deionizador qualquer quantidade de óleo ou graxa evitando assim uma redução significativa na vida útil das resinas do deionizador e até mesmo vindo a causar danos irreversíveis as mesmas.
- e) O pH encontrado no efluente do tanque quatro e da mistura dos tanques quatro e oito, estão acima do valor de referência devendo ser ajustados para a faixa desejada.
- f) O valor de surfactantes ficou fora da especificação no tanque quatro e na mistura dos tanques quatro e oito.
- g) A análise bacteriológica evidenciou a presença de bactérias no efluente do tanque 4 e 8. A presença de bactérias na água afeta a performance da coluna de resinas catiônica e aniônica e é extremamente prejudicial para o banho de e-coat.
- h) Os parâmetros encontrados no efluente do tanque 8 atendem os valores pré-determinados para o seu reuso. O único parâmetro que ficou fora da faixa de referência foi a quantidade de bactérias que deverá ser eliminado.

4.2 Sistema de tratamento dos efluentes dos banhos

Com base nos resultados da caracterização previa do efluente do tanque 4, 8 e da mistura dos tanques 4 e 8 na proporção 50/50 demonstrados no item anterior, iniciou-se então

os testes de coagulação/floculação, filtragem utilizando filtro bag e filtragem utilizando filtro de carvão ativado para embasar a escolha do processo ou conjunto de processos mais adequado a ser utilizado na recuperação deste efluente.

Foram submetidos aos processos de recuperação definidos neste estudo somente o efluente do tanque 4, por não atender aos parâmetros pré-definidos para o reuso deste efluente demonstrados na tabela 11 e o efluente proveniente da mistura dos tanques 4 e 8 para avaliarmos a viabilidade de se utilizar a mistura dos dois efluentes tratados no mesmo processo.

4.2.1 Coagulação/floculação (físico-químico)

A tabela 13 mostra os resultados das análises do efluente coletado do tanque 4 e da mistura dos tanques 4 e 8 na proporção 50/50, após o processo físico-químico.

Tabela 13 - Propriedades do efluente antes e após o tratamento físico-químico

Processo Físico-Químico						
Parâmetros	Unidade	Valor de referência (*)	Efluente Bruto		Efluente Tratado	
			TQ 04	TQ 04 - 08	TQ 04	TQ 04 - 08
Condutividade	µS/cm	≤ 150	184	82,2	76,2	1.387
DBO	mg/l	≤ 80	25	29	6,0	6,0
DQO	mg/l	≤ 300	72	86	19	19
Dureza total	mg/l	≤ 500	3,0	2,0	593	388
pH	-	6,0 - 8,0	9,2	8,8	6,5	6,6
SS	mg/l	≤ 200	<11	<11	<11	<11
ST	mg/l	≤ 1.005	181	78	1.251	922
Surfactantes	mg/l	≤ 0,5	2,4	0,9	<0,05	<0,05
Turbidez	NTU	≤ 100	23,3	6,1	2,4	2,3
O&G totais	mg/l	Zero	<10	<5	<10	<5
Análise bacteriológica	UFC/ml	Zero	10 ⁵	10 ³	10 ⁵	10 ⁴

Fonte: Autor

4.2.2 Filtração com filtro bag 1µm

A tabela 14 mostra os resultados das análises do efluente coletado do tanque 4 e da mistura dos tanques 4 e 8 na proporção 50/50, após a filtragem em filtro bag de 1µm.

Tabela 14 - Propriedades do efluente antes e após a filtração com filtro bag 1µm

Filtro Bag 1µm						
Parâmetros	Unidade	Valor de referência (*)	Efluente Bruto		Efluente Tratado	
			TQ 04	TQ 04 - 08	TQ 04	TQ 04 - 08
Condutividade	µS/cm	≤ 150	184	82,2	192,2	94,8
DBO	mg/l	≤ 80	25	29	22	12
DQO	mg/l	≤ 300	72	86	66	36
Dureza total	mg/l	≤ 500	3,0	2,0	<1	<1
pH	-	6,0 - 8,0	9,2	8,8	9,1	8,5
SS	mg/l	≤ 200	<11	<11	<11	<11
ST	mg/l	≤ 1.005	181	78	204	110
Surfactantes	mg/l	≤ 0,5	2,4	0,9	1,8	0,4
Turbidez	NTU	≤ 100	23,3	6,1	14,8	6,9
O&G totais	mg/l	Zero	<10	<5	<10	<5
Análise bacteriológica	UFC/ml	Zero	10 ⁵	10 ³	10 ⁴	10 ³

Fonte: Autor

4.2.3 Filtração com carvão ativado

A tabela 15 mostra os resultados das análises do efluente coletado do tanque 4 e da mistura do tanque 4 e 8 na proporção 50/50, após a filtração em filtro de carvão ativado.

Tabela 15 - Propriedades do efluente antes e após a filtração com carvão ativado

Filtro de Carvão Ativado						
Parâmetros	Unidade	Valor de referência (*)	Efluente Bruto		Efluente Tratado	
			TQ 04	TQ 04 - 08	TQ 04	TQ 04 - 08
Condutividade	µS/cm	≤ 150	184	82,2	276	106,1
DBO	mg/l	≤ 80	25	29	14	6,0
DQO	mg/l	≤ 300	72	86	42	19
Dureza total	mg/l	≤ 500	3,0	2,0	4,0	3,0
pH	-	6,0 - 8,0	9,2	8,8	8,6	7,9
SS	mg/l	≤ 200	<11	<11	<11	12
ST	mg/l	≤ 1.005	181	78	244	143
Surfactantes	mg/l	≤ 0,5	2,4	0,9	0,3	0,1
Turbidez	NTU	≤ 100	23,3	6,1	10,5	4,6
O&G totais	mg/l	Zero	<10	<5	<10	<5
Análise bacteriológica	UFC/ml	Zero	10 ⁵	10 ³	10 ⁵	10 ⁴

Fonte: Autor

4.2.4 Físico-químico + filtro bag 1µm

A tabela 16 mostra os resultados das análises do efluente coletado dos tanques 4, 8 e mistura dos dois na proporção 50/50, após o processo físico-químico e filtração em filtro bag.

Tabela 16 - Efluente antes e após o processo físico-químico + filtro bag

Processo Físico-Químico + Filtro bag 1µm						
Parâmetros	Unidade	Valor de referência (*)	Efluente Bruto		Efluente Tratado	
			TQ 04	TQ 04 - 08	TQ 04	TQ 04 - 08
Condutividade	µS/cm	≤ 150	184	82,2	76,2	1.435
DBO	mg/l	≤ 80	25	29	7,0	3,0
DQO	mg/l	≤ 300	72	86	22	10
Dureza total	mg/l	≤ 500	3,0	2,0	547	394
pH	-	6,0 - 8,0	9,2	8,8	6,5	5,5
SS	mg/l	≤ 200	<11	<11	<11	<11
ST	mg/l	≤ 1.005	181	78	1.984	864
Surfactantes	mg/l	≤ 0,5	2,4	0,9	0,1	0,1
Turbidez	NTU	≤ 100	23,3	6,1	2,3	1,6
O&G totais	mg/l	Zero	<10	<5	<10	<5
Análise bacteriológica	UFC/ml	Zero	10 ⁵	10 ³	10 ⁴	10 ³

Fonte: Autor

4.2.5 Físico-químico + filtro carvão ativado

A tabela 17 mostra os resultados das análises do efluente coletado dos tanques 04, 08 e a mistura dos dois na proporção 50/50, após o processo físico-químico e filtragem em filtro de carvão ativado.

Tabela 17 - Efluente antes e após processo físico-químico + filtro de carvão ativado

Processo Físico-Químico + Filtro com Carvão Ativado						
Parâmetros	Unidade	Valor de referência (*)	Efluente Bruto		Efluente Tratado	
			TQ 04	TQ 04 - 08	TQ 04	TQ 04 - 08
Condutividade	µS/cm	≤ 150	184	82,2	76,2	1.373
DBO	mg/l	≤ 80	25	29	6,0	4,0
DQO	mg/l	≤ 300	72	86	19	12
Dureza total	mg/l	≤ 500	3,0	2,0	466	402
pH	-	6,0 - 8,0	9,2	8,8	6,8	6,9
SS	mg/l	≤ 200	<11	<11	<11	<11
ST	mg/l	≤ 1.005	181	78	1.221	842
Surfactantes	mg/l	≤ 0,5	2,4	0,9	<0,05	<0,05
Turbidez	NTU	≤ 100	23,3	6,1	3,2	3,2
O&G totais	mg/l	Zero	<10	<5	<10	<5
Análise bacteriológica	UFC/ml	Zero	10 ⁵	10 ³	10 ⁵	10 ⁴

Fonte: Autor

4.2.6 Físico-químico + filtro bag 1µm + filtro carvão ativado

A tabela 18 mostra os resultados das análises do efluente coletado dos tanques 04, 08 e a mistura dos dois na proporção 50/50, após o processo físico-químico e filtragem em filtro bag 1µm e filtragem em carvão ativado.

Tabela 18 - Efluente antes e após físico-químico + filtro bag + filtro carvão ativado

Processo Físico-Químico + Filtro Bag + Filtro com Carvão Ativado						
Parâmetros	Unidade	Valor de referência (*)	Efluente Bruto		Efluente Tratado	
			TQ 04	TQ 04 - 08	TQ 04	TQ 04 - 08
Condutividade	µS/cm	≤ 150	184	82,2	76,2	1.375
DBO	mg/l	≤ 80	25	29	4,0	4,0
DQO	mg/l	≤ 300	72	86	13	12
Dureza total	mg/l	≤ 500	3,0	2,0	457	353
pH	-	6,0 - 8,0	9,2	8,8	7,1	7,3
SS	mg/l	≤ 200	<11	<11	<11	<11
ST	mg/l	≤ 1.005	181	78	987	890
Surfactantes	mg/l	≤ 0,5	2,4	0,9	0,1	<0,05
Turbidez	NTU	≤ 100	23,3	6,1	4,0	2,3
O&G totais	mg/l	Zero	<10	<5	<10	<5
Análise bacteriológica	UFC/ml	Zero	10 ⁵	10 ³	10 ⁴	10 ³

Fonte: Autor

4.2.7 Caracterização dos efluentes antes e após os diferentes sistemas de tratamento

A tabela 19 mostra os resultados desta caracterização considerando o efluente bruto do tanque 4 e o efluente da mistura do tanque 4 com o tanque 8, bem como a caracterização destes efluentes após serem submetidos aos processos pré-definidos para a sua recuperação.

Tabela 19 – Caracterização do efluente do tanque 4 e da mistura dos tanques 4-8

Parâmetro	Condutividade		DBO		DQO		Dureza total		pH		SS	
	< 150 (µS/cm)		≤ 80 (mg/l)		≤ 300 (mg/l)		≤ 500 (mg/l)		6 - 8		≤ 200 (mg/l)	
	Tanques	04	04 - 08	04	04 - 08	04	04 - 08	04	04 - 08	04	04 - 08	04
Efluente bruto	184	82,2	25	29	72	86	3	2	9,15	8,81	<11	<11
Físico-químico	76,2	1387	6	6	19	19	593	388	6,51	6,57	<11	<11
Filtro bag 1 µm	192,2	94,8	22	12	66	36	<1	<1	9,07	8,5	<11	<11
Carvão ativado	276	106,1	14	6	42	19	4	3	8,62	7,89	<11	12
Físico-químico + filtro bag	76,2	1435	7	3	22	10	547	394	6,5	5,5	<11	<11
Físico químico + carvão ativado	76,2	1373	6	4	19	12	466	402	6,83	6,85	<11	<11
Físico químico + filtro bag + carvão ativado	76,2	1375	4	4	13	12	457	353	7,08	7,3	<11	<11

Tabela 19 (continuação)

Parâmetro Valor referência Tanques	ST		Surfactantes		Turbidez		O&G totais		Bactérias	
	≤ 1.005 (mg/l)		≤ 0,5 (mg/l)		≤ 100 (NTU)		Zero (mg/l)		Zero (UFC/ml)	
	04	04 - 08	04	04 - 08	04	04 - 08	04	04 - 08	04	04 - 08
Efluente bruto	181	78	2,41	0,93	23,3	6,1	<10	<5	10 ⁵	10 ⁴
Físico-químico	1251	922	<0,05	<0,05	2,4	2,3	<10	<5	10 ⁵	10 ⁴
Filtro bag 1 µm	204	110	1,788	0,392	14,8	6,9	<10	<5	10 ⁴	10 ³
Carvão ativado	244	143	0,333	0,131	10,5	4,6	<10	<5	10 ⁵	10 ⁴
Físico-químico + filtro bag	1050	864	0,126	0,078	2,3	1,6	<10	<5	10 ⁴	10 ³
Físico químico + carvão ativado	1121	842	<0,05	<0,05	3,2	3,2	<10	<5	10 ⁵	10 ⁴
Físico químico + filtro bag + carvão ativado	987	890	0,06	<0,05	4	2,3	<10	<5	10 ⁴	10 ³

Fonte: Autor

Após análise dos resultados encontrados, verificou-se que os valores de DBO, DQO, SS e Turbidez não sofreram alterações após os tratamentos ficando dentro dos valores recomendados mostrados na tabela 11 para o reuso do efluente. Desta forma estes parâmetros foram dados como aceitos e não considerados no estudo daqui para a frente.

Foram considerados somente os parâmetros que se mostraram fora dos valores aceitáveis para o reuso do efluente. Entre eles temos: Condutividade, Dureza Total, pH, ST, Surfactantes, O&G Totais e Bactérias conforme demonstrado na tabela 19.

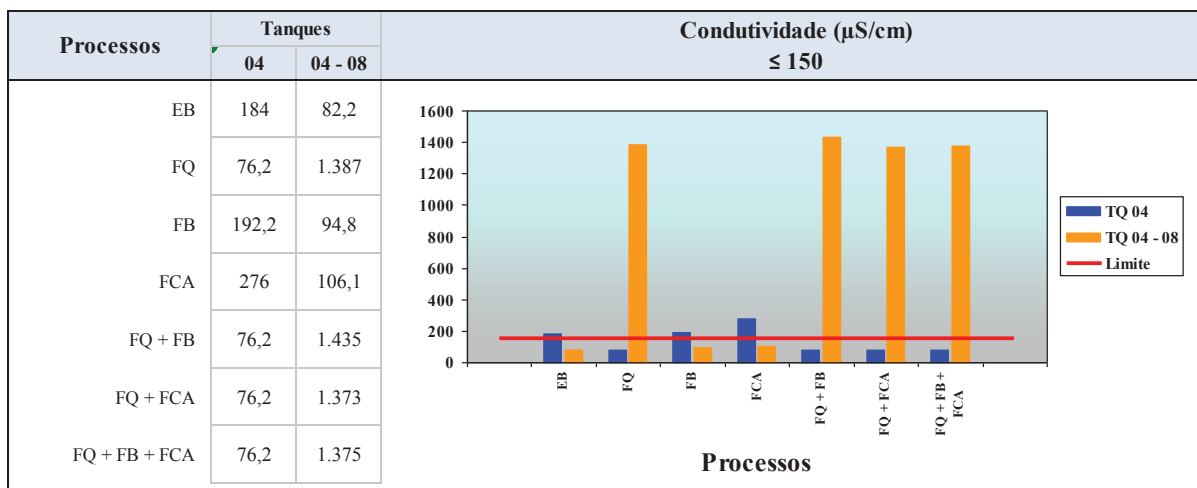
4.3 Análise individualizada do processo de recuperação do efluente

Os valores de Condutividade, Dureza Total, pH, Sólidos Totais, Surfactantes, O&G Totais e Bactérias do efluente bruto e após os tratamentos definidos, foram avaliados individualmente para a definição do melhor processo de tratamento para reuso dos efluentes tratados dos tanques 4 e mistura dos tanques 4 e 8.

4.3.1 Condutividade

Conforme mostrado na tabela 20, os resultados dos processos de tratamento utilizados no tanque 4, com exceção da utilização do filtro bag e filtro de carvão ativado usados separadamente, se mostraram satisfatórios para esta aplicação.

Tabela 20 –Condutividade



Fonte: Autor

O aumento do parâmetro considerando somente a filtração em filtro bag individualmente, se explica pois o filtro utilizado poderia conter algumas impurezas provenientes de fabricação do material ou da própria embalagem, que possivelmente numa produção seriada e repetitiva mostraria um resultado melhor.

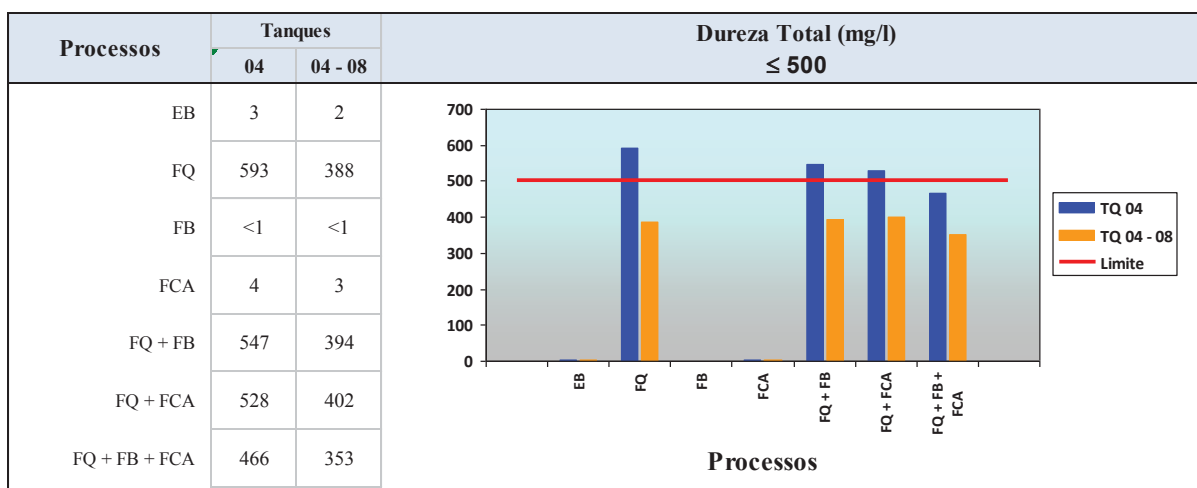
Já no caso da filtração em carvão ativado individualmente, o aumento se deu devido ao carvão ativado ser solúvel, poderia desprender uma coloração escura no início do processo podendo vir a aumentar o valor da condutividade. Para este caso, o ideal é realizar uma pré-lavagem no carvão utilizando água deionizada para eliminar o desprendimento de solúveis no carvão.

O valor do parâmetro de condutividade da mistura do efluente do tanque 4 e 8, após a realização do tratamento físico químico, teve um aumento significativo. Uma das razões do aumento da condutividade neste efluente é devido ao tipo de tratamento utilizado (coagulação, precipitação de metal pesado, floculação e polieletrólito), diferente do tratamento usado para o efluente do tanque 4 (coagulação, floculação e polieletrólito). A adição dos produtos para a estabilização do pH, conforme mostrado na tabela 8, pode ter elevado o valor deste parâmetro.

4.3.2 Dureza Total

Avaliando os resultados da dureza total mostrados na tabela 21, podemos concluir que a mistura do efluente dos dois tanques (4 e 8), se mostrou dentro dos valores definidos para este parâmetro ($\leq 500 \text{ mg/l}$) em todos os processos utilizados.

Tabela 21 – Dureza Total



Fonte: Autor

Podemos também afirmar que os valores encontrados nos dois cenários (tanque 4 e mistura dos tanques 4-8), foram afetados pelo processo físico-químico que elevou e muito o valor da dureza total comparado com o efluente bruto. O BIO TRAT (Hidróxido de Cálcio) utilizado no auxílio da floculação de metais em suspensão e no aumento do pH, pode ter contribuído para o aumento da dureza total no efluente da mistura do tanque 4 e 8.

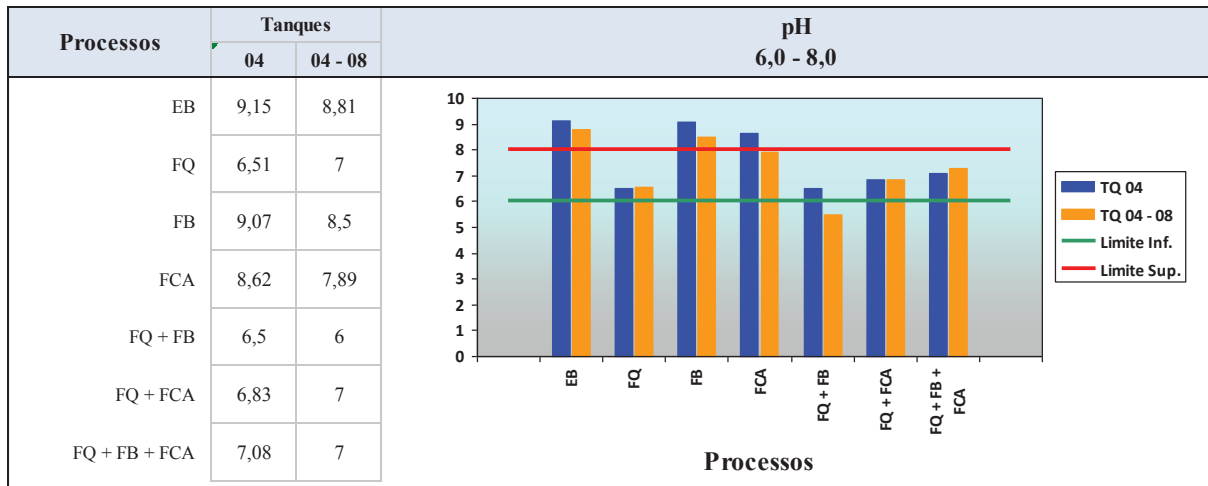
Baseado nas informações fornecidas pelo fabricante do equipamento (Scientech Brasil), os processo onde o valor da dureza total ficou fora da especificação como: processo físico-químico (593 mg/l); físico-químico seguido de filtragem com filtro bag (547 mg/l) e físico-químico seguido de filtragem em carvão ativado (528 mg/l), não são preocupantes para esta aplicação, porém um aumento descontrolado do mesmo irá saturar as resinas do deionizador, fazendo com que o período entre as regenerações sejam menores.

4.3.3 pH

O processo físico-químico se mostrou eficiente em todas os processo sugeridos para o reuso do efluente conforme mostrado na tabela 22. Este fato é explicado devido a ação dos neutralizadores (alcalinos e ácidos), que foram usados para a parametrização deste parâmetro. Já os processos utilizando o filtro bag e o filtro de carvão ativado individualmente, apesar de reduzirem um pouco o valor do pH, não se mostraram eficientes para este processo.

A faixa de valores definidos para o pH (6 – 8) foi baseado no valor especificado pelo fornecedor de tinta (BASF) para o atendimento do tanque do e-coat (5,4 – 5,8). O DEIONIZADOR, apesar de diminuir os valores de pH, a faixa de atuação é muito pequena. Desta forma é de suma importância ter o controle deste parâmetro na água que é submetida a este processo.

Tabela 22 – pH

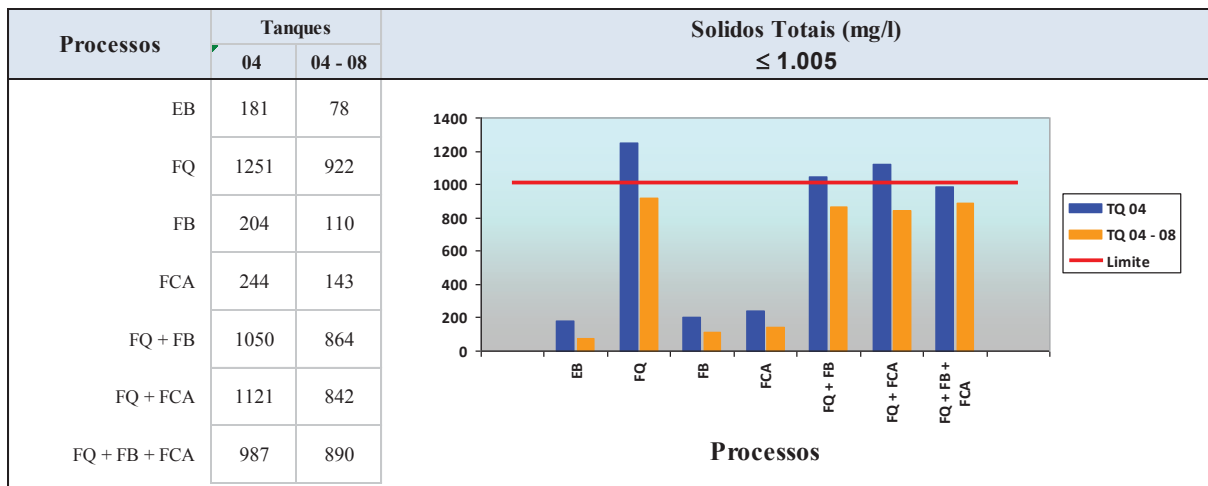


Fonte: Autor

4.3.4 Sólidos totais (ST)

O resultado obtido nos parâmetros de sólidos totais demonstrados na tabela 23, assim como o de condutividade, é afetado pela adição de aditivos no efluente durante o processo físico-químico.

Tabela 23 – Sólidos Totais



Fonte: Autor

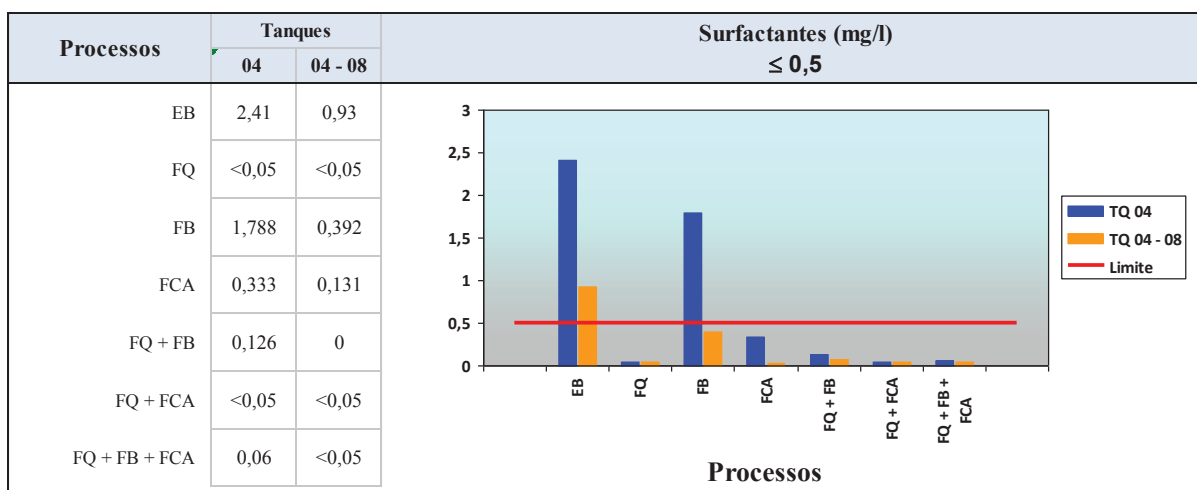
A otimização das dosagens ou até mesmo a troca do tipo dos coagulantes utilizados no processo físico-químico, poderiam alterar este resultado. Outro fator que poderia ter influenciado seria o tempo de decantação. Uma alternativa para melhorar a performance seria a utilização de um decantador com base cônica, onde poderíamos ter uma deposição mais consistente dos sólidos.

O aumento pouco significativo dos sólidos totais na filtragem com filtro bag e filtro de carvão ativado comparado com o efluente bruto, assim como no aumento da condutividade, possivelmente se deu em virtude da presença de impurezas provenientes do processo. A não retenção de sólidos deve-se também a granulometria do carvão e do filtro bag não ser adequada para o nível de contaminantes deste processo.

4.3.5 Surfactantes

Analisando os resultados da tabela 24, podemos concluir que o parâmetro de surfactantes teve uma redução em todos os processos determinado para o tratamento do efluente, destacando os processos envolvendo o tratamento físico-químico.

Tabela 24 –Surfactantes



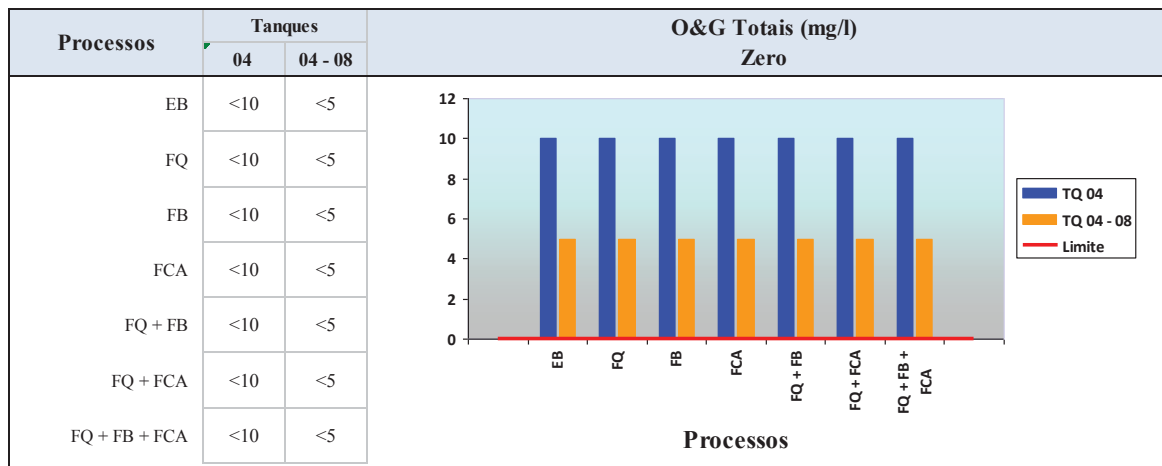
Fonte: Autor

A redução pouco significativa do parâmetro utilizando a filtragem com filtro bag, se deu devido aos compostos detectados como surfactantes serem solúveis passando por qualquer tipo de filtro. Já no caso do filtro com carvão ativado, que atua como um processo de adsorção, a redução bastante significativa.

4.3.6 Óleos e Graxas

Conforme mostrado na tabela 25 o teor de óleos & graxas não teve variações significativas nos diferentes processos de tratamento utilizados, mas sim mostrou uma variação do valor dos parâmetros comparando o efluente do tanque 4 com o efluente da mistura do tanque 4 e 8.

Tabela 25 – Óleos e Graxas



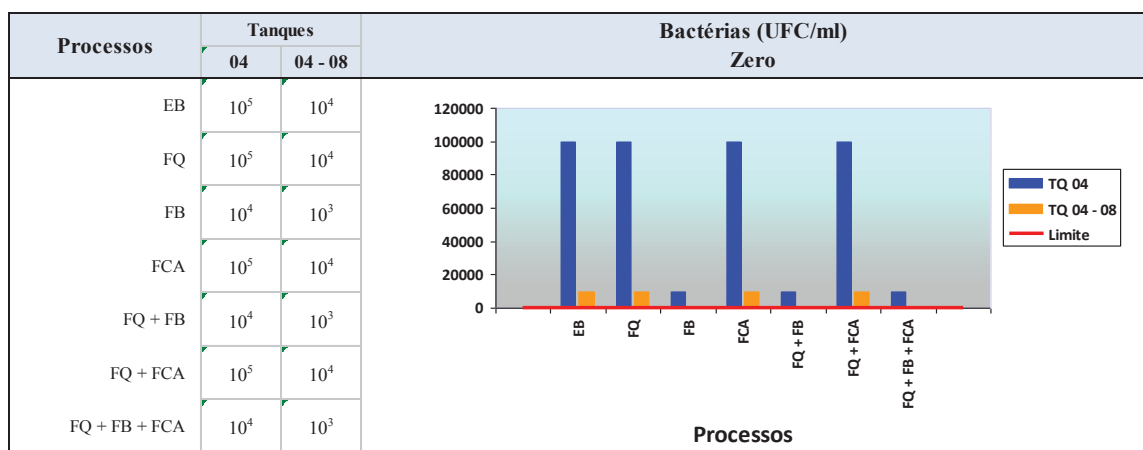
Fonte: Autor

As concentrações mostraram valores absolutos (tanque 4 <10 mg/l e mistura do tanque 4-8 <5 mg/l), podendo ter diferenças também entre os processo utilizados para cada efluente. Apesar de serem considerados muito baixos, a contaminação de óleo no deionizador, por menor que seja, irá afetar a performance das resinas fazendo com que o processo de regeneração seja feito com uma frequência maior. Para evitar que este óleo por menor quantidade que seja atinja o deionizador, sugere-se aqui a instalação de um filtro para óleos na entrada do equipamento como alternativa para garantir a qualidade deste efluente após tratado nos processos definidos.

4.3.7 Contaminação microbiológica

Conforme demonstrado na tabela 26, a análise bacteriológica feita em laboratório mostra a presença de colônias de bactérias tanto no efluente do tanque quatro como no efluente proveniente da mistura do tanque quatro com o tanque oito.

Tabela 26 – Bactérias



Fonte: Autor

4.3.8 Definição do processo de tratamento para reuso

Após a avaliação dos resultados obtidos em cada processo definido para a recuperação do efluente do tanque quatro e o efluente proveniente da mistura do tanque quatro com o tanque oito, podemos afirmar que o efluente proveniente da mistura do tanque quatro com o tanque oito não apresentou a redução esperada dos parâmetros que justificaria fazer a recuperação do efluente nestas condições.

Os parâmetros que ficaram fora da faixa especificada foram: Condutividade e sólidos totais fortemente influenciados pelo tratamento físico-químico, pH, óleos & graxas e bactérias que apresentaram valores fora da faixa especificada em todos os processos utilizados.

Desta forma justifica-se o tratamento em separado, pois o efluente do tanque oito, que já se encontra em condições de reuso, representa 61% do efluente gerado no processo. Nas atuais condições em que se encontra, o efluente do tanque oito será bombeado de volta para o sistema formando um circuito fechado conforme mostrado na figura 25.

Após a utilização dos diferentes processos de recuperação do efluente, alguns parâmetros do tanque quatro ficaram fora da faixa de referência conforme mostrado na tabela 27. Desta forma para escolher o processo mais adequado para o reuso deste efluente, foi levado em consideração a combinação de processos que atenderam o maior número de parâmetros e que atenderam os parâmetros considerados mais críticos para o processo como: a condutividade, pH, óleos & graxas e bactérias.

Tabela 27 – Parâmetros tanque quatro após tratamento

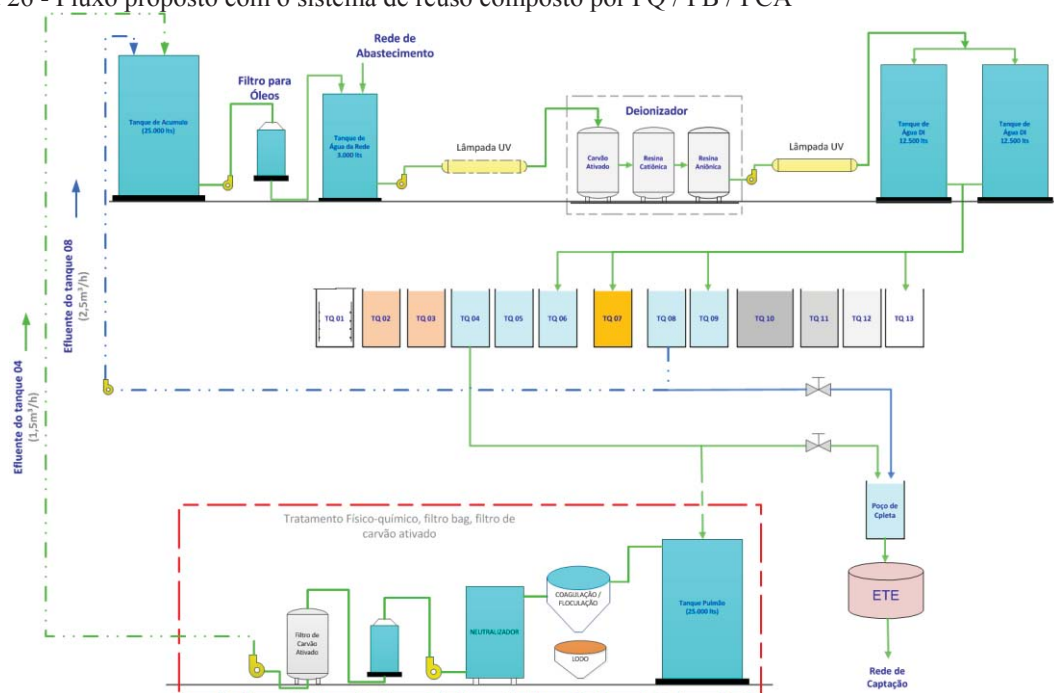
Parâmetro	Condutividade	Dureza total	pH	ST	Surfactantes	O&G totais	Bactérias
Valor referência	< 150 (µS/cm)	≤ 500 (mg/l)	6 - 8	≤ 1.005 (mg/l)	≤ 0,5 (mg/l)	Zero (mg/l)	Zero (UFC/ml)
Efluente bruto	184	3	9,15	181	2,41	<10	10 ⁵
Físico-químico	76,2	593	6,51	2151	<0,05	<10	10 ⁵
Filtro bag 1 µm	192,2	<1	9,07	204	1,788	<10	10 ⁴
Carvão ativado	276	4	8,62	244	0,333	<10	10 ⁵
Físico-químico + filtro bag	76,2	547	6,5	1050	0,126	<10	10 ⁴
Físico químico + carvão ativado	76,2	528	6,83	1121	<0,05	<10	10 ⁵
Físico químico + filtro bag + carvão ativado	76,2	466	7,08	987	0,06	<10	10 ⁴

Fonte: Próprio autor

Baseado nestas informações, o processo adotado para o tratamento do efluente proveniente do tanque quatro foi o processo físico-químico seguido de filtragem com filtro

bag e filtro de carvão ativado. Adicionalmente a este processo, foi necessário a adição de um filtro para óleos uma vez que no tanque quatro o parâmetro de óleos & graxas ficou diferente de zero e um sistema ultravioleta para a eliminação de bactérias. O fluxo proposto para o processo em estudo é mostrados na figura 26.

Figura 26 - Fluxo proposto com o sistema de reuso composto por FQ / FB / FCA



Fonte: Autor

4.4 Viabilidade econômica do projeto

O efluente do tanque quatro que gera uma média de 566m³/mês, deverá passar pelo sistema de reuso antes de retornar para o processo. Já o efluente do tanque oito, que gera uma média de 884m³/mês, poderá ser utilizado diretamente no processo.

Com base nos valores de consumo de água no tanque quatro e tanque oito mostrados na tabela 29, aplicando a média do valor gasto para 1m³ de água de rede mais o seu tratamento praticados no período de Jan/2015 a Mai/2015 conforme mostrado na tabela 28, fez-se uma estimativa do custo deste processo.

Tabela 28 - Valores médios praticados nos meses de Jan/15-Mai/15

Custo da Água (R\$/m ³)	Custo ETE (R\$/m ³)	Custo total (R\$/m ³)
6,49	8,39	14,88

Fonte: Autor

Para a finalização da análise de retorno financeiro do investimento proposto neste trabalho, foi considerado também o investimento necessário para a aquisição do sistema de reuso do efluente. A relação dos equipamentos necessários para compor o sistema, com o seus valores são mostrados na tabela 32. O output desta análise é o tempo necessário expresso em meses, para a amortização do investimento.

Como afirmado neste estudo, o efluente do tanque oito que se encontra em condições de reuso de acordo com o resultado das análises, será reutilizado no sistema sem a necessidade de ser recuperado e o investimento necessário para esta adequação gera em torno de R\$ 60.736.

Assim sendo, e para termos uma visão clara da viabilidade técnico-econômica de cada processo, optou-se por desenvolver o cálculo do retorno financeiro individualmente.

4.4.1 Consumo de água utilizada no processo (Jan/2015 a Mai/2015)

A tabela 29 mostra o consumo de água utilizada no processo monitorado durante os meses de Jan/2015 a Mai/2015, sendo o tanque 4 responsável por 566 m³ e o tanque 8 responsável por 884 m³ de um total de 1.449 m³ utilizado durante o período.

Tabela 29 - Consumo de água do tanque 4 e tanque 8 nos meses de Jan/15-Mai/15

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Média *	- 10% **	Anual
TQ-04	691	634	691	589	538	628	566	6.788
TQ-08	1.080	990	1.080	920	840	982	884	10.606
Consumo (m ³)	1.771	1.624	1.771	1.509	1.378	1.610	1.449	17.393

* Valores de consumo de água da rede retirado da leitura do hidrometro na entrada do sistema de pintura.

** Considerado 10 % de perda por evaporação e arraste

Fonte: Autor

4.4.2 Custo mensal com água + tratamento (Jan/2015 a Mai/2015)

A tabela 30 mostra o valor gasto com a aquisição da água para suprir o processo, acrescido do custo para o tratamento do efluente. Com a implementação de um sistema de reuso para este efluente, teremos uma economia média mensal de R\$ 21.568,55.

Tabela 30 – Média mensal do custo com a água e tratamento (Jan/15-Mai/15)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Média	- 10% **	
TQ-04	10.285	9.428	10.285	8.761	7.999	9.352	8.417	100.999
TQ-08	16.070	14.731	16.070	13.690	12.499	14.612	13.151	157.811
Custo (R\$)	26.355	24.159	26.355	22.451	20.499	R\$ 23.964	R\$ 21.568	258.811

** Considerado 10 % de perda por evaporação e arraste

Fonte: Autor

4.4.3 Estimativa de custo mensal com o tratamento físico-químico

A tabela 31 mostra uma estimativa de custo mensal por m³ do processo de tratamento físico-químico utilizado para as tecnologias avaliadas para o reuso. A quantidade de material utilizada de cada produto foi baseada no tratamento de um litro de efluente. Este valor foi estendido proporcionalmente para o tratamento do efluente médio gerado no processo de pintura, no período de Jan/2015 a Mai/2015.

Tabela 31 – Estimativa de custo mensal do tratamento físico-químico

Efluente tratado (litro)	Consumo (litros)				Custo (R\$/l)				Custo total (R\$/mês)
	PAK	BIO Ativo II	AS	BIO Floc	PAK	BIO Ativo II	AS	BIO Floc	
1	0,0010	0,0050	0,0010	0,0012	0,1288	0,5100	0,1152	0,1575	R\$ 1.874,53
628.480	635	3.142	640	739	82	1.603	74	116	

Fonte: Autor

4.4.4 Estimativa de custo para a aquisição do sistema de reuso

A tabela 32 mostra uma estimativa de custo para a implementação do sistema de reuso definido. A divisão dos valores foi realizada de tal forma que possamos identificar o investimento necessário para recuperar o efluente de cada tanque independentemente.

Tabela 32 – Investimento necessário para a implementação do sistema de reuso

Item	Descrição	Aplicação (reuso)	Qtde	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
1	Tanque de Recepção	Tq 04	1	2.950	2.950
2	Bomba para sucção e recalque do efluente bruto	Tq 04	2	11.250	22.500
3	Tanque de mistura rápida	Tq 04	1	894	894
4	Misturador com Hélice	Tq 04	1	3.877	3.877
5	Tanque de mistura lenta	Tq 04	1	1.040	1.040
6	Agitador lento	Tq 04	1	5.687	5.687
7	Decantador primário	Tq 04	1	34.800	34.800
8	Ponte raspadora de lodo	Tq 04	1	14.500	14.500
9	Filtro de carvão ativado	Tq 04	1	75.123	75.123
10	Filtro de óleo	Tq 08	1	14.960	14.960
11	Tanque de acúmulo	Tq 04	1	13.776	13.776
12	Tanque de acúmulo	Tq 08	1	13.776	13.776
13	Bomba de lodo Helicoidal	Tq 04	1	8.840	8.840
14	Conjunto filtro bag	Tq 04	1	15.000	15.000
15	Conjunto lâmpada UV	Tq 04 - 08	1	22.000	22.000
16	Instalações / Tubulações	Tq 04	1	20.000	20.000
17	Instalações / Tubulações	Tq 08	1	10.000	10.000
					R\$ 218.987
					R\$ 60.736
Total		TQ 4-8			R\$ 279.723,00

Fonte: Autor

4.4.5 Retorno financeiro

A tabela 33 mostra o resumo do cálculo do retorno financeiro considerando a implementação do sistema de recuperação do efluente gerado no tanque 4 juntamente com a reutilização do efluente do tanque 8. As tabelas 34 e 35 mostram o resumo do cálculo do retorno financeiro considerando os dois cenários separadamente.

Tabela 33 – Planilha de avaliação do retorno financeiro (Tanque 4 e 8)

Estimativa de retorno financeiro (Sistema de Reuso Tanque 4 e 8)	
A. Investimento do sistema para o reuso do efluente	R\$ 279.723
B. Economia mensal	R\$ 21.568
C. Custo mensal do tratamento físico-químico	R\$ 1.875
D. Economia mensal (líquido) → B-C	R\$ 19.693
E. Retorno financeiro (meses) → A/D	14

Fonte: Autor

Tabela 34 – Planilha de avaliação do retorno financeiro (Tanque 4)

Estimativa de retorno financeiro (Sistema de Reuso Tanque 4)	
A. Investimento do sistema para o reuso do efluente	R\$ 218.987
B. Economia mensal (TQ 4)	R\$ 8.417
C. Custo mensal do tratamento físico-químico	R\$ 1.875
D. Economia mensal (líquido) → B-C	R\$ 6.542
E. Retorno financeiro (meses) → A/D	33

Fonte: Autor

Tabela 35 – Planilha de avaliação do retorno financeiro (Tanque 8)

Estimativa de retorno financeiro (Sistema de Reuso Tanque 8)	
A. Investimento do sistema de reuso	R\$ 60.736
B. Economia mensal (TQ 8)	R\$ 13.151
C. Custo mensal do tratamento físico-químico	R\$ 0
D. Economia mensal (líquido) → B-C	R\$ 13.151
E. Retorno financeiro (meses) → A/D	5

Fonte: Autor

Baseado na estimativa de retorno financeiro resultante da análise feita para o reuso do efluente do tanque 4 e 8 (14 meses) mostrado na tabela 33, o projeto se mostrou atrativo no

ponto de vista empresarial, pois o tempo de retorno financeiro ficou abaixo do adotado pelas empresas que gira em torno de 18 meses.

Analisando o tempo de retorno financeiro considerando somente o investimento para a recuperação do efluente do tanque 4 (33 meses) mostrado na tabela 34, não se mostrou viável levando em conta um retorno financeiro a curto prazo. Porém, do ponto de vista da sustentabilidade, a viabilidade traz outros enfoques que visam definir parâmetros que vão além do retorno financeiro do projeto. Neste contexto se enquadram os projetos sociais e ambientais onde o retorno financeiro se dá ao longo prazo. Desta forma considerando o fator sustentabilidade onde traria para a empresa um retorno a longo prazo, sim, este investimento é de extrema importância.

Analisando o resultado do retorno financeiro para o reuso do efluente do tanque oito mostrado na tabela 35, o investimento se torna viável pois a amortização do valor aplicado é alcançado num período muito curto (5 meses).

Diante deste cenário e a atual situação da economia brasileira, a qual mantém os níveis de produção mensal da companhia mais baixos, sugere-se que neste primeiro momento seja reutilizado somente o efluente proveniente do tanque oito, por não necessitar de tratamento para o seu reuso e ter um investimento baixo. Desta forma, o investimento inicial seria somente na aquisição e instalação da tubulação que liga a saída do tanque oito com a entrada do sistema de água DI, a aquisição de um tanque de acumulo, uma bomba e a compra do sistema para a eliminação de bactérias perfazendo um custo total de R\$ 60.736.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados após a caracterização do efluente bruto dos tanques quatro, oito e a mistura dos dois tanques, evidenciou-se que os parâmetros do efluente do tanque oito se encontram dentro da faixa aceitável para o seu reuso neste processo de pintura, necessitando somente do controle bacteriológico que será solucionado através da instalação de um sistema de desinfecção ultravioleta na entrada do deionizador. Desta forma, a retroalimentação deste efluente no sistema tornou-se uma premissa do projeto. Isso significa uma redução anual de 10.606m³ no consumo de água utilizada no processo de pintura, representando um ganho anual de R\$ 157.811, considerando também o custo de tratamento deste efluente.

Como proposta para a recuperação do efluente do tanque quatro, foi definido um tratamento sequencial composto por coagulação/floculação (físico-químico), seguido de filtração por filtro bag, filtro por carvão ativado e adicionalmente um filtro para óleos. A eficiência deste processo permitiu obter um efluente final com características de reutilização no próprio sistema de pintura, onde todos os parâmetros ficaram abaixo dos limites máximos definidos para estes usos conforme as referências adotadas. Da mesma forma que o efluente do tanque oito, o efluente tratado do tanque quatro também passará pelo sistema de ultravioleta para obtermos o controle bacteriológico do efluente.

O reuso do efluente do tanque quatro (tratado) e do tanque oito (efluente bruto) levou a uma redução anual de consumo de água no processo de 90% da água utilizada no sistema de pintura, que equivale a 17.393m³ de água e uma redução no custo da empresa na ordem de R\$ 258.811, já considerando o custo de tratamento deste efluente.

Após realizada a análise técnico-econômica sugere-se que primeiramente seja reutilizado o efluente do tanque oito, por ser um processo rápido e não necessitar de grandes investimentos. O cálculo do retorno financeiro para este investimento gira em torno de 5 meses.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAFATI. *Coatings care*. São Paulo, 2004.

ANDREOLI, Cleverson V. *Mananciais de Abastecimento: Planejamento e Gestão*. Curitiba-PR, 2003.

BOCK, M. *GOTS*. Set, 678. 1997, 587.

BRASIL. **Lei nº 6.938**, de 31 de Agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formação e aplicação. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília. 1981.

BRATBY, J. *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment*. London: IWA Publishing, 2006.

BOSSARDI, Kelly. *Nanotecnologia Aplicada a Tratamentos Superficiais para o Aço Carbono 1020 com Alternativa ao Fosfato de Zinco*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Porto Alegre, 2007.

CABRAL & MANHEIMER. *Galvanização: sua aplicação em equipamento elétrico*. Rio de Janeiro, 1979.

CETESB. *Microbiologia de Lodos Ativados*. Séries Manuais, 1992.

CONSEMA. **Resolução CONSEMA nº 128**. Secretaria do Meio Ambiente, Estado do Rio Grande do Sul, 2006, 9p.

CROOK, J. *Water reclamation and reuse criteria*. In: ASANO, Takashi. *Water quality management library* – Volume 10/Wastewater reclamation and reuse. Pennsylvania, USA: Technomic Publication, 1998.

CHERYAN, M. *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook*, pp. 71-112. Lancaster, United States: Technomic Publishing Company. 1998.

DE ASSIS, R. S. S.; Remoção de *Microcystis Aeruginosa* e *Microcistinas* por flotação por ar dissolvido – estudo em escala de bancada utilizando sulfato de alumínio e cloreto férrico como coagulantes. UB, Brasília, DF, Setembro, 2006.

DRONIOU, P, et al. *Nanoceramic-based Conversion Coating. Focus on Powder Coatings*. n. 3, p. 5 - 6, 2006.

DRONIOU, P, et al. *Nanoceramic-based Conversion Coating. ecological and economic benefits position process as a viable alternative to phosphating systems. Organic Finishing*. V. 103, n. 12, p. 41-43, 2005.

FIESP/CIESP. *Conservação e reuso de água – Manual de orientações para o setor empresarial*. São Paulo: FIESP/CIESP, 2004 v. 1.

GUIDOLIN, J. C. *Reuso de efluentes*. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente, 2000.

HARSCH, M.; FINKBEINER, F.; PIWOWARCZYK, D.; SAUER, K. *Automotive Engineering Int.* Fev. 1999, 211.

IDHAO (NATIONAL ENGINEERING LABORATORY). *Waste treatment technologies*. EGG-WMO-10244, V.13. Idhao Falls, 1992.

KAWANURA, S. *Specific water treatment processes*. In: KAWAMURA, S. *Integrated design of water treatment facilities*. New York: John Wiley & Sons, 1991. p. 488-567.

KIANG, Y.H.; METRY, A.A. *Hazardous waste treatment processing technology*. Michigan: Ann Arbor Science, 1982.

LAVRADOR, J. *Contribuição para o entendimento do reuso planejado de água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil*. São Paulo,

LEITE, A.M.; *Reúso de água na gestão integrada de recursos hídricos*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Brasília, 2003.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3 ed. Campinas: Editora Átomo, 2005. 493 p.

LOBO, L.P. *Análise comparativa dos processos de filtração em membranas e clarificação físico-química para reúso de água na indústria*, 2004. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual do Rio de Janeiro.

MANCUSO, Pedro Sanches; SANTOS, Hilton Felício. *Reúso de Água*. São Paulo 2003.

MATRA. *Rev. Surf.* 2770, Maio. 1997, 41.

MARTIN, E. J.; JOHNSON, J.H. *Hazardous waste management engineering*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1987.

METCALF; EDDY, INC. *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. 4th. Ed. – New York: Mc-Graw-Hill, 1819 p, 2003.

MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. *Água na indústria: uso racional e reúso*. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MIERZWA, José Carlos. Artigo Técnico, *Tratamento de Água para Abastecimento Público por Ultrafiltração*. São Paulo, 2008.

MINC, Carlos. *Ecologia e Cidadania / Carlos Minc*. - 2. ed. – São Paulo : Moderna, 2005. pag. 49/70.

MOTA, S. *Preservação e conservação de recursos hídricos*. 2ª edição. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

MONTGOMERY, J. M. Facilities design. In: *Water treatment principles and design*. New York: John Wiley & Sons, 1985. p. 491-580.

NALCO Chemical Company. *The Nalco water handbook*. 2. ed. Editor: Frank N. Kemmer. New York: McGraw-Hill, 1988.

- NUNES, L. P.; LOBO, A. C. O. *Pintura industrial na proteção anticorrosiva*. Rio de Janeiro, 1995.
- NUNES, N. V. *Pintura industrial aplicada*. Rio de Janeiro, 1990.
- NUNES, J. A. *Tratamento físico-químico de Águas Residuárias Industriais*. 4 ed. Aracaju. Editora J. Andrade Ltda, 2004.
- PONTE, H.A.; PONTE, M.J.J.S.; MAUL, A. M. *Apostila de Pintura Automotiva*. Curitiba, 2000.
- RODRIGUES, R.S. *As dimensões legais e Institucionais de reúso de água no Brasil: Proposta de regulamentação do reúso no Brasil*, 2005.
- RICHTER, A. Carlos. *Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento*. São Paulo, 2009.
- RICHTER, A. Carlos; NETTO, José de Azevedo. *Tratamento de Água*. São Paulo, 1991.
- SANKARA NARAYANAN, T.S.N. *Influence of Various Factors on Phosphatability – An Overview*. Metal Finishing. 86-90. Junho, 1996.
- SANTOS FILHO, Davino Francisco dos. *Tecnologia de Tratamento de Água - Água para Indústria*. 3ª Edição. NOBEL - São Paulo-SP, 1989.
- SETTI, A. A; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. 2ª edição. ANEEL. ANA. Brasília - Distrito Federal, 2001.
- SNOEYINK, V. L. Adsorption of organic compounds. In: PONTIUS, F. W. (Ed.) *Water quality and treatment - a handbook of community water supplies*. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1988.
- SOARES, J.L. *Remoção de corantes têxteis por adsorção em carvão mineral ativado com alto teor de cinzas*. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eng^a Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.
- STREIBERG, H. J.; DÖSSEL, K. F. *Automotive Paints and Coatings*. 2ª ed. Alemanha, WILEY-VCH, 2008. 493 p.
- TELLES, Dirceu D'alkmin; COSTA, Regina Helena Guimarães. *Reuso da Água - Conceitos, Teorias e Práticas*. 1ª Edição. Editora BLUCHER - São Paulo-SP, 2007.
- TESTA, A. *Camadas de conversão nanocerâmicas*. Tratamento de Superfície n. 130: v. 25, P. 38 – 43, 2005.
- TCHOBANOGLIOUS, G. Wastewater treatment. In: *Water resources handbook*. New York: McGraw-Hill, 1996.
- TUCCI, C.E.M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. de M. *Gestão da Água no Brasil*. Brasília – UNESCO, 2001.

VITERBO JUNIOR, Ênio. *Sistema Integrado de Gestão Ambiental*. Aquariana - São Paulo-SP, 1998.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1.).

ZINATO, M.C.; OLIVEIRA, C. *Água e Saneamento Básico*. POSEAD, Universidade Gama Filho. Brasília-DF, 2008 (apostila).

ZINATO, M.C.; OLIVEIRA, C. *Esgoto e Saneamento Básico*. POSEAD, Universidade Gama Filho. Brasília-DF, 2008 (apostila).