



**REDUÇÃO DE CUSTOS E AUMENTO DA EFICIÊNCIA NO TRATAMENTO
DE EFLUENTES INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO
SEGUIMENTO DE EMBALAGENS DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS -
PIM**

Priscila Bentes Damasceno

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientadores: José Antônio da Silva Souza

Edinaldo José de Sousa Cunha

Belém

Setembro de 2021

**REDUÇÃO DE CUSTOS E AUMENTO DA EFICIÊNCIA NO TRATAMENTO
DE EFLUENTES INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO
SEGUIMENTO DE EMBALAGENS DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS -
PIM**

Priscila Bentes Damasceno

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

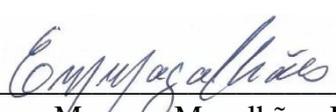
Examinada por:



Prof. José Antônio da Silva Souza, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Orientador)



Prof. Edinaldo José De Sousa Cunha, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Coorientador)



Prof. Edílson Marques Magalhães, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Membro)



Prof. Sandro Breval Santiago, Dr.
(UFAM-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

SETEMBRO DE 2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Damasceno, Priscila Bentes, 1996-
Redução de custos e aumento da eficiência no tratamento
de efluentes industriais: Estudo de caso em uma empresa do
seguimento de embalagens do Polo Industrial de Manaus - PIM
/ Priscila Bentes Damasceno - 2021.

Orientadores: José Antônio da Silva Souza
Edinaldo José de Sousa Cunha

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal
do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Processos, 2021.

1. Tratamento de efluentes 2. Lodo 3. Resíduo sólidos I.
Título

CDD 670.42

Dedico este trabalho a minha mãe, que com seu amor e sabedoria, foi e sempre será, um importante guia na minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus e minha família por me concederem a oportunidade de ampliar meus conhecimentos, dando-me forças para superar as dificuldades durante esta caminhada, me animando nos momentos difíceis, reestabelecendo em meu pensamento e com perseverança vencendo as dificuldades.

À Universidade Federal do Pará – UFPA e ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM por proporcionarem o Curso de Mestrado na cidade de Manaus-AM contribuindo com essa iniciativa para o desenvolvimento pessoal e intelectual daqueles que tem interesse em ampliar seus conhecimentos na pesquisa e obterem uma maior qualificação profissional.

Ao Prof. Dr. José Antônio Silva Souza, pela orientação e contribuição para este programa de mestrado.

Ao Prof. Dr. Edinaldo José De Sousa Cunha, pela coorientação, paciência apoio e aprendizado.

Aos professores e colegas do PPGEP, em especial aos professores: Dr. Edílson Marques Magalhaes e Dr. Sandro Breval Santiago que muito colaboraram para a elaboração desta dissertação.

À Empresa objeto de estudo deste trabalho, por ter cedido espaço para as intervenções propostas, bem como os dados históricos da ETEI, pois foram de suma importância utilizada nesse estudo.

Ao Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – INPA, por permitir o uso do Laboratório Temático Institucional Química de Produtos Naturais – LTQPN.

À minha mãe Jozina Aparecida por me ter dado força e me incentivado para participar do PPGEP.

Enfim, agradeço a todos os amigos e familiares que direta ou indiretamente contribuíram com carinho e atenção durante a construção deste trabalho.

Muito obrigada!

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

**O REDUÇÃO DE CUSTOS E AUMENTO DA EFICIÊNCIA NO
TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM
UMA EMPRESA DO SEGUIMENTO DE EMBALAGENS DO POLO
INDUSTRIAL DE MANAUS - PIM**

Priscila Bentes Damasceno

Setembro/2021

Orientadores: José Antônio da Silva Souza

Edinaldo José de Sousa Cunha

Área de Concentração: Engenharia de Processos

As indústrias de embalagens de papelão ondulado representam uma alta capacidade poluidora por utilizar tintas em seus processos de fabricação convencional. Por sua vez, o tratamento do efluente gerado nessas indústrias deve ser eficiente, de modo a promover a remoção dos poluentes constituintes das tintas, evitando que estes cheguem aos corpos receptores. Pois, quando incorporados às águas de abastecimento ofereceram riscos à saúde. Afim de mitigar estes riscos o presente trabalho se propõe a identificar por meio de um diagnóstico aumentar a eficiência do sistema atual adotado pela estação de tratamento de efluente industrial (ETEI) de uma indústria de papel ondulado, com propósito de aumentar a qualidade do efluente final, bem como redução do custo inerente ao descarte do resíduo sólido gerado pelo tratamento (lodo). Foram realizadas intervenções de ordem física estrutural, como instalação de escadas de acesso e ampliação e manutenção de tanques, coletas na entrada e saída do sistema para análises das características físico-químicas do efluente bruto e tratado. Com implantação da proposta de otimização do sistema, teve-se aumento na velocidade e capacidade diária de tratamento, o que permitiu diminuir o acúmulo de efluente bruto em reservatório. As análises físico-químicas do efluente tratado evidenciaram que todos os parâmetros estudados inclusive de DBO e DQO estabelecido legalmente foram atingidos com o

tratamento, sendo possível atender às resoluções do CONAMA 357/05, Art. 34 e CONAMA 430/11. Além disso houve em média, diminuição de 71% para cerca de 10% da umidade final do lodo e conseqüentemente significativa redução com os custos de descarte.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

**COSTS REDUCTION AND INCREASED EFFICIENCY IN INDUSTRIAL
EFFLUENTS TREATMENT. CASE STUDY AT A PACKAGING COMPANY
FROM THE INDUSTRIAL POLE OF MANAUS**

Priscila Bentes Damasceno

September/2021

Advisors: José Antônio da Silva Souza
Edinaldo José de Sousa Cunha

Research Area: Process Engineering

The corrugated cardboard packaging industries represent a high polluting capacity by using inks in their conventional manufacturing processes. In turn, the treatment of the effluent generated in these industries must be efficient, in order to promote the removal of the pollutants that make up the paints, preventing them from reaching the receiving bodies. Because, when incorporated into the water supply, they offered health risks. In order to mitigate these risks, the present work proposes to identify, through a diagnosis, to increase the efficiency of the current system adopted by the industrial effluent treatment station (ETEI) of a corrugated paper industry, with the purpose of increasing the quality of the final effluent, as well as reducing the cost inherent to the disposal of solid waste generated by the treatment (sludge). Structural physical interventions were carried out, such as the installation of access stairs and expansion and maintenance of tanks, collections at the inlet and outlet of the system for analysis of the physical-chemical characteristics of the raw and treated effluent. With the implementation of the system optimization proposal, there was an increase in the speed and daily treatment capacity, which allowed reducing the accumulation of raw effluent in the reservoir. The physical-chemical analyzes of the treated effluent showed that all the parameters studied, including the legally established DBO and DQO, were achieved with the treatment, making it possible to comply with the CONAMA resolutions 357/05, Art. 34

and CONAMA 430/11. In addition, there was, on average, a decrease from 71% to about 10% of the final sludge moisture and, consequently, a significant reduction in disposal costs.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	2
1.2 - OBJETIVOS.....	5
1.2.1 - Objetivo geral.....	5
1.2.2 - Objetivos específicos.....	5
1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	5
1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	6
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....	7
2.1 - USO DE ÁGUA NO SETOR INDUSTRIAL.....	7
2.2 - GERAÇÃO DE EFLUENTE INDUSTRIAL.....	8
2.3 - O TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	9
2.3.1 - Coagulação química.....	9
2.3.1.1 - Fatores que influenciam a coagulação.....	10
2.3.1.2 - Os efeitos do pH.....	10
2.3.2 - Geração de lodo nas ETEI's.....	11
2.3.2.1 - Características de lodos de ETEI.....	12
2.3.2.2 - Remoção de água.....	12
2.3.3 - Disposição final de lodo de ETEI.....	13
2.4 - O RESÍDUO SÓLIDO (LODO DE ETEI).....	13
2.5 - CONSTRUÇÃO E ADEQUAÇÃO CIVIL EM ETEI'S.....	15
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1 - ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO SEGUIMENTO DE EMBALAGENS DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS – PIM.....	17
3.2 - METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	17
3.2.1 - Diagnóstico das deficiências estruturais e ineficiências das etapas de tratamento.....	17
3.2.2 - Implementação e implantação de projeto de intervenção.....	19
3.2.2.1 - Revisão dos procedimentos de operação.....	19
3.2.2.2 - Concentração e dosagem ótima dos agentes químicos.....	19
3.2.2.3 - Aquisição de filtração por filtro prensa.....	20
3.2.2.4 - Modificações estruturais.....	20

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1 - DIAGNÓSTICO DAS DEFICIÊNCIAS ESTRUTURAIS E INEFICIÊNCIAS DAS ETAPAS DE TRATAMENTO.....	21
4.2 - RESULTADOS DAS MELHORIAS DAS PROPOSTAS DE ADEQUAÇÃO DA ETE DIAGNOSTICADA.....	27
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	35
5.1 - CONCLUSÕES.....	35
5.2 - SUGESTÕES.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Classificação dos resíduos sólidos.....	14
Figura 3.1	Visão aérea da localização da ETEI na área de estudo.....	17
Figura 3.2	Fluxograma do processo fabril.....	18
Figura 4.1	Visão geral da ETEI, diagnóstico inicial.....	21
Figura 4.2	Tanque de recebimento de efluente bruto.....	22
Figura 4.3	Transferência do efluente bruto por mangueiras.....	22
Figura 4.4	Tanque de filtração de efluente.....	23
Figura 4.5	Escadas de acesso deterioradas.....	23
Figura 4.6	Lodo de tinta gerado no sistema inicial.....	24
Figura 4.7	Efluente tratado (diagnóstico inicial).....	24
Figura 4.8	Fluxograma do processo da fabricação de tinta com destaque aos processos incorporados no tratamento.....	26
Figura 4.9	Tanque de efluente bruto, reformado e instalado com os itens de segurança.....	27
Figura 4.10	Reator instalado.....	28
Figura 4.11	Esteira de filtração mecânica.....	29
Figura 4.12	Processo de remoção de umidade do lodo.....	29
Figura 4.13	Eficiência de remoção de umidade em massa de lodo.....	30
Figura 4.14	Custo anual com a operação e destinação do lodo de tinta.....	30
Figura 4.15	Tanques de armazenamento dos produtos químicos.....	31
Figura 4.16	Tanques de descarte final.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	Resultados das amostras coletadas agrupados em médias anuais.....	32
------------	--	----

NOMENCLATURA

ABNT	AGÊNCIA BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
Al	ALUMÍNIO
CaCO ₃	CARBONATO DE CÁLCIO
MgCO ₃	CARBONATO DE MAGNÉSIO
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
VOC	COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS
TiO ₂	DIÓXIDO DE TITÂNIO
ETEI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS
Fe	FERRO
°C	GRAU CELSIUS
µm	MICROMETRO
PbO	ÓXIDO DE CHUMBO
ZnO	ÓXIDO DE ZINCO
pH	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO
PNRS	POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS
Q	QUARTZO
Sb ₂ O ₃	TRIÓXIDO DE ANTIMÔNIO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Atualmente como a demanda demográfica em crescimento desordenada e o crescimento industrial e tecnológico disparando em todos os sentidos e formas, os despejos domésticos e industriais dos mais diversos segmentos tornaram-se cada vez mais frequentes, trazendo para a nossa realidade a poluição hídrica, em especial nas indústrias de tintas (GIORDANO, 2004).

As tintas são mistura de compostos, que ao serem aplicadas sobre uma superfície forma uma película utilizada tanto para proteção como para imprimir ideias em forma de artes (MELLO e SUAREZ, 2012). Na tinta há diferentes compostos com funções específicas, dentre elas está o *binder* (SILVA, 2011), que tem a finalidade de proteger a área impressa. Outros compostos presentes na tinta são: os corantes e pigmentos (com a finalidade de gerar a cor na tinta, sendo que há uma grande diferença entre eles em sua solubilidade, enquanto os pigmentos são compostos insolúveis, os corantes são compostos solúveis), as cargas (que dão características específicas a tinta), os aditivos (usados para conservante durante sua estocagem, e os catalisadores utilizados para acelerar e reduzir o tempo para a formação do filma) e os solventes (facilita a aplicação da tinta ao baixar sua viscosidade do material) (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Os primeiros relatos sobre a utilização de tinta estão associados à pintura em paredes rochas, conhecidas ou comumente chamadas de pinturas rupestres (ARNT, 2002). Essa era uma técnica utilizada por sociedades nômades não se sabendo bem o porquê do objetivo, podendo ser muito provavelmente uma forma de expressão artística. Um dos primeiros relatos sobre o uso das tintas como proteção artificial foi evidenciada pelos povos fenícios, que a usavam para proteger usas embarcações de madeiras (ARNT, 2002). O tempo nos mostra que cada vez mais a tinta é utilizada como proteção de superfícies, sendo que as atuais indústrias de tintas estão voltadas para o mercado destinado a arte, ou seja, proteger e embelezar.

Com o aprimoramento das técnicas de desenvolvimento industrial, os processos se tornaram agressivos em relação ao uso de compostos químicos (ROCHA *et al.*, 2009).

Muito do que se conhece hoje como técnicas de produção de pigmentos, tintas e vernizes está associada à revolução industrial, sendo assim, com a evolução tecnológica

no século XX, os conhecimentos, métodos e técnicas acerca do processo de fabricação de pigmentos, tintas e vernizes se evoluíram sem parar até se chegar as tintas à base de água (SOUZA, 2015).

As indústrias de tintas, que no início utilizavam um processo artesanal e com uso apenas de corantes naturais, hoje dispõem de inúmeros corantes sintéticos que não são biodegradáveis, dificultando o tratamento dos efluentes gerados, mas essas aplicações são decorrentes do próprio mercado consumidor que está exigindo embalagens com impressões mais intensas, sofisticadas e resistentes (HAMMES, 2004).

O volume utilização de água no processo industrial de impressão de embalagens de papelão ondulado é muito representativo (CASTANHO, 2006); a palavra reutilizar é pouco colocada em prática, não se veem processos com reutilização de água tratada, ainda que se deva considerar o processo extremamente complexo de manufatura de embalagens deste segmento (NICOLETTI, 2002).

O papelão ondulado precisa ser analisado com muito cuidado devido às suas peculiaridades. Trata-se de um processo de manufatura considerado “*Commodities*” (baixo valor agregado de seus produtos e necessidade de grande escala de produção) que rejeita ao máximo a utilização de celulose fibra longa na fabricação de seus papéis, em razão da necessária importação desta matéria-prima, substituindo-a pela fabricação de papéis reciclados locais (custo mais barato), mas que obriga as fábricas a conviverem com um percentual de refugo consideravelmente maior em sua produção, menor resistência mecânica nos produtos fabricados, maior absorção de umidade e de consumo das próprias tintas, em um processo que não permite “Zero Defeitos”, tendo em contrapartida excessiva exigência de qualidade por seus clientes habituais.

1.1 - MOTIVAÇÃO

Atualmente uma das maiores preocupações das empresas e indústrias de tinta são os impactos que seus processos podem gerar no meio ambiente. O crescimento industrial gera problemas ambientais decorrentes da eliminação dos rejeitos tóxicos, provenientes de subprodutos gerados de um processo (GOLDEMBERG e LUCON, 2007; JIMENEZ, 2011). Para alguns autores (FARIAS e FÁVARO, 2011; LENARDÃO *et al.*, 2003) um dos assuntos mais importantes em controle de poluição é a eliminação de produtos tóxicos, que tem levado cientistas e pesquisadores a buscar novas técnicas e ferramentas afim de minimizar ou mitigar a toxicidade dos efluentes

sólidos, líquidos e gasosos formados, sempre observando o que determinam as regulamentações e legislações voltadas à proteção ambiental.

O processo de fabricação e impressão de embalagens de papelão ondulado tem sido bastante questionado quanto aos cuidados referentes aos resíduos gerados, que podem ser produzidos das mais diversas formas, tanto dos insumos utilizados, matéria-prima, embalagens dos produtos químicos utilizados, e em destaque o bem natural mais valioso a água (GALDIANO, 2006). Em geral, os mais preocupantes são as emissões de efluentes líquidos e os resíduos sólidos (lodo de tinta).

A maior fonte de geração de efluentes líquidos em uma indústria de impressão de embalagens está na lavagem das máquinas de impressão, ou seja, em todo o setup de máquina, há necessidade de ser realizar uma lavagem de todo o sistema de impressão da máquina, e também no clichê (chapa gravada de fotopolímero, usadas para impressão de textos e imagens) (GALLON *et al.*, 2008; SCHENINI, 1999; WEBER *et al.*, 2010B).

As legislações brasileiras (CONAMA BRASIL, 2005; CONSTITUIÇÃO BRASIL, 2011) são uma importante ferramenta para o controle a poluição dos corpos receptores por lançamento de efluentes líquidos, tanto para os órgãos ambientais quanto para o poluidor privado e públicos. As tendências mundiais têm apresentado restrições de padrões bem rígidas, diante disto, os órgãos ambientais tem que lidar com legislações que se baseiam em parâmetros internacionais e as pressões por outro lado dos que poluem para se ter uma legislação mais flexível, (ACSELRAD *et al.*, 2014).

Independente da característica da matéria-prima, da água utilizada e do processo, os poluentes presentes em um efluente estão diretamente associados a perdas no processo pelo consumo de água (HESPANHOL, 2008). Como resultado tem-se: produtividade baixa, refugo alto, grande consumo de tintas, elevada geração de efluentes industriais, baixa rentabilidade e conseqüentemente falta de condições de investimentos no setor.

Os custos com tratamento de efluentes líquidos têm sido considerados como “um investimento sem retorno” pelas indústrias, muito embora se saiba que isso trará ao meio ambiente um melhor equilíbrio e uma considerável melhora de vida aos seres aquáticos, onde esses despejos são lançados (FREIRE *et al.*, 2000; MAZZER e CAVALCANTI, 2004).

Para se entender um efluente é preciso caracterizá-lo, tanto física, química, quanto biologicamente, para compreender seus pontos mais críticos e a quantidade de

carga poluidora presente, para então se aplicar o processo de tratamento mais apropriado.

O presente trabalho tem por objetivo aplicar por meio de um diagnóstico inicial a possibilidade de elevar a eficiência de uma estação de tratamento de efluente, melhorando sua estrutura, agregando novas técnicas de tratamento melhorando a qualidade do efluente final conforme as resoluções vigentes, bem como por consequência redução de custo inerente ao descarte do lodo gerado.

De acordo com a legislação do Ministério do Meio Ambiente, Lei nº 12.305/10, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (NETO e MOREIRA, 2010) o descarte ou armazenamento de resíduos perigosos é um problema sério para a saúde pública e para o meio ambiente. A norma prevê a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos. A mesma também contém ferramentas e instrumentos importantes que permitem o avanço necessário ao país no enfrentamento dos problemas sociais, econômicos e ambientais, em virtude do manejo inapropriado dos resíduos sólidos (MAIELLO *et al.*, 2018).

Além dos riscos eminentes de intoxicação de quem manuseia e de contaminação do ambiente por conta das tintas do processo de produção das embalagens de papelão ondulado, há grande necessidade de se considerar a perspectiva futura/presente da escassez de água. A constante redução dos recursos hídricos bem como volumes disponíveis para cada habitante e a degradação de sua qualidade são aspectos que configuram esse quadro de escassez: quantidade e qualidade.

A indústria de embalagens de papelão ondulado, por exemplo, ao utilizar tintas aos processos de tratamento convencionais, representa alta capacidade poluidora. Após passarem pelo tratamento de efluentes ineficiente quanto a remoção dos poluentes os corantes azoicos, constituintes dessas tintas, chegam aos corpos receptores e, quando incorporados às águas de abastecimento, oferecem risco de saúde à população (WEBER *et al.*, 2010A).

A Legislação Ambiental estabelece que os despejos industriais devem ser tratados para que as suas características físico-químicas dos efluentes estejam de conforme os padrões estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) no. 357, de 2006 (NO, 1999).

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Objetivo geral

Otimizar processo de tratamento de efluente líquido, por meio de modificações estruturais, procedimentos de operação, produtos químicos e agregação de técnicas de tratamento, em uma ETEI da indústria de embalagens de papel ondulado.

1.2.2 - Objetivos específicos

- Implementar intervenções de ordem física estrutural e operacional que promovam adequações para fluxo de entrada da ETEI em média 15m³/dia.
- Elevar o desempenho da ETEI com utilização de produtos químicos e agregação de técnicas que proporcionem melhora na qualidade do efluente final sendo possível atender às resoluções do CONAMA 357/05, Art. 34 e CONAMA 430/11.
- Reduzir umidade final para no mínimo 20% em média do lodo gerado na ETEI, através de aquisição de filtro-prensa.

1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

Verificando-se a necessidade de se reduzir os impactos ambientais gerados pelos resíduos sólidos produzidos pelas estações de tratamento de efluentes no Polo Industrial de Manaus percebe-se que é necessário desenvolver técnicas para destinação final adequada e tratamento do lodo. Para isso acredita-se que as ETEI's das empresas devem se adequar buscando soluções a problemática dos resíduos sólidos, uma vez que é preciso rever os modelos de consumo e produção, adotando leis que visam resgatar os resíduos na origem, procurando a reutilização ou reciclagem. Assim sendo, será necessário buscar parcerias, principalmente com empresas do polo ceramista nas proximidades.

É buscando respostas para as questões que definem os objetivos desse trabalho, pois procura-se evidenciar a importância de minimizar e/ou mitigar os impactos ambientais gerados por resíduos sólidos, em especial o lodo, nos processos de tratamento de efluentes industriais, visto que o descarte incorreto desse resíduo ameaça

igarapés, rios e lençóis freáticos, e até mesmo o aterro sanitário municipal. A presente pesquisa estará embasada em uma série de normas e legislação, tendo a Lei Nº 12.305/2010 como marco principal, que por sua vez, trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No **Capítulo 1**, apresenta-se a Introdução, problema, a justificativa da dissertação, os objetivos, a contribuição e relevância da pesquisa, a delimitação do tema e o escopo da dissertação.

No **Capítulo 2**, aborda-se sobre a revisão bibliográfica. Discorre-se sobre a geração de efluentes líquidos em indústrias, legislação, o tratamento, os processos de coagulação e floculação, a influência do pH, a geração e características e a disposição final de lodo de ETEI, a classificação dos resíduos sólidos, bem como a importância, fatores construtivos e vantagens de adequações de ETEI.

No **Capítulo 3**, elenca-se os procedimentos metodológicos aplicados ao estudo. A formulação do problema e o design da pesquisa. Os Participantes. A coleta e análise de dados.

No **Capítulo 4**, discute-se os resultados encontrados no estudo de caso.

No **Capítulo 5**, apresentam-se as considerações finais referentes aos resultados do estudo e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

Com o intuito de traduzir de modo generalizado e conceitual a qualidade desejada para a água se faz necessário o estabelecimento de padrões de qualidade, embasados por um suporte legal. Os padrões devem ser cumpridos, por força de legislação, pelas entidades envolvidas com a água a ser utilizada (VON SPERLING, 2005).

Têm-se observado fortes pressões tanto da sociedade quanto do próprio governo as indústrias, que por sua vez precisam remeter seus processos produtivos à sustentabilidade. A inexistência do tratamento dos efluentes pode acarretar além de multas e sanções às indústrias, degradação de ambientes naturais, morte da fauna de lagos e rios e/ou graves problemas ambientais (ROSA, 2009).

No Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) órgão consultivo e deliberativo que dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, por meio da Resolução 357, de 17 de março de 2005, complementada pela Resolução 430/2011, estabelece condições de qualidade para o enquadramento dos corpos hídricos em território nacional, de acordo com os seus usos preponderantes, e para o lançamento de efluentes. Essa resolução, como instrumento jurídico, fixou limites superiores ou inferiores para diversas variáveis em sistemas de água e efluentes bem como para fins de descarte.

Nesse contexto, o tratamento dos efluentes atua com foco na mitigação das impurezas produzidas pelos seres humanos sejam nas suas atividades rotineiras ou em processos de fabricação de produtos em especial os processos industriais.

2.1 - USO DA ÁGUA NO SETOR INDUSTRIAL

É comum haver desperdícios em empresas com captação própria de água, pois seus gastos normalmente se concentram ao valor de bombas, sua manutenção e o custo energético (MIERZWA, 2005). Por sua vez, o uso excessivo de água traz a necessidade de maiores estações de tratamento de efluentes e produtos químicos.

Águas utilizadas pelas indústrias podem vir de várias fontes como águas fornecidas por empresas de saneamento básico, poços tubulares profundos,

armazenamento de águas da chuva, dentre outros. Suas aplicações dentro da indústria podem ser para uso doméstico, onde a classificação da água deve ser potável e uso industrial, onde não necessita ser potável, mas deve apresentar qualidade necessária para sua aplicação (VICTORINO, 2007).

No processo industrial de fabricação de papel ondulado o uso de água tem valores significativos. Em uma linha de pintura seu uso é aplicado principalmente na lavagem de peças e lavagem do ar de exaustão da cabine de pulverização dos materiais e superfícies (WEBWE, 2010).

2.2 - GERAÇÃO DE EFLUENTE INDUSTRIAL

O processo de pintura industrial faz uso de tinta para cobrimento das peças e em geral as tintas são constituídas pelos componentes: resinas, pigmentos, solvente e aditivo. O processo de revestimento de superfícies e de manufatura industrial tem favorecido a liberação de compostos orgânicos voláteis (VOC) para atmosfera tornando-a mais poluída. Os VOC são caracterizados como substâncias que contém o elemento carbono na sua estrutura molecular e que evaporam rapidamente (ANGHINETTI, 2012).

Outros contaminantes no processo de pintura industrial se dão pela presença de pigmentos orgânicos ou inorgânicos, tais como dióxido de titânio (TiO_2), óxido de zinco (ZnO) e chumbo (PbO), trióxido de antimônio (Sb_2O_3) e cargas como carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e magnésio ($MgCO_3$), resinas látex, vinílicas e acrílicas e aditivos como estabilizantes, dispersantes e os biocidas que são os maiores geradores de impacto ambiental por sua ação estar relacionada com a solubilidade em água (ANGHINETTI, 2012; SHREVE, 1980; SPENGEMAN 1972).

Para alguns autores, toda atividade que envolve tratamento de água, possui potencial de gerar efluente (MIERZWA e HESPANHOL, 2005). Esses variam nas características físicas, químicas e biológicas. Nos processos industriais, como a conversão de matéria-prima em produto acabado não é de 100%, torna-se geradora de resíduos.

2.3 - O TRATAMENTO DE EFLUENTES

Sabe-se que para manter a qualidade e quantidade de água doce disponível para consumo, busca-se realizar tratamentos alternativos diversos, podendo-se citar uso de coagulante/floculante para remoção de cor, turbidez de água bruta de forma a torná-la potável. Os termos coagulação e floculação são utilizados como sinônimos, uma vez que ambos se complementam para integrar o processo de aglomeração de partículas. Pode-se dizer que coagulação é o processo que reduz as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão e floculação é a aglomeração dessas partículas formando partículas maiores (POSTEL, 2003).

2.3.1 - Coagulação química

É importante termos clareza dos termos “coagulação” e “floculação” e que existe diferença entre eles que não podem ser confundidos.

O termo coagulação vem do latim “*coagulare*” que significa juntar. Este processo descreve o efeito produzido pela inserção de um determinado produto químico, normalmente cloreto férrico ou a base de sais de alumínio a uma dispersão coloidal que promove uma desestabilização das partículas através da redução das forças que tendem a mantê-las separadas. Neste caso as partículas passam a aglomerar-se possibilitando contato entre elas, formando partículas de tamanho submicroscópico.

Em geral as águas apresentam impurezas originárias da decomposição do solo, da dissolução de minerais e da decomposição da vegetação, todos dissolvidos na água. Além do mais, a necessidade da coagulação aumenta cada vez mais devido ao aumento da poluição das águas e o crescimento acelerado da população do mundo (TUCCI, 1997).

As impurezas contidas nas águas sejam de origem natural ou provocadas pelo homem, são de origem orgânica ou inorgânica. As inorgânicas são responsáveis pela variação da turbidez sendo que o sabor e odor são causados pelas substâncias orgânicas dissolvidas (VON SPERLING, 1998).

As partículas que produzem turbidez são classificadas de acordo com seu tamanho, as moléculas possuem tamanho médio de 50µm. A fração de moléculas com diâmetro superior a 1µm são conhecidas com o nome de limo e se sedimentam facilmente quando a água fica em repouso. Por outro lado, as partículas com diâmetro

menores que 1 μ m conhecidas como coloidais permanecem em suspensão durante longos períodos de tempo e por isso torna-se necessário a coagulação para a sua eliminação (DEZOTTI, 2008).

Portanto, a necessidade de coagulação é para que as partículas coloidais formem agregados maiores e desta forma aumentem sua velocidade de sedimentação. A formação de partículas maiores oriundas da aglutinação de partículas menores é importante para melhor eficiência de uma fase de limpeza da água conhecida por filtração (PAIXÃO, 2008).

2.3.1.1 - Fatores que influenciam a coagulação

Para alcançar um padrão adequado de coagulação da água tem que se levar em consideração uma rede complexa de variáveis tais como o pH, turbidez, composição química da água, tipo de coagulante e fatores físicos tais como a temperatura e as condições de mistura. Estas interações são tão complexas que teoricamente é impossível determinar um padrão adequado de coagulante para uma dada amostra de água, portanto a quantidade de coagulante é determinada empiricamente para cada tipo de água (CASSINI, 2008).

2.3.1.2 - Os efeitos do pH

Existe uma escala de pH para uma dada amostra de água dentro da qual se registra uma boa coagulação/floculação em menor tempo possível. A variação desta escala é influenciada pelo tipo de coagulante que podem ser utilizados, pela composição química da água e a concentração do coagulante (PAIXÃO, 2008).

Os coagulantes mais utilizados são sais de alumínio (sulfato de alumínio) ou sais de ferro (cloreto de ferro) denominados de coagulantes metálicos. Os coagulantes metálicos precipitam e coagulam com maior rapidez, sendo que o pH deve ficar entre 5,8 e 7,8. Dependendo da turbidez e da presença de íons na água, esta variação sobe para 6 a 7,8 (SANTOS, 2014).

2.3.2 - Geração de lodo nas ETEI's

As ETEI's realizam tratamento adequado a partir do conhecimento das características do efluente gerado a partir do processo fabril. Após tratamento e efluente poderá ser reutilizado ou descartado conforme legislação vigente. Os processos utilizados nestas estações, sem a necessidade de tratamento biológico, ou seja, apenas tratamento físico-químico, são geralmente os seguintes (POSTEL, 2003).

- Oxidação;
- Coagulação;
- Floculação;
- Decantação;
- Filtração;
- Desinfecção;
- Estabilização do pH.

Na oxidação é utilizado cloro no efluente bruto afim de oxidar os metais presentes, que podem se encontram dissolvidos e dependem da fonte geradora. Na coagulação adiciona-se produto químico para manter o pH no nível adequado e logo em seguida entram os sais coagulantes primário, normalmente sais de alumínio ou ferro para formação dos flocos de impurezas. Em contato com a água este coagulante reage quase que instantaneamente, promovendo uma reação de hidrólise, resultando na formação de determinados compostos que irão, juntamente com as impurezas presentes, constituir os flocos, que serão separados posteriormente nas unidades de decantação e filtração (SANCHES, 2000).

Na floculação a água é misturada lentamente em tanques, pois nesta etapa têm-se flocos de impurezas maiores, formados na etapa anterior. Após esse processo de mistura lenta iniciando-se a fase de decantação. Após a decantação a água passa por elementos filtrantes como peneiras ou filtros prensa que objetivam a retenção das impurezas que não foram sedimentadas nas etapas anteriores (POSTEL, 2003). Essas impurezas retiradas do efluente principalmente dos decantadores e das águas de lavagem dos filtros são denominadas de lodo. As características dessas impurezas dependem das condições do efluente bruto, dosagens e produtos químicos utilizados. (POSTEL, 2003).

Boa parte das estações de tratamento de efluentes nas limpezas periódicas, em média uma vez por ano, manualmente, ou seja, esvaziando o decantador e lavando o

fundo. Temos então a seguinte sequência de tratamento dos efluentes em uma ETEI: coagulação – floculação – sedimentação – filtração – retirada do lodo, e se necessário tratamento terciário (SILVA, 2020).

2.3.2.1 - Características de lodos de ETEI

Por conta da adição de sais de ferro ou sais de alumínio para provocar a coagulação dos resíduos existentes na no efluente bruto de estações de tratamento de efluentes industriais os hidróxidos desses sais por consequência passam a ser os principais componentes do lodo e, além disso, partículas inorgânicas. Na materiais orgânicos no efluente, a fração orgânica do lodo torna-se desprezível e o lodo passa a ter características de estabilidade química, sendo composto apenas de matéria inorgânica (MEDEIROS, 2010).

2.3.2.2 - Remoção de água

Os hidróxidos formados devido aos sais adicionados durante o processo de coagulação dificultam a desidratação do lodo durante a fase de secagem tornando-o gelatinoso e volumoso e de viscosidade tixotropica. Um parâmetro amplamente utilizado para avaliação da dificuldade de remoção de água é a “resistência específica de filtração”. Quanto maior o valor deste parâmetro, mais difícil à remoção, por filtração, da umidade do lodo (PAIXÃO, 2008).

Todo lodo consiste numa combinação sendo uma fase sólida com uma fase líquida. As diferentes formas físicas da água no lodo exercem influência marcante na maior ou menor dificuldade de separação da fase líquida da sólida (DAVID, 2002). São definidos os estados físicos da água. em ordem crescente de dificuldade de desidratação, ou seja apresentam maiores facilidades de retirada a água livre seguido de água intersticial, água vicinal e finalmente água de hidratação pois apresentam ligações químicas com a superfície das partículas sólidas (SILVA, 2004).

- Água livre: Água não associada com partículas sólidas;
- Água intersticial ou capilar: Água ligada mecanicamente, na qual se encontra presa aos interstícios dos flocos;

- Água vicinal: Formadas por diversas camadas de molécula de água fisicamente ligadas e firmemente presas à superfície das partículas por meio de pontes de hidrogênio;
- Água de hidratação: água ligada quimicamente à superfície das partículas sólidas.

Uma melhor eficiência nas operações de redução da umidade existente nos lodos é através da passagem forçada do efluente por materiais filtrantes, por meio de filtro prensa (DAVID, 2002).

2.3.3 - Disposição final de lodo de ETEI

O processo de tratamento do lodo possui técnicas cujas pertinências são influenciadas por fatores como as suas características, da área disponível, do clima local e condições ambientais da região. Uma prática reprovável das estações de tratamento de efluentes é lançamento do lodo direto no meio ambiente ou rede de esgoto, sem qualquer tipo de tratamento (PAIXÃO *et al.*, 2008). Uma alternativa usualmente leitos de secagem, sendo que depois de seco o lodo é encaminhado para aterros ou incineração, porém para uma indústria essa prática se torna inviável por conta da necessidade de grandes áreas para construção dos leitos (PAIXÃO, 2008).

Após remoção de umidade e dependendo de uma análise técnica e ambiental a destinação final do lodo de ETEI, pode ocorrer das seguintes formas (PAIXÃO *et al.*, 2008).

- Aplicações industriais diversas como fabricação de tijolos
- Incineração de resíduos.

2.4 - O RESÍDUO SÓLIDO (LODO DE ETEI)

A NBR 10.004 (ABNT, 1987) define resíduos sólidos como resíduos nos estados sólido e semissólido que resultam de atividades da comunidade, seja de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (SISINNO *et al.*, 2003).

Nesta definição os lodos também ficam incluídos, aqueles que são provenientes de sistemas de tratamento de efluentes, os gerados em equipamentos e instalações de

controle de poluição, bem como os determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento no meio ambiente ou corpos d'água, ou exijam para isto soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. Verifica-se ainda que os resíduos industriais possuam composição de acordo com o tipo de processo gerador.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, através da NBR 10004/04 (NORMA, 2004), define os resíduos sólidos da seguinte forma: Resíduos no estado sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstico, hospital, comercial, agrícola, de serviços públicos, como varrição, poda de árvores entre outros. Também são considerados resíduos sólidos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de efluentes, sendo gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas características tornem inviável o seu lançamento no meio ambiente ou corpo d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível Agência Brasileira de Normas Técnica (ABNT, 1987) (SISINNO *et al.*, 2003).

Para todos estes resíduos existem várias classificações, como resíduos classe: I - Perigosos; resíduos classe II – Não perigosos; resíduos classe II A – Não inertes; resíduos classe II B – Inertes, perigosos e não perigosos, inertes e não inertes (Figura 2.1).

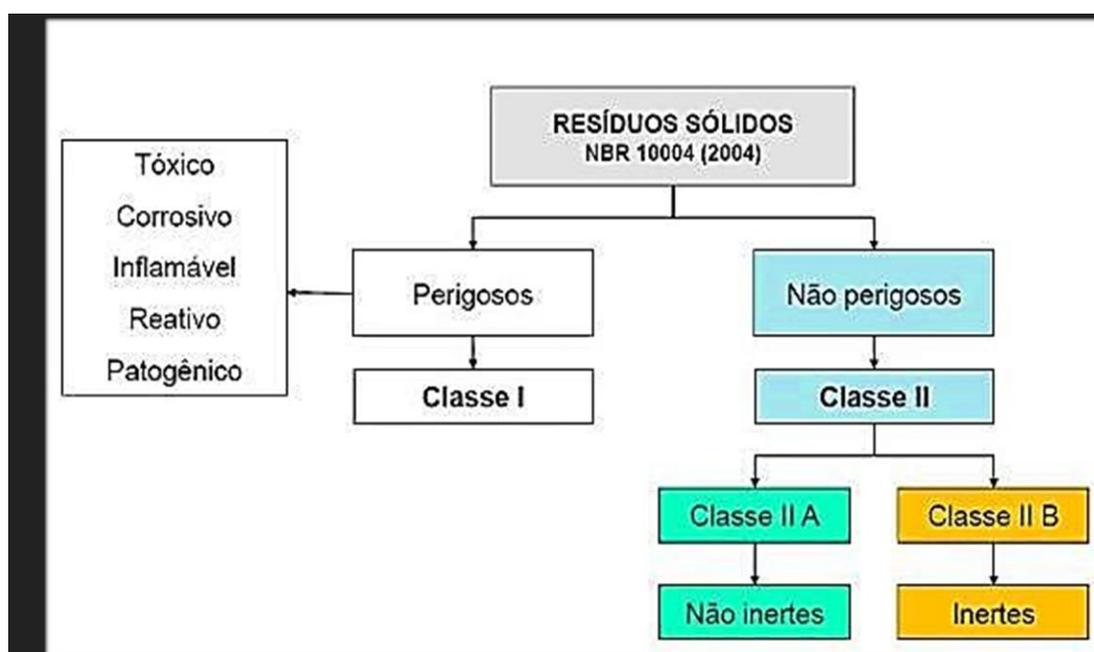


Figura 2.1 - Classificação dos resíduos sólidos.
Fonte: Adaptado de NBR10004 (2004).

Segundo a NBR 10004/04 (NORMA, 2004) para se obter um laudo de classificação pode ser baseado exclusivamente na identificação do processo produtivo. Deve constar no laudo de classificação a indicação da origem do resíduo, descrição do processo de segregação e descrição do critério adotado na escolha de parâmetros analisados, quando for o caso, incluindo os laudos de análises laboratoriais. Os laudos devem ser elaborados por responsáveis técnicos habilitados.

Entre os resíduos de alto impacto ao meio ambiente, destaca-se o resíduo proveniente da estação de tratamento de efluentes, o lodo de ETEI. Este resíduo considerado como **Resíduos Classe I – Perigosos**: onde estes em função de suas características de corrosividade, reatividade, toxicidade, inflamabilidade, pode apresentar riscos à saúde pública, contribuindo ou provocando no aumento de mortalidade ou incidência de doenças ou até mesmo apresentar efeitos adversos de alto impactos ao meio ambiente, quando manuseados ou disposto de forma inadequada.

2.5 - CONSTRUÇÃO E ADEQUAÇÃO CIVIL EM ETEI'S

O desenvolvimento construtivo de ETEI é fundamental em indústrias e empresas, pois o tratamento é responsável por remover as impurezas da água por meio de diversas etapas, seja para devolvê-lo ao meio ambiente ou reutilização (MELO, 2007). Além de uma opção alternativa para minimizar os danos causados, a ETEI é tão importante que sua ausência é passível de sanções, o que por sua vez implica na aplicação de severas multas para as empresas que não seguirem o procedimento correto e até mesmo levar à parada obrigatória de suas atividades (GUERCIO, 2006).

A ETEI é muito importante para os mais diversos segmentos sejam industriais ou não industriais. As indústrias são responsáveis pelo consumo de mais de 20% de toda a água mundial e deve devolver ao meio ambiente o que foi utilizado de modo a não poluir ou causar danos (RIBEIRO, 2008). É sabido que as características físicas, químicas e biológicas do material eliminado varia de acordo com o processo fabril da empresa. Por vezes, esse descarte de forma inadequada, pode ser perigoso para o meio ambiente e deve necessariamente ser tratado em uma ETEI, afim de que possa atingir os parâmetros adequados estabelecidos pela legislação vigente para reuso ou descarte.

Periodicamente, é necessário realizar adequações ou até mesmo reforma em estação de tratamento, devido às atualizações no setor e, também, a necessidade maior de tratamento devido a fatores como por exemplo, o aumento na demanda e por

consequência na produção fabril da qual está diretamente ligado a quantidade de água utilizada para este fim (ROGÉRIO e FERRAZ, 2014).

A adequação em estações de tratamento de efluentes, também conhecida como ETEI, é feita por empresas especializadas. Através de uma análise criteriosa sobre as condições atuais da ETEI e também das necessidades do local, é desenvolvido um plano de adequação.

Esse plano ou projeto dimensiona, adequadamente, a estrutura final da estação de tratamento de efluente, visando garantir o melhor desempenho por longos anos. Ou seja, é um investimento que traz retornos a médio e longo prazo, mas que entrega benefícios imediatos para a empresa (DE OLIVEIRA, 2014). Entre as principais vantagens de adequações e reforma em estação de tratamento destacam-se: minimização de erros de operação e dosagem; ampliação da capacidade de volume de tratamento da estação; atualização dos equipamentos e modernização dos processos de tratamento; inclusão de procedimentos para o cumprimento de normas e melhores práticas do setor e barateamento do custo de operação.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DO SEGUIMENTO DE EMBALAGENS DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS - PIM

A Empresa em estudo está localizada no Polo Industrial de Manaus-AM, pertence ao segmento de embalagens de papelão ondulado, que por sua vez realiza impressão com tintas à base de água fabricadas na própria unidade (Figura 3.1). Dessas atividades (fabricação de tinta, impressão das embalagens, lavagens de maquinários), resultam os efluentes líquidos que são escoados até a estação de tratamento para remoção dos poluentes e atendimento as legislações ambientais em vigência.



Figura 3.1 - Visão aérea da localização da ETEI na área de estudo.

3.2 - METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.2.1 - Diagnóstico das deficiências estruturais e ineficiências das etapas de tratamento

Nesta etapa buscou-se realizar o levantamento das deficiências estruturais, isso foi realizado por meio de visita as instalações se fez o levantamento completo das

informações operacionais, de variações de vazão de entrada em relação a capacidade de tratamento da planta, acessibilidade, produtos químicos utilizados, laudos e resíduos gerados e fluxo de processos de tratamento.

A Figura 3.2 descreve o fluxo do processo fabril visitado, e em destaque as fontes geradoras de efluente bem como todas as etapas do processo convencional verificadas no diagnóstico inicial.

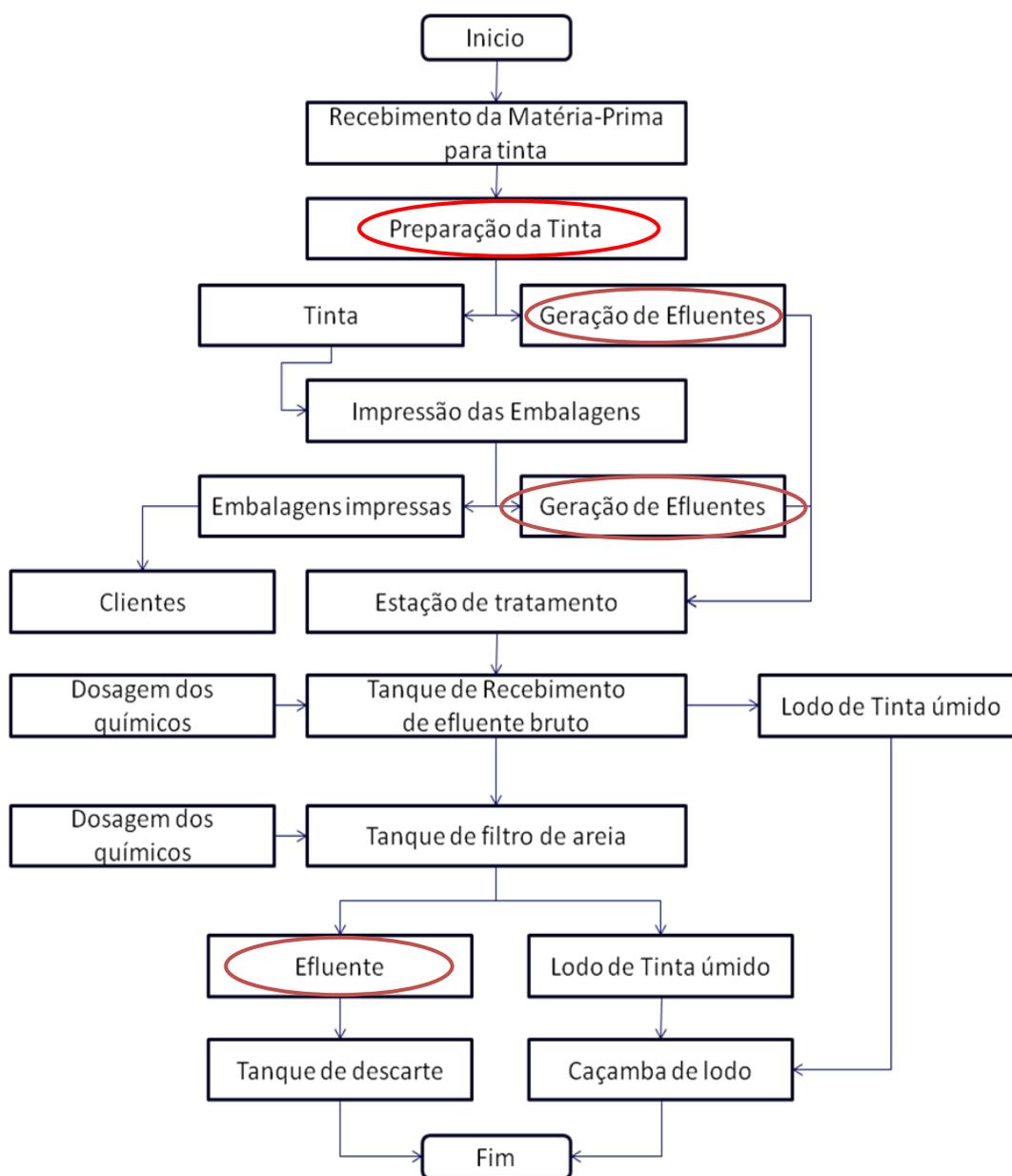


Figura 3.2 - Fluxograma do processo fabril.

Para a adequação da estação de tratamento, foi realizado um estudo descritivo de todo o processo de fabricação de embalagens desde a fabricação das tintas à base de água; a sua utilização na impressão de embalagens; os efluentes líquidos gerados; as

novas etapas e maquinários para o tratamento adequado do efluente; até a avaliação do processo buscando um aumento na qualidade do efluente tratado.

Os ensaios analíticos das amostras coletadas para monitorar os parâmetros do efluente tratado na estação de tratamento, foram enviados a laboratórios terceirizados. Os parâmetros físicos e químicos analisados foram: pH, Cloretos, DQO e DBO, Chumbo Total, Cor, Cadmio Total, Níquel, Ferro Dissolvido, Sulfeto, Sulfato, Sólido sedimentáveis, Fósforo, Zinco total, Temperatura e Turbidez.

A metodologia adotada para análises das amostras coletadas encontra-se descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Association e Federation, 1915), de acordo com as referências para as especificações de lançamento de efluentes.

Por meio das análises realizadas, constatou-se problemas quanto ao dimensionamento, capacidade de tratamento, elevada geração de lodo, bem como a necessidade de agregação de novos tanques e técnicas que visam o aumento na eficiência da ETEI, sobre tudo aos parâmetros de DBO e DQO, devido a estes o não atendimento a legislação para descarte do efluente tratado.

3.2.2 - Implementação e implantação de projeto de intervenção

Após diagnosticar as deficiências estruturais da estação bem como as ineficiências das etapas de tratamento, foram aplicadas técnicas e ações corretivas.

3.2.2.1 - Revisão dos procedimentos de operação

Realizou-se a revisão no campo específico dos textos procedimentais (guias operacionais e manuais de equipamentos) referente a ETEI, com intuito de permitir uma operação eficaz e livre de erros. Esta se deu juntamente com a equipe de operação da ETEI.

3.2.2.2 - Concentração e dosagem ótima dos agentes químicos

Com o intuito de determinar a dosagem ótima dos agentes químicos que proporcionarão o aumento na eficiência com um menor custo econômico da ETEI diagnosticada, fez-se em laboratório terceirizado, a determinação da concentração e

dosagem de produtos químicos ideal por meio de ensaio de jarros. Bem como, instalação de bombas dosadoras para automatizar esta atividade, pois, nesse ambiente, qualquer descuido pode acarretar a perda de matéria-prima ou, dependendo da mistura de químicos, podem causar riscos aos colaboradores.

3.2.2.3 - Aquisição de filtração por filtro prensa

Com objetivo de promover a redução dos custos com a destinação do lodo a partir da diminuição de umidade realizou-se a aquisição de filtro prensa de 30 placas 400mm x 400mm. O equipamento faz esse processo pela passagem forçada de soluções com resíduos e por elementos filtrantes permeáveis.

3.2.2.4 - Modificações estruturais

Para garantir a capacidade de tratamento da ETEI, conforme a necessidade da empresa, fez-se ampliação do tanque de recebimento de efluente bruto. E, afim de garantir a seguridade dos operários e pleno funcionamento da ETEI, também realizou-se a instalação de equipamentos de segurança como escadas de acesso, plataformas e guarda-corpo, este último em especial instalado por se tratar de uma medida de proteção que evita quedas de grandes alturas.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - DIAGNÓSTICO DAS DEFICIÊNCIAS ESTRUTURAIS E INEFICIÊNCIAS DAS ETAPAS DE TRATAMENTO

A estação de tratamento de efluentes dos processos de impressão e fabricação de tintas, na área de estudo, era basicamente constituída por 4 tanques, sendo um tanque de recebimento do efluente bruto, dois tanques de areia para filtração e um tanque destinado ao descarte.

Inicialmente foi observado que a estação de tratamento de efluente estudada além de uma dificuldade operacional por ser em sua totalidade manual, não estava dimensionada para receber o volume atual gerado no processo produtivo, ou seja, processo de fabricação das tintas e das impressões das embalagens.

Devido à simplicidade da estação de tratamento, a difícil operação e problemas quanto ao dimensionamento, o efluente de descarte não atendia as resoluções para lançamento de efluentes.

A Figura 4.1 evidencia a situação a qual se encontrava a ETEI. Os processos totalmente manuais, a eficiência de tratamento era baixa além de não tratar o efluente industrial adequadamente.



Figura 4.1 - Visão geral da ETEI, diagnóstico inicial.

O tanque de recebimento de efluente bruto gerado no processo produtivo tinha em média de 15m³/dia, e a estação foi dimensionada para receber no máximo 10m³/dia, logo, havia uma sobrecarga tornando o processo de tratamento mais lento (Figura 4.2).



Figura 4.2 - Tanque de recebimento de efluente bruto.

Foi evidenciado que não havia bombas para transportar o efluente de um processo a outro, como alternativa os gestores da indústria solicitavam auxílio de caminhões pipas de empresas de serviço de tratamento de resíduos perigosos, para drenar os tanques, evitando possíveis transbordamentos. Na Figura 4.3, nota-se a transferência do efluente do tanque de recebimento de efluente bruto para os tanques de filtração.



Figura 4.3 - Transferência do efluente bruto por mangueiras.

Observou-se que o processo adotado para a filtração do efluente na estação de tratamento (Figura 4.4) era dotado de um tanque com capacidade de 3m³, sendo que, para se filtrar, o tanque recebia uma camada de areia com pedras de brita, após a formação das camadas o efluente era lançado nos tanques para a filtração do mesmo. Os resultados já eram esperados, o processo tornava-se lento tornando a filtração bastante ineficiente para este caso.



Figura 4.4 - Tanque de filtração de efluente.

Notou-se que na estação de tratamento havia vários problemas estruturais, principalmente ergonômicos, onde o deslocamento do operador tornava-se arriscado e de difícil acesso, a Figura 4.5, ilustra uma das escadas de acesso, em específico, ao tanque de recebimento de efluente bruto.



Figura 4.5 - Escadas de acesso deterioradas.

Quanto ao resíduo gerado na estação de tratamento de efluente (lodo de tinta), seu armazenamento era realizado em caçambas impermeabilizadas com lonas que tentavam evitar possíveis vazamentos e contaminação do solo (Figura 4.6).



Figura 4.6 - Lodo de tinta gerado no sistema inicial.

Se tratando de custos operacionais, o lodo gerado em estações de tratamento de efluentes industriais é um fator econômico importante no contexto de tratamento de rejeitos líquidos (JIMENEZ, 2011).

Durante o diagnóstico inicial da estação de tratamento, a qualidade do efluente tratado, pronto para descarte, foi o que mais chamou a atenção devido à elevada intensidade na coloração e grande presença de particulados (Figura 4.7).

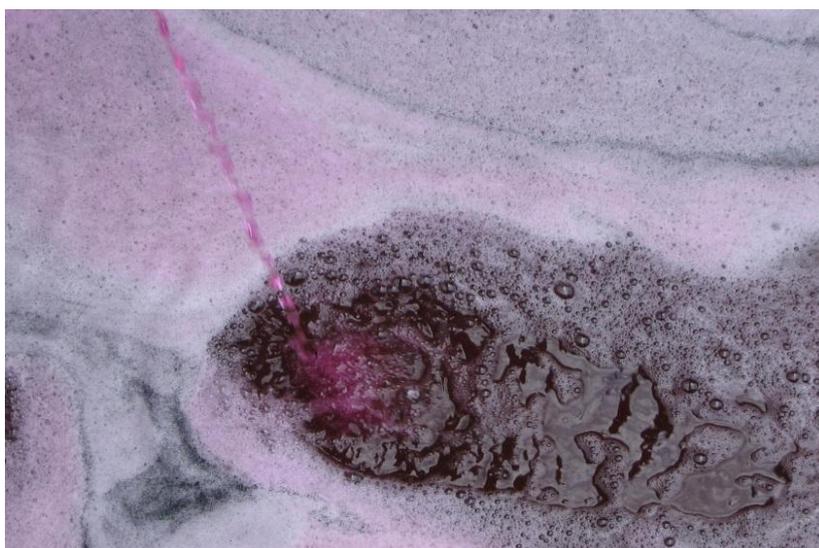


Figura 4.7 - Efluente tratado (diagnóstico inicial).

Amostras foram coletadas no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2019, com frequência trimestral para avaliar os parâmetros físicos e químicos estabelecidos na licença de operação.

Os pontos amostrais foram: Na entrada do tanque de recebimento I (efluente bruto) e na saída do tanque de descarte (efluente final ou tratado).

A Figura 4.8 descreve o fluxo do processo fabril, as fontes geradoras de efluente dentro de uma empresa de impressão de embalagens, destacando os processos propostos em projeto para nova realidade ao tratamento dos efluentes líquidos gerados pela indústria.

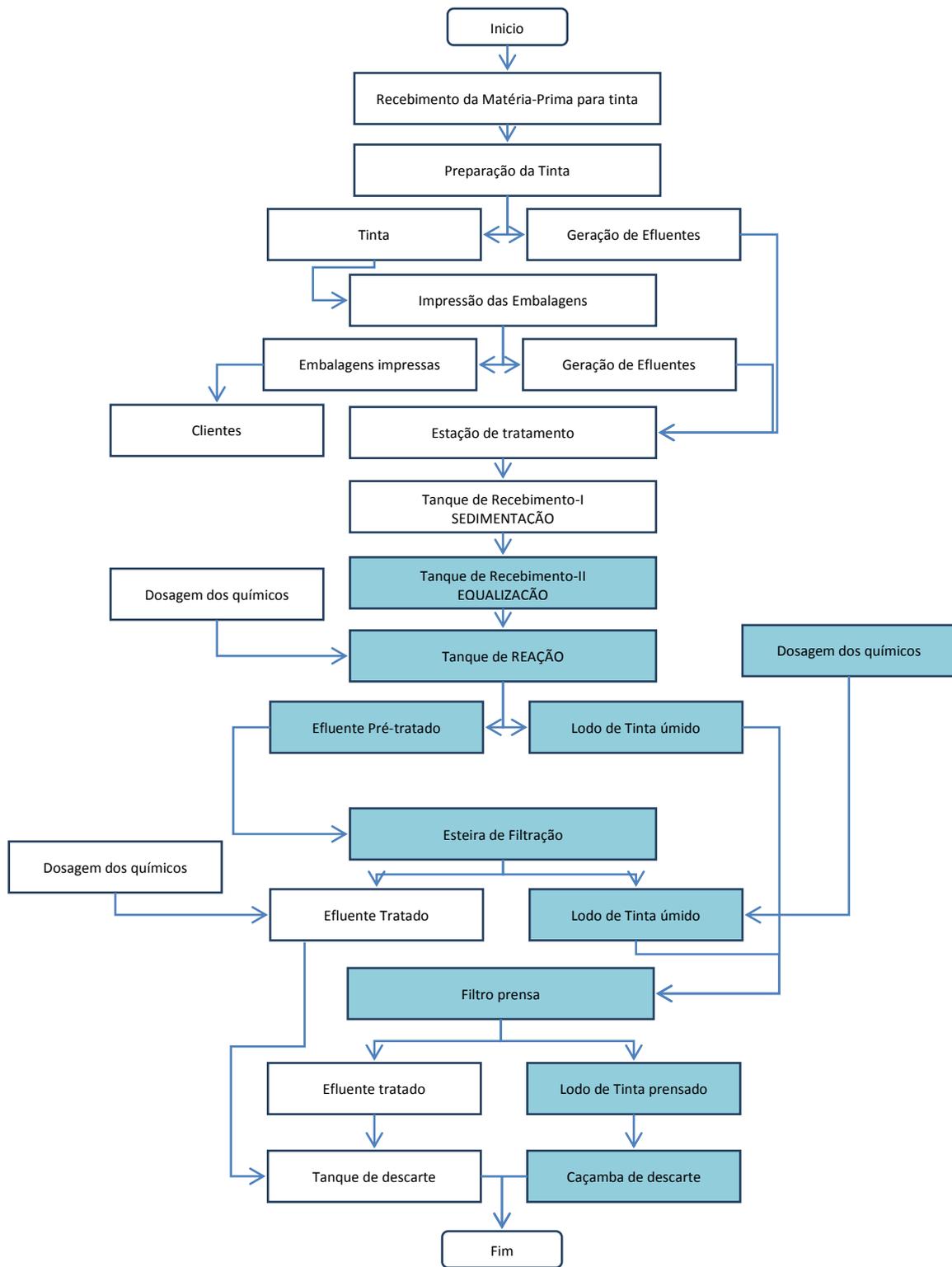


Figura 4.8 - Fluxograma do processo da fabricação de tinta com destaque aos processos incorporados no tratamento.

4.2 - RESULTADOS DAS MELHORIAS DAS PROPOSTAS DE ADEQUAÇÃO DA ETE DIAGNOSTICADA

Como resultado da implantação e implementação do projeto teve-se a adequação estrutural do tanque de recebimento de efluente bruto e a instalação de escada e guarda-corpo para a segurança dos operadores (Figura 4.9).



Figura 4.9 - Tanque de efluente bruto, reformado e instalado com os itens de segurança.

No tanque de recebimento de efluente bruto, foram inseridas duas técnicas básicas para melhorar o processo de tratamento: sedimentação e equalização. O efluente escoar por tubulações aéreas até os tanques de recebimento de efluente bruto I e II, onde cada tanque possui capacidade de 31,5 m³ cada.

O tanque de recebimento I nesta fase recebe o efluente bruto direto da produção, a principal característica aparente do efluente é a presença de muito particulado com diferentes tipos de cores (devido à utilização de diversos tipos de tinta no processo de impressão).

Para reduzir a quantidade de particulados no efluente bruto, o tanque de recebimento I, passou a ser usado para sedimentação dos particulados, ou seja, todo o efluente bruto escoado para a estação de tratamento chega ao tanque de recebimento I e por gravidade os sólidos se depositam no fundo do tanque para em seguida o efluente, agora com uma menor carga de partículas, prosseguir para o tanque de recebimento II.

A cada 90 dias é removido todo o sólido sedimentado do fundo do tanque de recebimento I para filtragem e posterior incineração.

No tanque de recebimento II, para evitar variações no processo de tratamento, mantendo o efluente o mais homogêneo possível, foi instalado no fundo do tanque tubos em PVC (policloreto de vinila) com furos de 1 mm, com o objetivo de realizar flotação por injeção de ar, e nesta fase passou a ser realizado a correção do pH, antes deste efluente ser bombeado para aproxima etapa, o tanque de reação.

O reator recebe o efluente e quebra a emulsão do solvente/pigmento. Neste tanque o efluente é agitado e recebe uma dosagem de polímero floculante e uma quantidade (determinada em teste de jarros) de hipoclorito de sódio para auxílio no processo de clareamento do efluente.

Nota-se que a partir da mudança de equipamento, após dimensionamento das instalações pra o atendimento da geração de efluentes, como a substituição do reator de tratamento de efluente que operava com a taxa de 10 m³/dia para 4 m³/h, foi possível ampliar a capacidade de tratamento em 10 vezes a antiga instalação (Figura 4.10).



Figura 4.10 - Reator instalado.

No tanque de reação o processo de floculação além de mais rápido notou-se que a quantidade de materiais particulados retidos foi superior ao tratamento convencional. O lodo de tinta também apresentou uma elevação na consistência de sólidos, bem diferente do lodo obtido no tratamento anterior utilizado, onde havia muita água incorporada.

O lodo de tinta floculado no reator era transferido para esteira de filtração mecânica (Figura 4.11).



Figura 4.11 - Esteira de filtração mecânica.

Somente com a filtração por esteira mecânica (técnica anterior de tratamento) o lodo apresentava em média 71% de umidade. Com aquisição do filtro prensa (Figura 4.12), a umidade do lodo foi reduzida para faixa de 9,2% à 10%.



Figura 4.12 - Processo de remoção de umidade do lodo.

Após o processo de prensagem, o lodo de tinta totalizou cerca de 375,8 toneladas, obtendo uma eficiência de redução em massa total de 84,2%, ou seja, o processo extraiu do lodo de tinta 2.393 toneladas de água incorporada.

Na Figura 4.13 é observado que do total de lodo produzido no tratamento de dezembro de 2015 a dezembro de 2019 (período de implantação do novo processo de

tratamento) foi de 2.768,8 toneladas, ou seja, 2.393 toneladas de água removida do lodo de tinta.

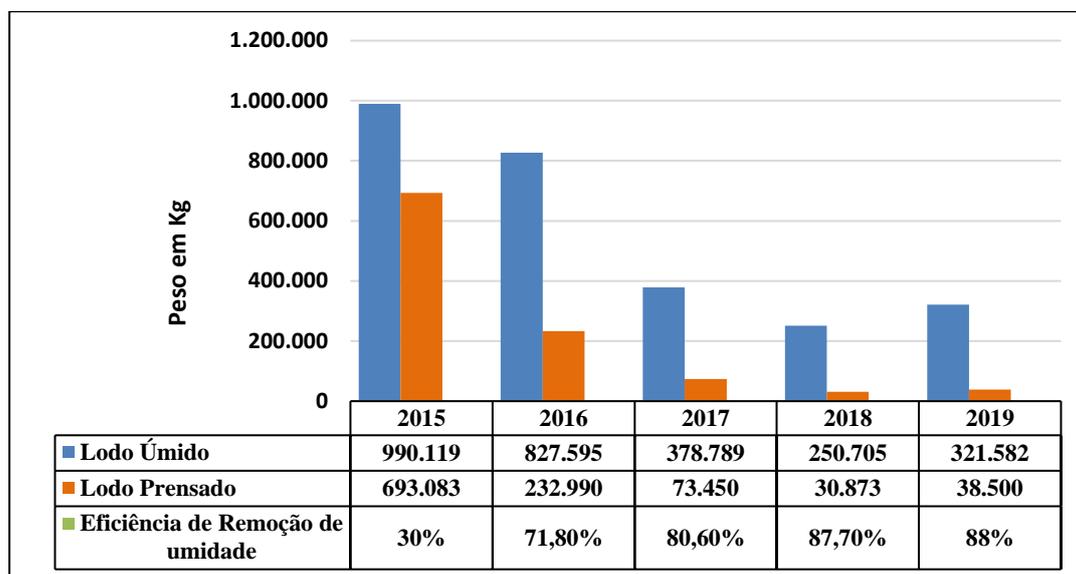


Figura 4.13 - Eficiência de remoção de umidade em massa de lodo.

Ao se avaliar os resultados de percentual de umidade inicial e umidade final, a estação de tratamento obteve em seu processo de prensagem uma eficiência média de 84,3% de sua umidade removida para o mesmo período.

Em relação ao custo com esse processo, na Figura 4.14, observam-se os custos gerados com a operação e destinação do lodo de tinta no ano de 2015, ou seja, antes das modificações propostas e os anos de 2016 a 2019, após implantação do projeto.

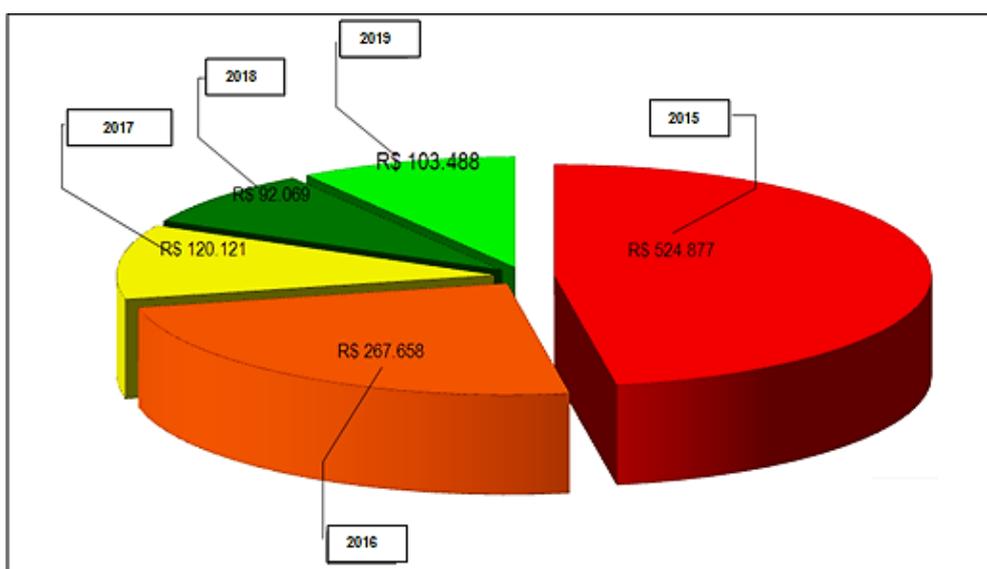


Figura 4.14 - Custo anual com a operação e destinação do lodo de tinta.

Nota-se que os custos com descarte do lodo em um ano de operação da estação de tratamento de efluente (2015) equivale a quase os 4 anos subsequentes de custos com a implantação, operação e destinação com o novo processo de tratamento de efluentes (2016 a 2019). Os custos deste estudo não levam em consideração as aquisições de equipamentos e obras realizadas. Aqui encontram-se apenas os custos inerentes a destinação do lodo úmido.

Já os produtos químicos utilizados no tratamento de efluentes foram armazenados em tanques com circuito construído com tubos de reposição e instalado bombas dosadoras para a manipulação dos produtos em linha (Figura 4.15).



Figura 4.15 - Tanques de armazenamento dos produtos químicos.

Por fim o efluente tratado é escoado para o tanque de descarte final (Figura 4.16).



Figura 4.16- Tanques de descarte final.

Na Tabela 4.1 são apresentados os resultados das amostras analisadas em laboratório dos efluentes coletadas em cada ano, agrupados em médias anuais.

Tabela 4.1 - Resultados das amostras coletadas agrupados em médias anuais.

Parâmetros Analisados	Parâmetros para Lançamento de Efluente CONFORME CONAMA 357/2005 e 430/2011	ENTRADA	MÉDIA ANUAL SAÍDA			
		Caracterização do efluente Bruto	2016	2017	2018	2019
PH	5,0 a 9,0	6,7	6,5	6,6	7,2	6,3
Cloreto	Sem referência (mg/L)	7,3	3,6	2,4	2,6	2,5
DQO	Sem referência (mg/L O ₂)	2619,6	160,6	151,8	137	87,2
Chumbo Total	0,5 mg/L	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0
Cor verdadeira	Sem referência (Pt/L)	48,6	11,4	9,0	9	9,2
Cádmio	0,2 mg/L	0,1	0,01	0,02	0,01	0,02
Níquel	2,0 mg/L	1,1	0,2	0,4	0,0	0,0
Ferro Dissolvido	15,0 mg/L	3,5	0,4	0,2	0,2	0,2
Sulfeto	1,0 mg/L	1,6	0,0	0,0	0,0	0,1
Sulfato	Sem referência (mg/L)	92,4	0,0	0,0	34,3	25,2
Sólidos sedimentáveis	1 mL/L	79,5	0,6	0,3	0,9	0,3
Fósforo	Sem referência (mg/L)	1,9	0,0	0,2	0,2	0,0
Zinco	5,0 mg/L	1,8	0,3	0,0	0,2	0,3
Turbidez	Sem referência (UNT)	658,1	16,6	14,4	15,3	15,2
DBO	Remoção Mínima de 60%	1674,4	260,6	66,2	309,0	69,5
Temperatura	Inferior a 40°C	26,7	24,7	28,5	25,7	25,9

Os valores das médias de temperatura e pH apresentado na Tabela 4.1, demonstram que estes parâmetros não tiveram alterações. As amostras analisadas apresentam um pH entre 6 e 7 e a temperatura entre 24,7°C a 28,5°C, sendo que o efluente de entrada apresenta sua temperatura com 26,7°C e pH 6,7. Todas as amostras analisadas apresentaram a temperatura e o pH em conformidade com os valores estabelecidos pelo CONAMA 357/05(CONAMA BRASIL, 2005) e 430/11 (CONSTITUIÇÃO BRASIL, 2011).

Os parâmetros físicos: cor verdadeira, sólidos sedimentáveis e turbidez apresentaram uma redução significativa, isso se deve ao processo de floculação e a quebra da emulsificação do efluente de tinta no tanque de reação da estação de tratamento e do processo de filtração restando todos os possíveis particulados presentes. Parâmetros como sólidos sedimentáveis, apresentam após o processo de tratamento uma

remoção de 99% a 100%; isso contribui para os resultados de turbidez, com a ausência de materiais em suspensão e não há interferência da passagem da luz no efluente tratado - a redução foi de 97% a 99%.

Os metais de transição como: Chumbo total, Níquel, Cádmio, Ferro e o Zinco, apresentam resultados de concentrações a baixo do exigido pelas Resoluções Conama 357 e 430. Dentre os resultados apresentados na Tabela 4.1, o chumbo total obteve uma redução mínima de 34% e máxima de 98%, Cadmo 78% a 92%, o Níquel 66% a 99%, o Ferro Dissolvido 89% a 95% e o Zinco 85% a 98%. Isso se deve ao processo de sedimentação e da quebra da emulsificação durante o processo de floculação no reator, os contaminantes são encapsulados, impedindo a solubilização desses contaminantes por lixiviação (HASSEMER e SENS, 2002).

Na Tabela 4.1 também nota-se uma concentração de 1,9 mg/L de fósforo no efluente bruto, apesar das Resoluções (CONAMA BRASIL, 2005; Constituição BRASIL, 2011) não determinarem limites para lançamento, o processo de tratamento obteve uma eficiência de 94%.

Os resultados de cloretos apresentados, durante os anos 2016, 2017, 2018 e 2019 mostram uma redução na concentração média em massa de 2,8 mg/L. A presença dessa carga poluidora deve-se as inúmeras lavagens no *setup* de máquinas e a perdas na produção de corantes fortes e reativo. As Resoluções (CONAMA BRASIL, 2005; Constituição BRASIL, 2011) não especificam limites para cloretos.

Houve uma redução de 95% a 99% para Sulfetos e para o Sulfato uma redução mínima 63% e máxima de até 100%. Em relação aos resultados obtidos nos anos de 2018 e 2019 para Sulfato, acredita-se que tiveram interferência de efluentes gerados de tintas à base de enxofre que passaram a ser utilizadas no processo fabril.

Para os parâmetros de DQO (Demanda Química de Oxigênio) e o DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), utilizados para observar a biodegradabilidade de um efluente (GIORDANO, 2004), há uma acentuada entrada de carga poluidora no efluente bruto da estação de tratamento, isso se deve aos inúmeros *setups* de máquinas (processo que acontece na troca de um pedido para outro, utilizando o mesmo equipamento (FABRO, 2003) onde acontece à lavagem das calhas de tinta e rolos. Entretanto, o processo de redução da carga poluidora é decorrente de todas as etapas preliminares e primarias (sedimentação, coagulação e floculação) para remover os sólidos contaminantes.

A estação de tratamento obteve em média 95% de taxa na redução de DQO com variações entre 94% a 97% e para a DBO redução de 93% com variações entre 84% a

96%, o que corrobora no aumento da eficiência de remoção de particulados do efluente da ETEI estudada.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES

Com o processo de tratamento otimizado a ETEI em estudo se mostrou eficiente na remoção de todos os poluentes analisados no efluente industrial proveniente de cabines de pintura da indústria de fabricação de papel ondulado.

Após dimensionamento das instalações e com a substituição do retor de tratamento de efluente foi possível ampliar a capacidade de tratamento em 10 vezes a antiga instalação, passando a ter uma vazão de entrada de 4 m³/h, suprimindo com amplitude as necessidades sazonais de produção fabril da empresa.

As análises das características físico-químicas do efluente bruto e tratado demonstram que além da elevação no desempenho das taxas de remoção, todos os parâmetros analisados atenderam a resolução CONAMA 357/05 art. 34 e a CONAMA 430/11.

Em especial os parâmetros de DQO e DBO respectivamente obtiveram em média, 95% de taxa na redução com variações entre 94% a 97% e 93% com variações entre 84% a 96%, o que corrobora na elevação da eficiência de remoção de particulados do efluente da ETEI estudada.

Após aquisição do filtro prensa a umidade final do lodo gerado pela ETEI passou de 71% para 10% em média, o que por sua vez, os custos com descarte do lodo em um ano de operação da estação de tratamento de efluente convencional (antes do projeto) equivaleu a quase os custos de operação e destinação do lodo nos 4 anos subsequentes, ou seja, após implantação do projeto.

Por conta dos benefícios adquiridos com a elevação na qualidade do efluente tratado, redução nos custos operacionais e destinação do lodo a diretoria da empresa estudada demonstrou interesse em manter um comprometimento sustentável para com seus resíduos e processos.

5.2 - SUGESTÕES

Visando contribuir para as pesquisas futuras que permitam a continuação de processos de tratamentos mais eficientes de baixo custo pode-se sugerir os seguintes pontos:

- Realizar um estudo piloto em indústrias do mesmo segmento afim de se verificar a possibilidade da utilização das intervenções aplicadas, analisando os parâmetros estudados quanto à eficiência, desempenho e atendimento a legislação vigente.
- Identificar a viabilidade de redução do efluente na fonte geradora e prática de reuso da água tratada para fins não potáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACSELRAD, H. *et al.* **Conflitos ambientais no Brasil**. Relume Dumará, 2014.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION *et al.* **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association., 1912.

ANGHINETTI, I. C. B. **Tintas, suas propriedades e aplicações imobiliárias**. Monografia (Monografia ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 65 f., 2012. Disponível em: <<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg2/90.pdf>>. Acesso em: 13 de dezembro de 2020.

ARNT, F. V. **As pinturas rupestres como testemunho de ocupação pré-contato em Tibagi, Paraná**. Editora La Salle, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NORMA, NBR. 10004/04: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro (Brasil), 2004.

BRASIL, C. **Resolução. 357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, 357. (2005).

BRASIL, C. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução (357). (2011).

CASSINI, A. S. **Estudo de processos alternativos no pré-tratamento de efluentes provenientes da produção de isolados protéicos**. 2008.

CASTANHO, S. C. R. **Gerenciamento dos fluxos reversos: Estudo de caso de uma indústria de embalagens de papelão ondulado**. 2006.

DA SILVA, K. K. B. **Avaliação do desempenho de sistemas de tratamento aeróbio e anaeróbio e das características do lodo de esgoto doméstico**. 2004. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

DAVID, A. C. **Secagem térmica de lodos de esgoto: determinação da umidade de equilíbrio**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DE OLIVEIRA, M. D. **Desenvolvimento, aplicação e avaliação de sistema de indicadores de desempenho de estações de tratamento de água.** 2014.

DEZOTTI, M. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos.** Volume 5 da Série Escola Piloto de Engenharia Química. Editora E-papers, 2008.

FABRO, E. *et al.* **Modelo para planejamento de manutenção baseado em indicadores de criticidade de processo.** 2003.

FARIAS, L. A.; FÁVARO, D. IT. **Vinte anos de química verde: conquistas e desafios.** Química Nova, v. 34, p. 1089-1093, 2011.

FREIRE, R. S. *et al.* **Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas.** Química nova, v. 23, n. 4, p. 504-511, 2000.

GALDIANO, G. de P. **Inventário do ciclo de vida do papel offset produzido no Brasil.** 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GALDIANO, G. de P. **Inventário do ciclo de vida do papel offset produzido no Brasil.** 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GIORDANO, G. *et al.* Tratamento e controle de efluentes industriais. **Revista ABES**, v. 4, n. 76, p. 1-84, 2004.

GUARATINI, C. CI; ZANONI, M. V. B. Textile dyes. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.

GUIMARÃES, G. C. **Estudo do adensamento e desidratação dos resíduos gerados na ETA-Brasília.** 2007.

GUERCIO, M. J. *et al.* **Variação de impactos ambientais decorrentes da implantação da norma ISO 14001: Um estudo multicase em indústrias têxteis de Santa Catarina.** 2006.

HAMMES, V. S. **Percepção do impacto ambiental.** São Paulo: Globo, v. 4, 2004.

HASSEMER, M. E. N.; SENS, M. L. **Tratamento do efluente de uma indústria têxtil.** Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. Engenharia sanitária e ambiental, v. 7, n. 1, p. 30-36, 2002.

HESPANHOL, I. **Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos.** Estudos avançados, v. 22, p. 131-158, 2008.

JIMENEZ, I. J. T. **Utilização do lodo de estação de tratamento de efluentes da indústria de injeção plástica como matéria-prima para indústria cerâmica.** 2011. Dissertação de Mestrado, PPGEE, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém-PA.

LEME, T. N. **Os municípios e a política nacional do meio ambiente.** Planejamento e políticas públicas. v. 2, n. 35, 2010.

LENARDÃO, E. J. *et al.* Green chemistry: the 12 principles of green chemistry and its insertion in the teach and research activities. **Química Nova**, v. 26, n. 1, p. 123-129, 2003.

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N. D. P.; VALLE, T. F. Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Administração Pública**, 52(1), 24-51, 2018.

MAZZER, C.; CAVALCANTI, O. A. **Introdução à gestão ambiental de resíduos.** Infarma Ciênc Farmac, v. 16, p. 11-12, 2004.

MEDEIROS, E. N. M. de. **Uso da técnica de planejamento experimental para otimização de massa cerâmica com a incorporação de resíduos de cinza de casca de arroz, cinza de lenha e lodo de ETA.** 2010.

MELO, M. O. B. C *et al.* **Inovações Tecnológicas na Cadeia Produtiva Têxtil: análise e estudo de caso em indústria no nordeste do Brasil.** Revista Produção Online, v. 7, n. 2, 2007.

MELLO, V. M.; SUAREZ, P. A. Z. As formulações de tintas expressivas através da história. **Revista virtual de química**, v. 4, n. 1, p. 2-12, 2012.

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

NETO, P. N.; MOREIRA, T. A. Política nacional de resíduos sólidos-reflexões a cerca do novo marco regulatório nacional. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 15, p. 10-19, 2010.

NICOLETTI, L. **O lixo, o turismo e os desafios para a gestão integrada de resíduos sólidos em uma unidade de conservação: estudo de caso em Pirenópolis, APA Pireneus de Goiás.** 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PAIXÃO, L. C. C. *et al.* **Efeito da incorporação de lodo de ETA contendo alto teor de ferro em cerâmica argilosa.** *Cerâmica*, v. 54, p. 63-76, 2008.

PAIXÃO, L. C. C.; TENÓRIO, J. A. S.; ESPINOSA, D. C. R. **Reciclagem do Lodo da Estação de Tratamento de Água do Sistema Rio Manso/Copasa do Município de Brumadinho-Mg com Cerâmica Vermelha.** 2004.

POSTEL, S.; RICHTER, B. **Rivers for life: managing water for people and nature.** Island press, 2012.

RIBEIRO, W. C. **Geografia política da água.** Annablume Editora, 2008.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental.** Artmed Editora, 2009.

ROGERIO, B. L.; FERRAZ, R. C. **Projeto de automação da estação de tratamento de efluentes em Bertioga-São Paulo.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ROSA, A. H.; FRACETO, L. F.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Meio ambiente e sustentabilidade.** Artmed Editora, 2009.

SANCHES, C. S. Gestão ambiental proativa. **Revista de Administração de Empresas**, v. 40, n. 1, p. 76-87, 2000.

SANTOS, M. A. dos *et al.* **A flotação por ar dissolvido como alternativa ao tratamento de efluente mineral visando ao reuso da água e à melhoria do processo de flotação de apatita.** 2014.

SCHENINI, P. C. *et al.* **Avaliação dos padrões de competitividade à luz do desenvolvimento sustentável: O caso da Indústria Trombini Papel e Embalagens S/A em Santa Catarina-Brasil.** 1999.

SHREVE, R. N; JUNIOR, J. A. B. **Indústria de Processos Químicos.** 4ªed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980. 717 p.

SILVA, K. M. de S. **Descrição das tecnologias de tratamentos de água no Brasil e suas distribuições por regiões no país.** Trabalho de Conclusão de Curso. 2020.

SILVA, R. S. **Binder a base de polianilina para proteção anódica de aço carbono.** 2011.

SISINNO, C. L. S. *et al.* **Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em resíduos sólidos industriais: uma avaliação preliminar do risco potencial de contaminação ambiental e humana em áreas de disposição de resíduos.** Cadernos de Saúde Pública, v. 19, p. 671-676, 2003.

SOUZA, A. G. R. de. **Panorama do setor de tintas no Brasil: condições e perspectivas no segmento de tintas imobiliárias.** 2015.

SOUZA, R. M. de *et al.* **O direito fundamental ao meio ambiente equilibrado: a contribuição da ecopedagogia contra a lógica expropriatória.** 2020.

SPENGE MAN, W. F. **Pigments In: Paint testing manual: Physical and chemical examination of paints, varnishes, lacquers, and colors, thirteenth edition of the Gardner-Sward Handbook.** ASTM Manual Series: STP 500 chapter 2.8, 1972.p. 150-164.

TARTARI, R. *et al.* **Incorporação de lodo gerado na Estação de Tratamento de Água Tamanduá, como ativo em massas para cerâmica vermelha.** 2008.

TUCCI, C. **Água no meio urbano: Livro da água doce, cap. 14.** Instituto de pesquisa hidráulica (UFGRS). Porto Alegre, 1997.

VAN ALPHEN, M. **Saint film componets. National Evironmental Health Forum Monographs.** General Series n. 2, 1998.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos.** Edipucrs, 2007.

VON SPERLING, M. Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes líquidos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 1, p. 111-132, 1998.

WEBER, C. C.; CYBIS, L. F.; BEAL, L. L. **Conservação da água aplicada a uma indústria de papelão ondulado.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 15, p. 291-300, 2010.

ZAMIR, A. R.; SHAH, M. **Accurate image localization based on google maps street view.** In: European Conference on Computer Vision. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. p. 255-268.