

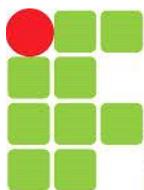
INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PERNAMBUCO

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
PERNAMBUCO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO AMBIENTAL**

**PATRICIA JAQUELINE DO MONTE LIMA**

**REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS  
NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TINTAS BASE ÁGUA:  
subsídios da Produção Mais Limpa (P+L)**

**Recife, 2015**



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PERNAMBUCO

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
PERNAMBUCO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO AMBIENTAL**

**PATRICIA JAQUELINE DO MONTE LIMA**

**REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS  
NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TINTAS BASE ÁGUA:  
subsídios da Produção Mais Limpa (P+L)**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva

**Orientador**

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Sofia Suely F. B. Rodrigues

**Co-Orientadora**

**Recife, 2015**

**PATRICIA JAQUELINE DO MONTE LIMA**

**REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS  
NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TINTAS BASE ÁGUA:  
subsídios da Produção Mais Limpa (P+L)**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

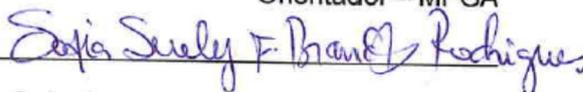
Data da aprovação: 01/09/2015

BANCA EXAMINADORA



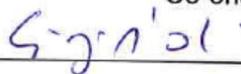
Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva

Orientador – MPGA



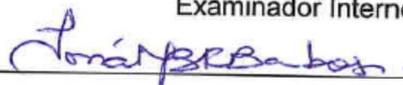
Prof.ª. Dr.ª. Sofia Suely Ferreira Brandão Rodrigues

Co-orientadora - MPGA



Prof. Dr. Eduardo José Alécio de Oliveira

Examinador Interno – MPGA



Prof.ª. Dr.ª. Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa

Examinador Interno - IFPE



Prof. Dr. Vicente de Paulo Silva

Examinador Externo – UFRPE

## APRESENTAÇÃO

A autora do trabalho possui formação técnica em Química Industrial, é Tecnóloga em Sistemas de Gestão Ambiental, Engenheira Ambiental, MBA em Planejamento e Gestão Ambiental. Atua há 15 anos em indústria química na área de Desenvolvimento de Produtos, Análises de matérias-primas e Sistema de Gestão Integrado (ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001). *Green Belt*, trabalha com gestão de projetos de melhoria na Metodologia DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*) – Lean Seis Sigma.

## **DEDICATÓRIA**

Ao meu filho Raphael Lima da Hora. Para ele, por ele.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus, acima de tudo, por proporcionar-me maravilhosas oportunidades e de conviver com pessoas que me impulsionam pessoal e profissionalmente. Agradeço aos meus pais, esposo, filho, irmã, cunhado e sobrinha por estarem sempre ao meu lado. Meus gestores e colegas de trabalho que contribuíram para o enriquecimento deste estudo. Aos meus professores, orientador e co-orientadora que acreditaram e tanto contribuíram para a elaboração desta dissertação. Às amigas de todas as horas Akilla Mello e Mariana Melo pelo carinho e apoio nas horas alegres e nas horas difíceis desta jornada. Enfim, meus sinceros agradecimentos a todos que direta e indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

## **Epígrafe**

“Cada dia a natureza produz o suficiente para nossa carência. Se cada um tomasse o que lhe fosse necessário, não havia pobreza no mundo e ninguém morreria de fome”.

*Mahatma Gandhi.*

## RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar a potencialidade do reúso de águas residuárias no processo de fabricação de tintas base água de uma indústria do Estado de Pernambuco sob a ótica da Produção Mais Limpa (P+L), identificando oportunidades de melhoria e propondo soluções ecoeficientes. Para tanto, foi necessário entender através da revisão bibliográfica o que é tinta e como é o processo produtivo e seus resíduos. A metodologia baseou-se na coleta de dados de processo e amostras de água residuária do processo de *setup*, análise físico-química do teor de sólidos e análise da contaminação microbiológica das amostras provenientes do sistema de lavagem de tanques, fatores importantes para o processo de reutilização. Realizou-se também a análise estatística de dados e pesquisa bibliográfica e a elaboração de um mapa mental que norteou idéias de melhoria para o processo de reúso. Como resultados, obteve-se a elaboração de um mapa mental, descrição de todo o sistema de lavagem e do processo de reutilização da água residuária, uma proposta de padronização com a elaboração de instruções operacionais para a lavagem dos tanques herméticos e cubas de envase, identificação dos pontos de entrave para a reutilização da água residuária e definidas 10 propostas de soluções ecoeficientes para otimização do reúso de água residuária no processo produtivo com e sem custos, entre elas: padronização do sistema de lavagem, propostas de três instruções operacionais, recomendação de projetos de melhoria com técnica do A3 do *Lean Manufacturing*, revestimento das paredes internas dos tanques com vidro líquido para diminuir a aderência da tinta, utilização de *sprayball*, utilização de cuba autolimpante, utilização de sistema fechado de reúso da água residuária, sistema automatizado lava-não lava dos tanques, instalação de um decantador na entrada da ETE, reúso de água do pós-tratamento da ETE com polimento por filtração por membranas e ozonização para diversos usos dentro e fora do processo produtivo. Conclui-se que é possível, e uma realidade, o reúso de água residuária no processo de fabricação de tintas base água minimizando a geração de resíduos fim-de-tubo com o desafio da garantia da qualidade do produto final.

**Palavras-chave:** Água, Tratamento, Reutilização, P+L.

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the potentiality of the reuse of wastewater in the manufacturing process of waterborne paints of an industry of the State of Pernambuco, Brazil from the perspective of cleaner production (P + L), identifying opportunities for improvement and proposing ecoefficient solutions. To this end, it was necessary to understand through the literature review what is ink and how the production process and their waste. The methodology was based on process data collection and wastewater samples setup process, physico-chemical analysis of the solid content and analysis of microbiological contamination of the samples from the tank washing system, important factors for the reuse process. Also took the statistical analysis of data and bibliographic research and the development of a mind map that has guided improvement ideas the reuse process. As a result, the drafting of a mind map, description of the whole system of washing and reuse of process wastewater, a proposal for standardization in the operating instructions for the washing of hermetic tanks and filling tanks, identification of barriers to waterwaste and reuse set ten proposals for eco-efficient solutions for optimization of wastewater reuse in the production process with and without costs among them: standardization of the washing system, proposals for three operating instructions, recommendation for improvement projects with the A3 methodology of Lean Manufacturing, coating of the inner walls of the tanks with liquid glass to reduce the adherence of the paint, use of sprayball, use of cuba self-cleaning, use of closed system of reuse of wastewater, automated car wash don't wash the tanks , installation of a decanter at ETE, reuse of water of the post-treatment ETE with polishing by membrane filtration and ozonização for various uses within and outside the production process. It is concluded that it is possible, and a reality, the reuse of wastewater in the manufacturing process of waterborne paints by minimizing the generation of waste end-of-pipe with the challenge of ensuring the quality of the final product.

**Keywords:** water, treatment, re-use, P + L.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de composição básica das tintas .....	22
Figura 2 - Abordagem esquemática da Produção Mais Limpa .....	36
Figura 3- Mapa mental para reúso de água residuária na produção de tintas base água com base na P+L .....	53
Figura 4 - Esquema do sistema de lavagem de tanques e cubas.....	55
Figura 5 - Modelo de cuba quadrada .....	56
Figura 6 - <i>Container</i> para coleta de água de lavagem originada no <i>setup</i> .....	57
Figura 7 - Esquema da Estação de Tratamento de Efluentes de Lodo Ativado. ....	61
Figura 8 - Diagrama de afinidades para causas potenciais da dificuldade para reutilização de água de lavagem no processo de produção de tintas .....	69
Figura 9 - Modelo de Gráfico de balanceamento do operador (GBO). ....	74
Figura 10 - Modelos de <i>spray ball</i> .....	78
Figura 11 - Modelo de funcionamento de um <i>spray ball</i> . ....	78
Figura 12 - Esquema de lavagem de um <i>spray ball</i> em tanque .....	78
Figura 13 - Modelo de cuba autolimpante. ....	79
Figura 14- Modelo de decantador.....	81

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Pigmentos inativos, inertes ou cargas utilizadas em tintas.....	23
Quadro 2 - Classificação dos Resíduos Sólidos de acordo com a NBR 10004:2004. ....	28
Quadro 3 - Classificação dos resíduos de tintas conforme NBR 10.004:2004 .....	29
Quadro 4 - Legenda para resultados de taxa de contaminação bacteriana .....	50
Quadro 5 – Instrução operacional para limpeza do tanque de diluição .....	70
Quadro 6 – Instrução operacional para limpeza da cuba quadrada.....	71
Quadro 7 - Quadro Instrução operacional para Reutilização da água de lavagem .....	72
Quadro 8 - Modelo de etiqueta para recipiente de armazenagem da água de lavagem. ....	80

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico Relatório – Resumo para teor de sólidos (%).....	64
Gráfico 2 - Gráfico controle para teor de sólidos da água de lavagem, em percentual, para amostras coletadas na Produção.....	65
Gráfico 3 - Gráfico de setor para contaminação microbológica (UFC/placa) .....	66
Gráfico 4 - Gráfico de controle para volume médio de água de lavagem reutilizada por batelada em 2014.....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coleta de dados da água residuária .....	62
Tabela 2 - Coleta de dados para volume de água residuária reutilizada no ano de 2014 a Março / 2015 .....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BTEX	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xileno
CEBDS	Centro Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CETESB	Companhia ambiental do Estado de São Paulo
CFC	Cloro-Fluor-Carbono
CNTL	Centro Nacional de Tecnologias Limpas
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DTP	Diagrama do Trabalho Padronizado
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
GBO	Gráfico de Balanceamento do Operador
GEE	Gases de Efeito Estufa
H <sub>2</sub> O	Fórmula química da água
MP	Material Particulado
NBR	Norma Brasileira
pH	Potencial Hidrogênionico
P+L	Produção Mais Limpa
UNIDO	Programa da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial
Ton	Tonelada
TP	Trabalho Padronizado
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
VOC	Compostos Orgânicos Voláteis

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	21
2.1. A TINTA.....	21
2.2. O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TINTAS.....	25
2.3. RESÍDUOS.....	26
2.4. A PRODUÇÃO MAIS LIMPA (P+L).....	33
2.5. REÚSO DE ÁGUA.....	40
2.6. FILOSOFIA LEAN.....	44
2.7. QUALIDADE MICROBIOLÓGICA.....	46
3. METODOLOGIA.....	47
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	47
3.2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE LAVAGEM E DO REÚSO DA ÁGUA RESIDUÁRIA ...	47
3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DO TEOR DE SÓLIDOS, CONTAMINAÇÃO MICROBIOLÓGICA E VOLUME MÉDIO DE REÚSO DA ÁGUA RESIDUÁRIA.....	47
3.3.1. Coleta de dados / amostragem.....	47
3.3.2. Determinação do teor de sólidos (% de não voláteis).....	48
3.3.3. Análise da contaminação microbiológica.....	48
3.3.4. Análise estatística dos dados.....	50
3.4. AVALIAÇÃO OS PONTOS DE ENTRAVE PARA REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA.....	51
3.5. PROPOSTA DE SOLUÇÕES ECOEFICIENTES PARA OTIMIZAÇÃO DO REÚSO DA ÁGUA RESIDUÁRIA.....	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
4.1. O MAPA MENTAL.....	52
4.2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE LAVAGEM.....	54
4.2.1. Lavagem dos tanques herméticos ou tanques de diluição e cubas de envase.....	54
4.2.2. Lavagem das cubas das envasadoras.....	56
4.2.3. Características e reúso da água residuária ou água de lavagem.....	56
4.2.4. Tratamento da água residuária excedente.....	57
4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DO TEOR DE SÓLIDOS, CONTAMINAÇÃO MICROBIOLÓGICA E VOLUME MÉDIO REUTILIZADO DA ÁGUA DE LAVAGEM.....	62
4.3.1. TEOR DE SÓLIDOS.....	64
4.3.2. CONTAMINAÇÃO MICROBIOLÓGICA.....	66
4.3.3. VOLUME MÉDIO REUTILIZADO.....	66

4.4. AVALIAÇÃO DOS PONTOS DE ENTRAVE PARA REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA .....	67
4.4. SOLUÇÕES ECOEFICIENTES PARA OTIMIZAÇÃO DO REÚSO DE ÁGUA .....	70
4.4.1. Proposta e padronização do sistema de lavagem e do reúso de água.....	70
4.4.2. Trabalho padronizado para lavagem dos tanques.....	73
4.4.3. Projetos de melhoria contínua para o zero desperdício.....	75
4.4.4. Aplicação de vidro líquido nas paredes internas dos tanques .....	76
4.4.5. Sistema de lavagem dos tanques com Spray ball. ....	77
4.4.6. Utilização de cubas autolimpantes .....	79
4.4.7. Utilização de sistema fechado de reúso de água .....	79
4.4.8. Sistema Lava / Não-lava .....	81
4.4.9. Utilização de decantador primário na entrada da ETE.....	81
4.4.10. Reúso da água pós - tratamento na ETE .....	82
4.4.10.1. Fora do processo produtivo.....	82
4.4.10.2. Dentro do processo produtivo .....	82
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	85
REFERÊNCIAS .....	88

## 1. INTRODUÇÃO

Entende-se o controle da poluição como um dos maiores desafios ambientais do mundo atual. O reconhecimento de que a ação do homem contribui para a deterioração do ambiente natural e dos recursos naturais tem sido comum, fazendo com que os países, tanto os desenvolvidos quanto os em desenvolvimento, busquem alternativas em relação a restauração do meio ambiente (PHILIPPI JR, 2004).

Com o aumento e a diversificação das atividades produtivas e o consequente aumento da geração de resíduos, os órgãos ambientais estaduais, que são responsáveis pela execução das políticas estaduais do meio ambiente, passaram a solicitar das empresas o licenciamento ambiental, bem como o controle e tratamento de suas emissões atmosféricas, resíduos sólidos e águas servidas (ROSA, FRACETO, CARLOS, 2012).

Mais recentemente, foi publicada a Lei nº 12.305, de 02/08/10 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dispõe sobre as diretrizes e instrumentos, relativos a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, chamando os geradores e o poder público à responsabilidade compartilhada quanto à redução da geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais. De acordo com Baas *et al* (1992), “estima-se que 70% de todos os resíduos e emissões dos processos industriais podem ser prevenidos na fonte pelo uso de procedimentos tecnicamente sadios e economicamente rentáveis” (*apud* CEBDS, 2014).

O processo estudado no presente trabalho é de uma indústria química de tintas no estado de Pernambuco que busca a otimização e a melhoria contínua de seus processos, produtos e serviços. Para atender a demanda de mercado e as necessidades de seus clientes trabalha com a filosofia *Lean Manufacturing* de produção puxada, ou seja, produz-se somente aquilo que o cliente quer buscando a eliminação dos desperdícios e utilizando o mínimo necessário de seus recursos.

A indústria demonstrou uma tendência crescente no indicador de geração dos resíduos sólidos no período compreendido entre 2010 e 2013 em quilos por tonelada de produção. Desta forma, a busca pelo desperdício zero tornou-se parte da estratégia organizacional com metas agressivas de redução de resíduo. A intenção é reduzir custos e eliminar o desperdício. Diante desse cenário a geração e destinação dos resíduos apresentam impacto sobre as metas de custos da planta. O programa corporativo de sustentabilidade, que visa a excelência operacional estima uma economia de €150 mi no período de 2015 a 2017, com a implantação de projetos de eficiência dos materiais. Concretamente, busca-se reutilizar pelo menos 50% da água gerada nos processos de limpeza de tanques de diluição e envasadoras.

Os resíduos são muito onerosos para a empresa. A composição do preço de descarte destes resíduos, caracterizados como perigosos, passa pelo custo com frete, recipientes, mão de obra para o acondicionamento dos resíduos, consumo de gás natural das empilhadeiras para transporte interno e do caminhão que transporta o resíduo até o coprocessamento, custo com licenças, etc. A reutilização de água torna-se uma oportunidade de reduzir o consumo de água industrial e o principal resíduo da planta, o lodo da ETE.

Para entender como o lodo de ETE é gerado, precisa-se entender o processo de produção de tinta, pois é um resíduo gerado no “fim de tubo” tendo como entrada os efluentes industriais que nada mais são que as águas servidas do processo: águas de lavagens de tanques, tubulações, pisos, descarte inadequado de sobras de tinta do processo ricas em sólidos que são jogadas *in natura* no esgoto industrial. Os materiais de sua composição são água, aditivos, cargas minerais, emulsões, etc. Nada mais que tinta diluída.

Na fabricação de tintas base água é comum a utilização de um mesmo tanque para a produção de tintas de diversas cores. Mas, para isso, é preciso realizar um *setup*, ou seja, a lavagem do tanque antes do início de uma nova batelada de cor diferente para evitar contaminações de cor. Isso ocasiona a geração de um grande volume da chamada “água de lavagem”, rica em sólidos e

que é obtida da seguinte forma: após o envase, o tanque de diluição apresenta suas paredes impregnadas de tinta; o operador utiliza uma mangueira para lavar as paredes internas e o agitador vertical do tanque. Esta lavagem é realizada por sua abertura superior. Com a válvula de drenagem fechada, a água é acumulada no fundo do tanque e depois recolhida para um tacho.

O uso deste tacho já é uma iniciativa para acondicionamento do efluente para reutilização em batelada de cor similar. No entanto, não há previsão de produção de uma cor compatível para a reutilização da água de lavagem gerada. Isso depende, exclusivamente, da demanda de mercado. Se este efluente não for utilizado em até 24 horas deverá ser descartado no esgoto industrial para tratamento na ETE, pois o tempo excessivo em espera gera riscos e retrabalhos no processo. O repouso da água no tacho faz decantar os sólidos mais pesados formando um sedimento denso e, às vezes, difícil de ser removido, além de estar sujeito ao ataque microbiológico expondo a nova batelada à contaminação que pode levar ao apodrecimento do produto acabado em pouco tempo de prateleira no cliente.

Um agravante é a perda financeira em dobro para a empresa, pois paga-se pela matéria-prima que possui em sua composição o elemento  $\text{TiO}_2$  (Dióxido de titânio) extremamente caro e cada vez mais escasso e, de novo, paga-se para destinar o resíduo (matéria-prima não utilizada no processo) que precisa ser coprocessado devido a sua caracterização como resíduo perigoso. Desta forma, abriu-se uma oportunidade de melhoria neste processo no sentido de diminuir a geração exarcebada de resíduos sólidos (kg de resíduos / tonelada de produção), de efluentes com alta carga de sólidos suspensos provenientes da etapa de lavagem dos tanques no final de cada batelada, além do consumo de energia, mão de obra e outras perdas sob a ótica da produção mais limpa.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo geral

Avaliar a potencialidade do processo de fabricação de tintas de uma indústria química para o reúso de águas residuárias sob a ótica da produção mais limpa (P+L).

### 1.1.2. Objetivos específicos

- \_ Descrever o sistema de lavagem e a reúso de água de lavagem
- \_ Analisar teor de sólidos, contaminação microbiológica e volume médio de água de lavagem reutilizada;
- \_ Avaliar os pontos de entaves para reutilização da água de lavagem
- \_ Propor soluções ecoeficientes para otimização do reúso.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

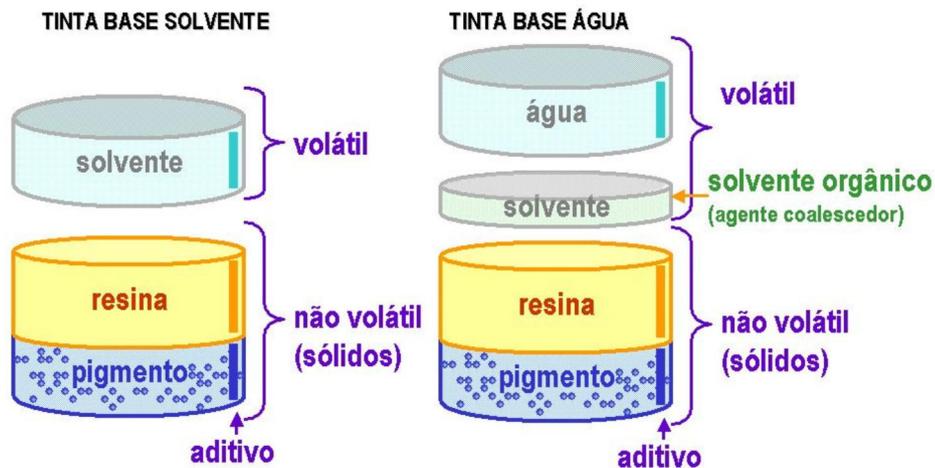
### 2.1. A TINTA

A origem das tintas remonta a pré-história. O sangue de nossos ancestrais pré-históricos, feridos após uma caçada ou na defesa de sua vida, era utilizado como tinta em desenhos nas cavernas que retratava sua vida diária, comunicando-se assim. Depois, passaram a utilizar uma mistura de terras amarelas e vermelhas com a resina de árvores. Assim nascia a tinta, muito parecida como as que conhecemos hoje (FAZENDA, 1993).

As tintas base água são formuladas a partir de copolímeros acrílicos, destinadas à decoração e proteção de superfícies inorgânicas. Um mesmo tipo de tinta, como a acrílica, pode apresentar-se com vários tipos de acabamentos (acetinado, fosco, semibrilho), sendo utilizada em diferentes ambientes como forma de decoração (paredes internas) e de proteção (paredes externas) conforme a figura 3. (IKEMATSU, 2007, pag. 31).

A tinta é “uma composição química pigmentada ou não que se converte em película sólida quando aplicada conferindo às superfícies acabamento, resistência e durabilidade” (FAZANO, 1998). É composta basicamente por veículos, pigmentos, solventes e aditivos, sendo que a proporção de distribuição destes compostos originam os diversos tipos de acabamento (IKEMATSU, 2007, pag. 32). Podemos ilustrar esta composição na figura 1, a seguir:

Figura 1 - Esquema de composição básica das tintas



Fonte: IKEMATSU, 2007.

Sob a denominação de **veículos** encontramos agrupados: as resinas (alquídicas, acrílicas, epóxi, etc) e as emulsões (acrílicas, vinil acrílicas, entre outras). São responsáveis pela conversão das tintas ao estado sólido, formando o filme ou película de tinta seca. Constituem a parte não-volátil da tinta que serve para aglomerar as partículas de pigmentos. Recebem o nome da resina básica que as compõem: tinta acrílica, tinta vinil acrílica, etc (IKEMATSU, 2007).

Segundo Ikematsu (2007), os veículos são constituídos por polímeros lineares (grandes cadeias lineares de moléculas) que, por diversos mecanismos de formação de filme, se transformam em polímeros tridimensionais (cadeias lineares interligadas nas três dimensões). Para Uemoto, Ikematsu e Agopyan (2006), é nesta conversão em filme, que também são emitidos os compostos orgânicos voláteis (VOC) caracterizando emissões atmosféricas.

Segundo Amarilla, Silva Filho e Carbono (2001 apud IKEMATSU, 2007, pag.34), alguns fatores que influenciam na formação da película são:

- Umidade relativa: afeta a velocidade de evaporação da água e a porosidade;
- Temperatura: afeta o *crosslinking* (ligações químicas cruzadas entre cadeias de polímeros) do polímero de tintas epóxi;

- Composição química: a composição do polímero e o seu peso molecular afetam a mobilidade do polímero;
- Fatores externos: a capacidade de absorção da superfície do substrato afeta o processo de saída da água de emulsão.

Os **pigmentos** são partículas sólidas, totalmente insolúveis no veículo, no qual permanecem em suspensão. Também chamados de elementos de cobertura, contribuem na formação da parte sólida de uma camada orgânica. Possuem também a finalidade de conferir propriedades à camada, tais como: cor, opacidade, durabilidade, resistência a corrosão, etc. Existem dois tipos de pigmentos: os ativos (ou simplesmente pigmentos) e os inertes (ou cargas). Somente os pigmentos ativos conferem cor, tingimento e poder de cobertura ou opacidade a tinta. Os pigmentos podem ser orgânicos e inorgânicos (CETESB, 2008).

Os **pigmentos inertes ou cargas** são substâncias que servem para melhorar certas características como maior consistência, melhor lixabilidade, diminuição do brilho, poder selante, ou ainda, baixar o custo por peso ou volume de um determinado tipo de tinta. Dessa maneira, é preciso conhecer e adequar o seu desempenho proporcionando a correta aplicação. Os principais pigmentos desta classificação são os carbonatos, os silicatos e as sílicas. (IKEMATSU, 2007). A tabela 2 exemplifica os principais compostos utilizados na tinta:

Quadro 1 - Pigmentos inativos, inertes ou cargas utilizadas em tintas.

<b>Composto</b>	<b>Mineral</b>	<b>Fórmula molecular</b>
Carbonato de cálcio natural	Calcita	CaCO <sub>3</sub>
Carbonato de cálcio e magnésio	Dolomita	CaCO <sub>3</sub> . MgCO <sub>3</sub>
Silicato de magnésio hidratado	Talco	Mg <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ]
Silicato de alumínio hidratado	Agalmatolito	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .2SiO <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O
Silicato de alumínio anidro	Caulim	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .2SiO <sub>2</sub>
Silicato de alumínio impuro	Bentonita	Al <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ]
Sílica diatomácea	Diatomita	SiO <sub>2</sub>

Fonte: adaptado de Fazano (1998).

Já os **pigmentos ativos ou coloridos** são substâncias que se comportam de forma seletiva aos estímulos luminosos, refletindo ou absorvendo comprimentos de ondas específicos. Em sua grande diversificação, encontram-se produtos tanto orgânicos quanto sintéticos, obtidos por processos de precipitação, fusão e combustão incompleta que em função das suas características físico-químicas são subdivididos em pigmentos inorgânicos e orgânicos.

Entre os pigmentos ativos **inorgânicos** podemos citar os pigmentos brancos, em que o mais importante é o dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), sendo considerado uma matéria-prima básica na formulação de tintas, além dos pigmentos vermelhos e amarelos representados pelos óxidos férricos ( $\text{FeO}_3$ ). Os pigmentos ativos **orgânicos** são caracterizados por coloração brilhante, solidez à luz relativa, elevado índice de absorção de óleo e dificuldade de dispersão nos veículos. Comparados com aqueles possuem baixo poder de cobertura e são obtidos por processos de síntese a partir de produtos oriundos do petróleo, apresentando grande diversificação e complexas estruturas químicas (FAZANO, 1998).

Os **Solventes** são líquidos voláteis de baixo ponto de ebulição que tem por finalidade formar, com as substâncias a serem dissolvidas, soluções homogêneas. O solvente deve ser estável, incolor ou levemente colorido, anidro e apresentar baixíssima toxicidade. Suas principais funções são facilitar a formulação, conferir viscosidade adequada para aplicação da tinta e contribuir para seu nivelamento e secagem. Para a escolha adequada dos solventes, deve-se considerar dois critérios: o grau de solvência em relação ao veículo e o grau de volatilidade, em função principalmente do modo de aplicação escolhido (CUNHA, 2012).

Cada um dos veículos possui seus solventes apropriados, ou seja, aqueles que melhor depositam as suas películas. Tecnicamente dividem-se em solventes verdadeiros, auxiliares e diluentes. O tipo de solvente mais usual na indústria de tintas são os hidrocarbonetos alifáticos, que são os mais simples dos solventes, constituídos por compostos saturados de vários pesos moleculares e diversas curvas de destilação, como o aguarrás mineral. (FAZENDA, 1993).

Para CETESB (2008), aditivos são ingredientes que adicionam-se às tintas para proporcionarem características especiais ou melhoria nas propriedades existentes. Atuam como importantes auxiliares na melhoria da formulação nas diversas fases de fabricação e nas propriedades do produto final. Podemos citar algumas propriedades: anti-espumantes, anti-peles, secantes, anti-sedimentantes, niveladores, plastificantes, tensoativos ou surfactantes, espessantes, biocidas e inibidores.

## 2.2. O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TINTAS

O processo de fabricação de tintas é uma sequência de etapas, nas quais as saídas de um sub-processo são as entradas de outros sub-processos objetivando a obtenção final de um produto. De acordo com a CETESB (2008):

A indústria de tintas é caracterizada pela produção em lotes, o que facilita o ajuste da cor e o acerto final das propriedades da tinta. Nas etapas de fabricação predominam as operações físicas (mistura, dispersão, completagem, filtração e envase), sendo que as conversões químicas acontecem na produção dos componentes (matérias-primas) da tinta e na secagem do filme após aplicação (CETESB, 2008, pag. 34).

Primeiramente as matérias-primas são pesadas conforme a fórmula e quando necessário precisam ser produzidas como o caso de *slurries*. A produção desta matéria-prima consiste na formação de pastas dos pigmentos (inertes, que conferem preenchimento) com solventes orgânicos ou água e alguns aditivos que proporcionam estabilidade a esta etapa como dispersantes, antiespumantes, anti-sedimentantes e outros. Esta etapa é conhecida como dispersão (CETESB, 2008)

Em seguida, na etapa de diluição ou comumente chamada de completagem de acordo com a CETESB (2008), ocorre a adição do veículo, *slurries*, outros aditivos e no ajuste dos constituintes, principalmente do solvente, até a proporção desejada. Temos assim uma base branca denominada de produto

semi-acabado, exceto quanto a tinta é de fato de cor branca, tem-se o produto acabado.

A tinta colorida tem a etapa adicional chamada de coloração. Consiste na adição dos concentrados de pigmentos ativos para o acerto de cores, também chamado de tingimento ou coloração. A tinta semi-acabada é enviada ao laboratório para realização da inspeção de saída que irá garantir que o produto seja distribuído dentro das especificações acordadas com o cliente, indicando ajustes quando necessário. Após aprovação pelo laboratório de controle de qualidade, a tinta é envasada e classificada como tinta acabada, podendo ser comercializada (ALMEIDA, 2012).

### 2.3 RESÍDUOS

O crescimento das populações urbanas, da industrialização, da melhoria aquisitiva das sociedades e das inúmeras atividades humanas resultou na geração de materiais diversos. Com o início das atividades agrícolas e da produção de ferramentas de trabalho e armas, surgiram os restos da produção e os próprios objetos após sua utilização. Como os materiais utilizados em sua maioria eram de origem natural, sua disposição indevida não provocavam grandes impactos ao meio ambiente. E ainda, o crescimento demográfico e a densidade populacional não tinham a importância atual, concordando com Guerra (2012)

Com a evolução da população e o crescimento da industrialização ocorrida nas últimas décadas, houve conseqüentemente o aumento vertiginoso de resíduos das mais diversas naturezas: biodegradáveis, não-biodegradáveis, recalcitrantes ou xenobióticos, que determinaram um processo contínuo de deterioração ambiental com sérias implicações ambientais e na qualidade de vida do homem (ROSA, FRACETO, CARLOS, 2012)

Conforme Bidone e Povinelli (1999, pag.9):

Enquanto que em um passado não muito distante a produção de resíduos era de algumas dezenas de kg/hab.ano, países altamente industrializados, como os Estados unidos, produzem anualmente mais de 700 kg/hab.ano. No Brasil, o valor médio verificado nas cidades mais populosas é da ordem de 180 kg/hab.ano.

Resíduos considerados não-reutilizados eram chamados até recentemente, de lixo. Esta palavra origina-se do latim e significa cinzas ou lixívia. No Brasil, atribuiu-se ao lixo, conforme a NBR 10.004 – Classificação de 2004, da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), a denominação de Resíduos Sólidos, que são:

Todos aqueles resíduos nos estados sólido e semi-sólido que resultam da atividade da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, de serviços, de varrição ou agrícola. Incluem lodos de ETA (Estação de Tratamento de Água) e ETE (Estação de Tratamento de Esgotos), resíduos gerados em equipamentos e instalações de controle da poluição, e líquidos que não possam ser lançados na rede pública de esgotos, em função de suas particularidades (ABNT, 2004).

De acordo com a norma acima citada, são adotados alguns critérios que permitem classificar os resíduos sólidos de acordo com sua origem e possível degradabilidade. Quanto a Origem temos os resíduos: a) urbanos: residenciais, comerciais, de varrição, de feiras livres, de capinação e poda; b) industriais: lodos provenientes do processo de tratamento de efluentes líquidos industriais, muitas vezes tóxicos e perigosos; c) de serviços de saúde: de hospitais, clínicas médicas, e veterinárias, de centros de saúde, de consultórios odontológicos e de farmácias; d) radioativos: em que se inserem os resíduos de origem atômica e e) agrícolas: processos de produção de defensivos (ABNT, 2004).

Segundo a ABNT (2004), quanto a degradabilidade, os resíduos podem ser classificados em: a) *facilmente degradáveis*: matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos, b) *moderadamente degradáveis*: papéis, papelão e material celulósico; c) *difícilmente degradáveis*: pedaços de pano, retalhos,

aparas e serragens de couro, borracha e madeira; d) *não degradáveis*: vidros, metais, plásticos, pedra, terra e outros. Os resíduos trabalhados classificam-se em moderadamente, dificilmente e não degradáveis.

Os critérios explanados acima, definidos pela NBR 10.004, convergem para a classificação dos resíduos em três classes, apresentados resumidamente no quadro 2:

Quadro 2 - Classificação dos Resíduos Sólidos de acordo com a NBR 10004:2004.

<b>Classe</b>	<b>Denominação</b>	<b>Definição</b>	<b>Exemplos</b>
Classe I	Resíduo Perigoso	Resíduo sólido ou mistura de resíduo sólidos que em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar riscos a saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente.	óleos minerais e graxas usados, resíduos de tintas, solventes, detergentes e desengraxantes, resíduos que contêm cianeto, metais pesados, ácidos ou básicos, baterias e pilhas, organoclorados.
Classe II A	Resíduo Não Inerte	Resíduo Sólido ou mistura de resíduo sólidos que não se enquadrem nas classes I e III	Sobras de alimentos, óleos vegetais, resíduos sanitários, etc.
Classe II B	Resíduos Inertes	Resíduo sólido ou mistura de resíduos sólidos que, submetidos aos testes de solubilidade, não apresentem nenhum de seus constituintes solubilizados, em concentrações superiores aos padrões definidos (Listagem 8 da Norma 10004 - Padrões para os testes de Solubilização)	vidros, madeira, certos plásticos e borrachas, tijolo, sucata (não suja de óleo).

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 10.004:2004.

### 2.3.1 Resíduos Sólidos do Processo de Fabricação de Tintas

Com o desenvolvimento industrial e tecnológico, o processo de fabricação de tintas se tornou mais robusto. Segundo Silva et al (2004, pag. 19), “este grande crescimento industrial trouxe também aumento no volume de resíduos gerados, os quais quando não corretamente dispostos ou tratados, podem causar sérios problemas de contaminação ambiental” (2004, pag.19) .

Concordando com Silva, Oliveira e Nogueira (2004):

Em todo o mundo há um esforço por parte das indústrias no sentido de diminuir a agressão ambiental causada por seus produtos. O impacto ambiental causado pelas indústrias de tintas é de difícil avaliação, pois os efluentes têm uma composição variada devido à grande quantidade de matérias-primas, reagentes e métodos de produção. Nestes efluentes, pode-se encontrar sais, corantes, pigmentos, metais e outros compostos orgânicos de estruturas variadas, que são provenientes de etapas distintas do processo global.

Por isso, o gerenciamento e tratamento de seus resíduos tornam-se tão complexos. Silva, Oliveira e Nogueira (2004, pag. 19) complementam:

O problema ambiental relacionado às tintas inicia-se desde a manufatura de seus componentes principais que são corantes ou pigmentos (...). A complexidade dos efluentes das indústrias de tintas muitas vezes não permite que os mesmos sejam tratados por métodos convencionais. Algumas alternativas já têm sido propostas para minimizar o impacto causado por estas indústrias, como por exemplo, a utilização de água como solvente diminuindo a emissão de compostos orgânicos voláteis (VOC), desenvolvimento de sistemas de co-processamento de resíduos em fornos de cimento e também um maior rigor no descarte e armazenamento de efluentes.

### **Resíduos perigosos**

Além da definição citada anteriormente (quadro 2), também são considerados resíduos perigosos (Classe I) aqueles que constem nos Anexos A ou B da NBR 10.004, como, por exemplo, no caso de tintas (quadro 3):

Quadro 3 - Classificação dos resíduos de tintas conforme NBR 10.004:2004

<b>Fonte geradora</b>	<b>Código de identificação</b>	<b>Resíduo perigoso</b>	<b>Constituintes perigosos</b>	<b>Características da periculosidade</b>
Fabricação de tintas	K078	Resíduos provenientes de etapas de limpeza com solventes em pregados em processos de produção de tintas	Cromo, chumbo, solventes	Inflamável, tóxico

Fonte: ABNT NBR 10.004: 2004. Adaptado de SITIVESP (2015).

São alguns resíduos perigosos do processo avaliado:

- **Lodo:** É a concentração de biomassa ativa resultante do tratamento biológico aeróbio de efluentes domésticos e/ou industriais em um reator aerado mecanicamente (VON SPERLING,1997).
- **Água de lavagem:** são águas residuárias do processo geradas após lavagens dos tanques de diluição, tachos e piso fabril. Este efluente tem alta carga de sólidos e segue via esgoto industrial para tratamento na ETE. É classificada como resíduo perigoso pois possui a mesma composição química da tinta, diferenciando-se apenas no aspecto de viscosidade. Extremamente fluida, possui compostos aditivos em baixa concentração impedindo sua ação eficiente, como por exemplo dos anti-sedimentantes. Isto significa que esta água gera grande sedimento de difícil remoção se em repouso por muito tempo (TELLES e COSTA, 2010).

### **Resíduos não-perigosos**

No processo de fabricação de tintas também são gerados os resíduos não-perigosos. Constitui-se basicamente de lixo doméstico, materiais recicláveis como papel/papelão, plásticos, embalagens metálicas avariadas, vidro e sucata ferrosa não contaminada proveniente das atividades humanas na fábrica.

## **2.3.2 Efluentes líquidos e gasosos no processo de fabricação de tintas**

### **Efluentes líquidos**

Proveniente da água de consumo industrial mais impurezas, devido ao seu uso, caracterizando o efluente industrial (MACEDO, CHERNICHARO, PIVELI, 2004). Este efluente é tratado para a obtenção do lodo, sólido proveniente do tratamento ao qual será dada a disposição final adequada, no caso, o co-processamento em fornos de indústrias de cimento e a água tratada dentro dos parâmetros legais para lançamento nos corpos d'água (VON SPERLING,1997).

## Processo de tratamento de efluentes líquidos

A estação de tratamento de efluentes promove os tratamentos preliminar, primário, secundário e terciário. De acordo com Braga (2005), seguem suas definições são:

- **Tratamento preliminar:** tem o objetivo de remover sólidos grosseiros e areia para proteger as unidades subseqüentes e os corpos receptores, além de evitar abrasão e obstrução em bombas e tubulações;
- **Tratamento primário:** trabalha a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis, materiais flutuantes (óleos e graxas) e parte da matéria orgânica em suspensão;
- **Tratamento secundário:** realiza a remoção de matéria orgânica dissolvida e da matéria orgânica em suspensão não removida no tratamento primário;
- **Tratamento terciário ou pós-tratamento:** remoção de poluentes específicos e/ou remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário. Neste momento, é adicionado o cloro para remoção de organismos patogênicos e viabilizar a reutilização da água.

## Efluentes gasosos

Montali (2010) afirma que os efluentes gasosos são caracterizados por poluentes atmosféricos que possuem substâncias contaminantes que causam efeito prejudicial ao ambiente, como problemas à saúde humana, efeitos adversos na vegetação, alteração em materiais, deposições ácidas e odores.

Montali (2010) afirma:

Os poluentes podem ser classificados em poluentes primários ou secundários. Poluentes primários são aqueles que podem ocasionar impactos no ambiente da maneira como são emitidos pela fonte. Poluentes secundários são aqueles formados através de reações entre os poluentes primários e compostos encontrados naturalmente no ambiente.

Estas emissões são características da indústria de tintas e precisam ser controladas. Os poluentes mais comuns são os compostos orgânicos voláteis (VOC), gases de efeito estufa e o material particulado, a saber (MONTALI, 2010):

- **Compostos orgânicos voláteis (VOC):** são quaisquer compostos orgânicos presentes na atmosfera excluindo o carbono elementar, o monóxido de carbono e dióxido de carbono. As principais fontes de VOC são o tráfego e outros processos de combustão, e evaporação de combustíveis. São conhecidos e constatados através da cromatografia, incluindo benzeno, tolueno, etilbenzeno e isômeros de xileno (BTEX) bastante conhecidos na indústria de tintas.

De acordo com a USEPA (2009) os compostos orgânicos voláteis são emitidos a partir de alguns sólidos ou líquidos que incluem tintas, materiais de limpeza, materiais de construção, equipamentos como copiadoras, materiais de escritório, incluindo colas e adesivos, preparação de madeiras, spray aerosol, combustíveis estocados e produtos automotivos, entre outros (apud Montali, 2010). Os efeitos sobre a saúde humana são irritações nos olhos, nariz e garganta; dores de cabeça, perda da coordenação, náuseas; danos no fígado, rim e sistema nervoso central. Alguns compostos orgânicos podem causar câncer em animais ou seres humanos (CETESB, 2008)

- **Gases de efeito estufa (GEE):** O Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (2007) afirma que gases globais denominados gases de efeito estufa “são aqueles que possuem potencial de aquecimento”. Estão presentes na atmosfera em sua composição natural e possibilitam com que a temperatura média da Terra seja favorável a diversas formas de vida no planeta. A indústria química é responsável por emissões de substâncias como hexafluoreto de enxofre e diversos halons carbono como os CFC's que apresentam grande potencial de aquecimento global (apud Montali, 2010). Podemos incluir também o metano, que tem um potencial de aquecimento 21 vezes maior que o dióxido de carbono; e o óxido nitroso.

- **Material particulado (MP):** De acordo com Baird (2002), compreende partículas sólidas e líquidas que devido ao seu tamanho ficam suspensas na atmosfera. Outros nomes para este tipo de material são dados de acordo com suas características (sólido ou líquido) e origens. São nomeados poeiras, aerossol, fumaça e fuligem materiais sólidos; neblina e névoa os materiais particulados líquidos (apud MONTALI, 2010).

A CETESB (2008) classifica o poluente de acordo com seu tamanho e relaciona os tipos de MP com seu potencial de causar problemas de saúde e ressalta que independente de seu tamanho este poluente prejudica a visibilidade. As classificações são (apud Montali, 2010):

- “*partículas totais em suspensão*” são aquelas que possuem diâmetro inferior a 50 $\mu$ m, uma pequena parte deste material pode ser inalada, mas prejudica principalmente a qualidade de vida da população interferindo em questões estéticas e nas atividades normais da comunidade;
- “*partículas inaláveis*” são aquelas com o diâmetro inferior a 10 $\mu$ m. São classificadas em partículas inaláveis finas (inferiores a 2,5 $\mu$ m) ou grossas (entre 2,5 $\mu$ m e 10 $\mu$ m). As partículas inaláveis apresentam efeitos agressivos à saúde humana. As partículas finas podem atingir os alvéolos pulmonares e as grossas também são inaladas, mas retidas no sistema respiratório superior.

## 2.4 A PRODUÇÃO MAIS LIMPA (P+L)

### Produção Mais Limpa significa

A aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não- geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados em um processo produtivo (SENAI.RS, 2003).

Esta abordagem induz a um desenvolvimento econômico competitivo e sustentável encorajando a inovação nas organizações (KJAERHEIM, 2005).

Ela busca a substituição das técnicas fim-de-tubo, ou se já, aquelas que focam seu trabalho no tratamento pós produção pelas por práticas que visam integrar os objetivos ambientais aos processos de produção, a fim de reduzir os resíduos e as emissões em termos de quantidade e periculosidade (SENAI.RS, 2003).

A P+L surgiu como um programa das Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) que conscientes da necessidade de desenvolver soluções definitivas e eficazes para a poluição ambiental, sugerem a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada, nos processos produtivos, nos produtos e nos serviços, para reduzir os riscos relevantes aos seres humanos e ao ambiente natural (SENAI.RS, 2003; FAGUNDES, 2010, pag. 45).

No Brasil, o Centro Nacional de Tecnologias Limpas – CNTL, desde 1995, tem a missão de “contribuir para tornar as empresas brasileiras mais eficientes e competitivas, buscando continuamente a minimização de seu impacto ambiental”. Isto significa sugerir ajustes no processo produtivo que permitam a redução da emissão/geração de resíduos diversos, podendo ser feitas desde pequenas reparações no modelo existente até a aquisição de novas tecnologias (simples e/ou complexas). (SENAI.RS, 2003).

Em suma, o princípio básico da P+L é eliminar a poluição durante o processo produtivo, não no final, de forma a utilizar menos recursos como água, energia, matéria-prima, gerar menos resíduos e poluição e aumentar a produtividade, competitividade, o lucro, a satisfação do consumidor e a qualidade ambiental (SENAI.RS, 2003).

A implantação da Produção Mais Limpa é realizada através de balanços de massa e de energia, para avaliar processos e produtos (KJAERHEIM, 2005). Com isso, identificam-se oportunidades de melhoria que levam em conta aspectos técnicos, ambientais e econômicos e são definidos e

implantados indicadores para monitoramento. Todas as matérias-primas, água e energia que entram na empresa são transformadas em produto que vai ser vendido ou que saem da empresa como resíduos sólidos, efluentes líquidos ou emissões atmosféricas, os quais devem ser tratados.

A proposta da Produção Mais Limpa caracteriza-se pela minimização e reutilização de resíduos e emissões dentro do processo produtivo e, no último caso, a reciclagem externa. Isto nada mais é do que a aplicação do princípio dos 3R's, Reduzir, reutilizar e reciclar (MANO, PACHECO, BONELLI, 2010):

### **Reduzir**

A Redução da geração na fonte muitas vezes requer a implantação de procedimentos que priorizam a não geração dos resíduos. Estas ações podem variar de implantação de novas rotinas operacionais a alterações tecnológicas no processo produtivo. É importante entender que a redução não implica em diminuir a qualidade do produto ou processo mas reordenar os materiais de forma a evitar o desperdício que resulta em custos para a organização e conseqüentemente para seus clientes e consumidores. Uma forma de usar apenas o que necessita favorecendo a conservação dos recursos naturais.

### **Reutilizar**

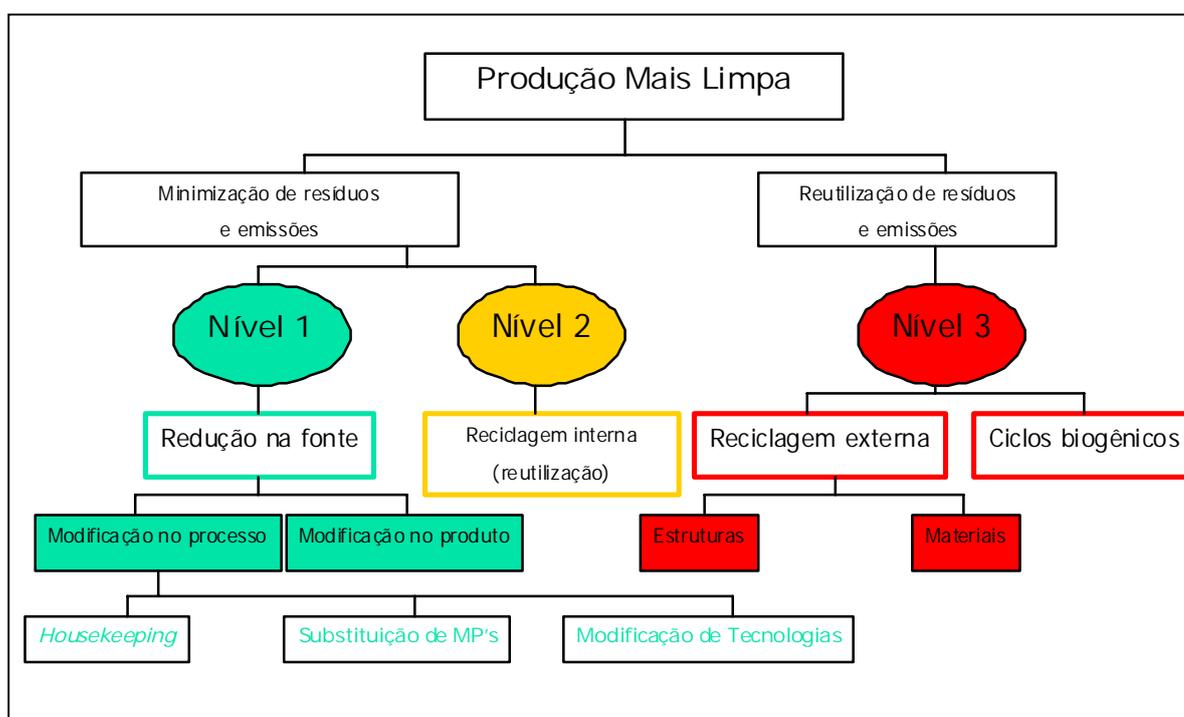
No caso da Reutilização, o resíduo “é reaproveitado sem que haja modificações na sua estrutura”. Um exemplo é a utilização dos dois lados de uma folha de papel.

### **Reciclar**

No caso da reciclagem há um beneficiamento no resíduo para que o mesmo seja utilizado em outro (ou até no mesmo) processo. Um exemplo é a reciclagem de latinhas de alumínio. As latinhas passam por um processo de beneficiamento para que o alumínio seja reaproveitado no processo.

A figura 2 relaciona a abordagem esquemática da Produção Mais Limpa e revela como prioridade o nível 1 que preza por evitar a geração de resíduos e emissões. Os resíduos que não podem ser evitados devem, preferencialmente, ser reintegrados ao processo de produção da empresa (nível 2). E, na sua impossibilidade, medidas de reciclagem fora da empresa podem ser utilizadas (nível 3). Estes dois últimos são efetuados apenas quando todas as opções no nível anterior forem tecnicamente descartadas (SENAI.RS, 2003; FAGUNDES, 2010).

Figura 2 - Abordagem esquemática da Produção Mais Limpa



Fonte: SENAI.RS (2003).

Detalhadamente, o **nível 1** da P+L enfoca a **redução na fonte** englobando as melhorias que possam ser alcançadas decorrentes tanto de modificações no processo quanto de modificações no produto. As **modificações no processo** abrangem todo o sistema de produção dentro da empresa, são as mais comumente aplicadas e podem ser decorrentes de medidas de boas práticas operacionais, substituição de matérias-primas e mudança de tecnologia (SENAI.RS, 2003; FAGUNDES, 2010):

a) **Boas práticas operacionais** (*housekeeping*): por envolver menores investimentos de capital, normalmente é o primeiro tópico a ser abordado na busca da melhoria do desempenho dos processos operacionais. Consiste na minimização de resíduos, efluentes e emissões por meio de adoção de medidas de procedimentos, técnicas administrativas ou institucionais. Molinari, Quelhas, Nascimento (2013) afirmam que pode-se incluir:

- Utilização cuidadosa de matérias-primas e materiais auxiliares;
- Operação adequada de equipamentos;
- Alterações nas dosagens e nas concentrações de produtos;
- Elevar ao máximo o aproveitamento da capacidade do processo produtivo;
- Reorganização da programação dos intervalos de limpeza e manutenção;
- Eliminar perdas devido à evaporação e vazamentos;
- Otimização da logística de compra, estocagem e distribuição de matérias-primas,
- materiais auxiliares e produtos;
- Elaboração de manuais de boas práticas operacionais;
- Treinamento e capacitação dos colaboradores.

b) **Substituição de matérias-primas** (e materiais auxiliares): além do intuito de eliminar elementos tóxicos que afetem a saúde e a segurança do trabalhador busca-se evitar a geração de resíduos, efluentes e emissões que gerem impactos adversos ao meio ambiente (FAGUNDES, 2010). Concordando com o autor, considera-se:

- Substituição de solventes orgânicos por agentes aquosos e produtos petroquímicos por bioquímicos;
- Utilização de matérias-primas com menor teor de impurezas e menor possibilidade de gerar subprodutos indesejáveis;
- Trocas de fornecedores;
- Utilização de resíduos de outros processos como matérias-primas;
- Alteração dos materiais das embalagens das matérias-primas;
- Utilização de matérias-primas biodegradáveis;

- Redução da complexidade dos processos pela diminuição do número de componentes;
- Eliminação do uso de substâncias que contenham metais pesados;
- Buscar a utilização de matérias-primas que facilitem o sistema de fim de vida de produtos.

c) **Mudança de tecnologia:** requer melhoria da *performance* ambiental (redução de resíduos, efluentes e emissões) através de modificações do processo produtivo e/ou dos equipamentos utilizados. Pode envolver desde simples alterações até mudanças complexas e onerosas, a exemplo da substituição completa de um processo. Fagundes (2010) também considera:

- Alterações de processos termo-químicos para processos mecânicos;
- Utilização de fluxos em contracorrente;
- Emprego de tecnologias que permitam a segregação de resíduos e efluentes;
- Alterações de parâmetros de processo;
- Aproveitamento de calor residual;
- Mudança total da tecnologia empregada.

As **modificações no produto** buscam eliminar características que sejam ecologicamente indesejáveis. A abordagem deste nível é complexa, pois envolvem a aceitação por parte dos consumidores pois requer a inovação por parte das organizações (um novo produto ou a renovação dele). Suas alterações podem ser positivas ou negativas quanto a padrões de qualidade e durabilidade sendo, portanto, geralmente adotadas somente após terem sido esgotadas as opções mais simples (FAGUNDES, 2010). Segundo o autor, estas modificações podem incluir:

- Substituição total do produto;
- Acréscimo na longevidade do mesmo;
- Alteração de matérias-primas;
- Alteração do design do produto;
- Utilização de matérias-primas recicláveis ou recicladas;

- Substituição de componentes críticos;
- Diminuição do número de componentes;
- Tornar viável o retorno de produtos (logística reversa);
- Melhor aproveitamento da matéria-prima através da alteração de dimensões e/ou substituição de itens.

A reciclagem é fator comum aos **níveis 2 e 3** da P+L. Segundo a norma ABNT NBR 15.702:2009 (ABNT, 2009, p.1) reciclagem “consiste em prática ou técnica na qual os resíduos podem ser usados como matéria-prima ou insumo dentro da mesma atividade que o gerou ou em outra atividade incluindo a necessidade de tratamento para alterar suas propriedades químicas ou físico-químicas” (*apud* FAGUNDES, 2010).

A **reciclagem interna** é foco do nível 2 e engloba as melhorias que possam ser alcançadas decorrentes da recuperação de materiais já utilizados no processo (matérias-primas, materiais auxiliares e insumos), dentro da própria planta industrial podendo ser usados novamente para o mesmo propósito ou para propósitos diferentes dos originais (FAGUNDES, 2010).

O **nível 3** da P+L engloba a **reciclagem externa** e **ciclos biogênicos**, enfocando os procedimentos referentes aos resíduos, efluentes e emissões que possam ser executados externamente à empresa, de forma a promover a reintegração dos materiais ao ciclo biogênico (através da compostagem, por exemplo) e/ou o retorno desses materiais ao ciclo econômico, através da utilização dos mesmos em atividades externas à empresa que os originou como em uma bolsa de resíduos (FAGUNDES, 2010).

Frente ao exposto, por sua abordagem preventiva à geração de resíduos (buscando prioritariamente a redução nas fontes geradoras) a Produção mais Limpa tem como seus pontos mais fortes a análise técnica, ambiental e econômica vinculada à detecção das oportunidades de melhoria, fomentando assim a sustentabilidade e configurando-se, portanto, como uma importante ferramenta de apoio à Gestão Ambiental das organizações (SENAI.RS, 2003).

## 2.5 REÚSO DE ÁGUA

A água apresenta um papel fundamental em quase todos os processos industriais. De solvente universal a higienização, possui diversas finalidades como matéria-prima, reagente, solvente de sólidos, líquidos e gases, transmissão de calor, resfriamento, geração de vapor em caldeiras, lavagem de pisos e outros. Em função de critérios ambientais, econômicos, técnicos ou legais, as indústrias passaram a adotar a prática de reúso da água de forma mais intensificada nas últimas décadas. Braga (2005, pag. 115) menciona:

Os custos elevados da água industrial associados às demandas crescentes têm levado as indústrias a avaliar as possibilidades internas de reúso e a considerar ofertas da companhia de saneamento para a compra de efluentes tratados a preços inferiores aos da água potável dos sistemas públicos de abastecimento.

Diante dos altos custos praticados no Brasil para a água industrial, as indústrias estão considerando fortemente a implantação do sistema de reúso de água de forma a maximizar a eficiência do uso dos recursos hídricos e reduzir custos. Como benefícios para o reúso industrial, pode-se citar:

A maximização da eficiência na utilização dos recursos hídricos; a imagem ambiental da empresa diante da adoção de uma postura proativa com o meio ambiente, garantia na qualidade da água tratada; viabilização de um sistema fechado, com descarte mínimo de efluentes; credenciamento e manutenção de certificações ambientais como ISO 14001, independência do sistema público e de suas instabilidades garantia no abastecimento (TELLES e COSTA, 2010).

Para Telles e Costa (2010, pag. 153), pode-se entender o reúso como "o aproveitamento do efluente após a extensão de seu tratamento, com ou sem investimentos". Para Braga Filho e Mancuso (2003), reúso de água:

É o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original. Pode ser direto ou indireto, bem como decorre de ações planejadas ou não planejadas.

Não há necessidade de se tratar todo o efluente gerado. Utilizar uma parcela é mais que suficiente, pois alguns tipos de efluentes requerem um processo muito exigente de purificação sendo necessária uma avaliação do custo-benefício, pois é preciso atender o princípio de adequação da qualidade da água à sua utilização. O critério está diretamente relacionado à sua finalidade (consumo doméstico, industrial, agropecuário, recreação, transporte, etc). Para Telles e Costa (2010) “é importante a escolha da técnica de tratamento de efluentes existente, aplicando-as de acordo com a necessidade, o custo e objetivo que se almeja alcançar”.

O reúso da água para fins não potáveis compensa a dificuldade de atendimento da demanda da água e sua escassez, substituindo o uso de mananciais por uma água de qualidade adequada. Com a política do reúso, importantes volumes de água potável são poupados, usando-se a água de qualidade inferior, geralmente efluentes secundários pós-tratados, para atendimento de finalidades em que sua potabilidade não seja imprescindível. (ABES (1997) apud TELLES e COSTA, 2010)

O reúso de água é uma tecnologia sustentável, reconhecida como uma das opções mais inteligentes para a racionalização dos recursos hídricos. Para tanto, os fatores preponderantes são a aceitação popular, vontade política e aprovação do mercado. No Brasil, a “Conferência Interparlamentar sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente” recomendou, sob o item Conservação e Gestão de Recursos para o Desenvolvimento (Parágrafo 64/B), que se colocassem esforços, em nível nacional, para “institucionalizar a reciclagem e reúso sempre que possível e promover o tratamento e a disposição de esgotos, de maneira a não poluir o meio ambiente”. (HESPANHOL, 2002).

Reconhece-se que o tipo de reúso mais adequado para a demanda industrial, de acordo com Brega Filho e Mancuso (2003), é o reúso interno da água, a chamada “reciclagem interna”, um caso particular de reúso direto planejado. Funciona como um suplemento no abastecimento do uso original. É utilizada antes de sofrer qualquer tipo de tratamento ou ir para o descarte. Neste tipo de reúso, de maior recorrência na indústria, a água não é

descartada no meio ambiente. O reúso industrial já tem sua aplicação difundida, mas de forma bastante dispersa no setor privado.

A diversidade das características dos processos industriais possibilita os mais diversos usos das águas servidas, tratada ou *in natura*, obtendo grande economia de água. Para isso é necessário que se tenham os devidos cuidados para se evitar possíveis problemas e danos ao processo como incrustações ocasionada pelo uso industrial de água carregada de sólidos na geração de vapor em caldeiras, torres de resfriamento, etc. podendo causar perda de energia e acidentes, aliados a custos de manutenção (HESPANHOL, 2002).

Em suma, o reúso de água requer uma avaliação da qualidade da água necessária em cada processo e a compatibilidade da água de reúso com cada necessidade específica. O nível de tratamento depende das características do efluente, das impurezas e eficiência da remoção destes poluentes, permeando pelos tratamentos preliminar, primário, secundário, terciário ou avançado, de acordo com Hespanhol (2002). Para Telles e Costa (2010):

A qualidade da água para uso em processos industriais deve manter a qualidade da água de projeto de produto, desde a fonte até a matéria-prima na fase de extração, fase de transformação, embalagem, transporte e armazenamento e distribuição.

Dessa forma, o produto é o responsável pela qualidade da água e esta qualidade poderá variar em função de cada processo industrial, ou fase de um processo, permitindo que se trabalhe com a água em diferentes etapas de produção de um único produto (TELLES e COSTA, 2010).

A prática do reúso, além de economicamente vantajosa, acompanha a tendência mundial de preservação das reservas de água bruta como medida preventiva. Portanto, uma indústria que substitui o descarte de seus efluentes por um tratamento no qual é transformado em água não potável e, assim, reutilizado dentro de seu processo, executa o que se chama de “reciclagem da água”, uma operação que regenera a água removendo contaminantes, de forma a permitir a sua reciclagem. Neste caso, a água pode ser reaproveitada no mesmo processo em que já foi utilizada. (TELLES e COSTA, 2010).

Brega Filho e Mancuso (2003) classificam o reúso industrial sugerindo apenas as modalidades macro-externa ou macro-interna. O reúso macroexterno é definido como o reúso de efluentes provenientes de estações de tratamento administradas por concessionárias municipais, estaduais ou ainda de outras indústrias. O reúso macrointerno, pode ser conduzido de duas formas: reúso em cascata, que ocorre quando o efluente de um processo é diretamente usado no processo subsequente, sendo necessário portanto, que a qualidade do mesmo seja compatível com o novo uso e reúso de efluente tratado, que trata do reúso do efluente gerado, mas após a sua passagem por um sistema de tratamento, de modo a adequar a qualidade do efluente à qualidade demandada pelo processo (HESPANHOL,2002).

Como a questão do reúso está sempre ligada à questão de custo-benefício, é necessário estar sempre prestando atenção na qualidade da água para evitar (ou gerenciar) problemas de manutenção. Incrustações, estão relacionadas à formação de depósitos salinos devido a precipitações de sais quando estes atingem concentrações tais que ultrapassam o limite da solubilidade. Podem ser derivadas do cálcio (carbonato de cálcio, sulfato de cálcio e fosfato de cálcio) principal causa dos problemas de incrustações em torres de resfriamento. Da mesma forma, o magnésio em forma de carbonato e fosfato também pode acarretar problemas (TELLES e COSTA, 2010).

A corrosão metálica pode ocorrer quando é criado um potencial elétrico entre superfícies metálicas diferentes. A célula de corrosão consiste em um ânodo, onde ocorre a oxidação do metal, e um cátodo, onde acontece a redução do outro metal. A qualidade da água é afetada enormemente pela corrosão metálica, pois contaminantes como sólidos dissolvidos totais – SDT, aumentam a condutividade elétrica da solução, acelerando as reações de corrosão. Devido ao alto potencial de oxidação, também promovem corrosão: o oxigênio dissolvido e certos metais como manganês, ferro e alumínio (TELLES e COSTA, 2010).

O crescimento biológico ocorre em ambiente morno e úmido existente dentro das torres de resfriamento e tubulações que proporcionam um ambiente ideal para promover o crescimento biológico. Nutrientes orgânicos, como o nitrogênio e o fósforo, favorecem o crescimento de microorganismos que podem se depositar em superfícies inibindo sua eficiência e o fluxo de água. Outro problema é que certas espécies podem criar subprodutos corrosivos durante sua fase de crescimento. O controle do crescimento biológico pode ser feito através da adição de biocidas, ácido para controle do pH e inibidores de incrustações e materiais biológicos (TELLES e COSTA, 2010).

Formação de *fouling* é outro problema comumente encontrado no processo de reutilização de água. Refere-se ao “processo de acúmulo e crescimento de depósitos orgânicos ou inorgânicos em diversos tipos de sistemas com recirculação”. Esses depósitos são crescimentos biológicos, de sólidos suspensos, lodo, produto de corrosão e elementos inorgânicos que inibem a transferência de calor em trocadores de calor. O controle do *fouling* é realizado pela adição de dispersantes químicos. A coagulação química e os processos de filtração requeridos para remoção de fósforos são efetivos na redução da concentração de contaminantes que contribuem para a concentração de *fouling* (TELLES e COSTA, 2010).

## **2.6 FILOSOFIA LEAN**

O ataque acirrado contra o desperdício, “Muda” em japonês, que significa qualquer atividade do ser humano que absorve recursos que não cria valor, como: erros que geram retrabalho, itens produzidos que ninguém deseja, alto nível de estoques, etapas de processamento desnecessárias, movimentação de pessoas e transporte de mercadorias de um lugar para outro sem propósito definido, pessoas esperando uma etapa anterior ser concluída fora do prazo, produtos e serviços que não atendem às necessidades dos clientes, os 7 desperdícios identificados por Taiichi Ohno, grande crítico do desperdício em toda a história (WORMAK e JONES, 2004)

O pensamento enxuto do Lean é o grande antídoto para o desperdício:

O pensamento enxuto é uma forma de identificar valor, alinhar na melhor sequência as ações que criam valor, realizar essas atividades sem interrupção toda vez que alguém as solicita e realizá-las de forma cada vez mais eficaz. Em suma o pensamento enxuto é enxuto porque é uma forma de fazer cada vez mais com cada vez menos – menos esforço humano, menos equipamento, menos tempo e menos espaço – e, ao mesmo tempo, aproximar-se cada vez mais de oferecer aos clientes exatamente o que eles desejam. (WORMAK, e JONES, 2004, pag.3)

Especificar o valor é o ponto de partida para o pensamento enxuto. Somente o cliente final pode definir o que é valor para ele. É significativo apenas quando é expresso especificamente em termos de produto (bem, serviço, ou ambos) que atenda às necessidades de um cliente a um preço e momento específicos. O valor é criado pelo produto. Do ponto de vista do cliente, é para isso que os clientes existem (WORMAK e JONES, 2004)

Wormak e Jones (2004) concordam que o fluxo de valor é “o conjunto de todas as ações específicas necessárias para se levar um produto específico (seja ele um bem, um serviço, ou cada vez mais, uma combinação dos dois) a passar pelas três tarefas gerenciais críticas em qualquer negócio: a tarefa de solução de problemas, que vai da concepção até o lançamento do produto, [...] a tarefa de gerenciamento da produção, que vai do recebimento do pedido até a entrega [...], e a tarefa de transformação física que vai da matéria-prima ao produto acabado nas mãos do cliente”

Tudo isso traduz-se na capacidade de projetar, programar e fabricar exatamente o que o cliente quer quando o cliente quer [...]. Ou seja, pode-se deixar que o cliente puxe o produto, quando necessário, em vez de empurrar os produtos, muitas vezes indesejados para ele. As demandas do cliente tornam-se muito mais estáveis quando eles sabem que podem conseguir o que querem imediatamente [...]. Em se tratando de fabricação de tintas, a fabricação não sequenciada de produtos e cores geram uma grande quantidade de *setups* com lavagem dos tanques para atender a demanda de cor do mercado (WORMAK e JONES, 2004).

## 2.7 QUALIDADE MICROBIOLÓGICA

As tintas aquosas estão sujeitas a contaminações microbiológicas que ocorrem em seu estado úmido ou seco provocando a biodeterioração. As tintas contêm diversos compostos orgânicos que servem de nutrientes para esses microorganismos; por isso, na presença dos demais requisitos, haverá crescimento microbiano. (DEUSTSCH; CANABRAVA, 1993; KAIRALLA, 1993 apud BACH, RANGEL 2005)

Essa contaminação pode ocorrer durante a produção da tinta, advindo em maior parte dos contaminantes da água, matérias-primas e também dos vasos, equipamentos, tanques e tubulações e pode impactar negativamente na qualidade do produto final. Para evitar o problema, os agentes microbicidas (biocidas), também conhecidos como fungicidas, bactericidas e algicidas, de acordo com a especificidade do seu emprego são usados para inibir o crescimento microbiano. Os mecanismos de ação dependem do contato físico entre o componente químico e os microorganismos, podendo destruir, controlar ou repelir os organismos (LACAZ, 1967; LEITE; MURRO, 1999 apud BACH, RANGEL, 2005).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A pesquisa foi realizada utilizando-se como referência, uma indústria química do ramo de tintas do Estado de Pernambuco que iniciou um trabalho de reutilização de água residuária do processo de lavagem dos tanques de diluição de tintas e equipamentos de envase (tubulações e cubas) após a fabricação de um lote, o chamado *setup*. Baseada em pesquisa quantitativa, descritiva e análise estatística de dados realizou-se as seguintes atividades

#### 3.2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE LAVAGEM E DO REÚSO DA ÁGUA RESIDUÁRIA

Realizada por meio da observação do processo e análise documental (procedimentos, instruções operacionais, etc), elaborou-se um esquema para facilitar a visualização do processo procedendo-se a sua descrição.

#### 3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DO TEOR DE SÓLIDOS, CONTAMINAÇÃO MICROBIOLÓGICA E VOLUME MÉDIO DE REÚSO DA ÁGUA RESIDUÁRIA

##### 3.3.1. Coleta de dados / amostragem

Para a coleta de dados, elaborou-se em Excel uma folha de verificação ou folha de coleta de dados das variáveis de processo. Uma folha de verificação é um formulário no qual os itens a serem examinados já estão impressos com o objetivo de facilitar a coleta e o registro dos dados, organizando-os já durante a coleta, eliminando a necessidade de rearranjo manual posterior. É construída após a definição das categorias para estratificação dos dados.

Para cada um dos 21 *setups* de fabricação de tintas base água analisados, foi coletada uma amostra de água de lavagem e da borra de tinta para realização das análises físico-químicas, microbiológicas e dos volumes gerados. As coletas foram realizadas pelo operador em recipiente

de plástico (200 ml) de cada resíduo, devidamente homogêneos e enviados ao laboratório de microbiologia que realizou as análises propostas.

### 3.3.2. **Determinação do teor de sólidos (% de não voláteis)**

#### 3.2.2.1 *Aparelhagem e materiais necessários*

- Analisador de umidade eletrônico Sartorius MA30 por radiação infravermelha
- Espátula de aço inoxidável
- Cápsula metálica com aproximadamente 60 mm de diâmetro e 10 mm de altura

#### 3.2.2.2 *Método*

Consistiu em pesar 1 grama da água residuária previamente homogênea em uma cápsula metálica e submetê-la ao aquecimento à temperatura de 110° +/- 5°C por 1 minuto.

#### 3.2.2.3 *Cálculos e resultados*

O resultado é obtido em percentual (%) de sólidos.

### 3.3.3. **Análise da contaminação microbiológica**

O método de contagem de micro-organismos viáveis em placas de Petri (CMV) é utilizado para contagem de bactérias, fungos e leveduras, considerando que cada micro-organismo irá crescer originando uma colônia após a incubação em meios de cultura sólidos. O método de contagem em placas apresenta as seguintes características:

- \_ Somente micro-organismos viáveis, ou seja, capazes de multiplicação, podem ser contados;
- \_ A contagem das colônias deve utilizar no equipamento contador de colônias;
- \_ É um método quantitativo, que fornece o número exato de organismos por mililitro de amostra.

#### 3.2.2.4 *Aparelhagem e materiais necessários*

- \_ Capela de fluxo laminar
  - \_ Bico de Bunsen
  - \_ Estufa microbiológica
  - \_ Autoclave
  - \_ Pipeta Graduada (10mL)
  - \_ Micropipeta (10µL a 1000µL)
  - \_ Ponteiras estéreis;
  - \_ Placas de petri estéreis (90 x15mm)
  - \_ Tubos de ensaio estéreis (160 x15mm)
  - \_ Solução fisiológica (NaCl 0,85%) ou Tampão fosfato 0,01M
  - \_ Meios de Cultura:
- a) Para Crescimento Bacteriano:** Tryptic Soy Ágar (TSA) (Merck 5458/Difco) ou similar, preparado conforme instruções do fabricante.
- b) Para crescimento de fungos e leveduras:** Potato Dextrose Ágar (PDA) ou Sabouraud 2% ou 4% (Merck 10130/Difco) ou similar, preparado conforme instruções do fabricante.

#### 3.2.2.5 *Método*

Adaptado da técnica de inoculação *Pour Plate*.

Transferiu-se 1 mL (1000µL) de cada uma das diluições para as placas de petri estéreis já identificadas. Acrescentou-se aproximadamente 15 mL do meio de cultura fundido, o qual deve ser resfriado a uma temperatura de aproximadamente 45°C. Realizou-se movimentos em forma de oito para homogeneizar bem a diluição da amostra com o meio de cultura. Aguardou-se a solidificação do meio. Após a solidificação do meio, incubou-se as placas na posição invertida à 35°C ( $\pm 2$  °C) para o crescimento bacteriano, e à temperatura ambiente de  $\pm 25$  °C para o crescimento de fungos filamentosos e leveduras. Validou-se o teste checando se o TSA estava estéril, incubando uma placa não inoculada com a amostra a cada lote de placas. Incubou-se as placas inoculadas com as amostras durante 120h fazendo avaliações a cada 24h.

### 3.2.2.6 Cálculos e resultados

Observou-se a última diluição que houve o crescimento do micro-organismo. Contou-se o número de colônias crescidas no meio de cultivo, cuja contagem em placa esteja entre 30 e 300 colônias. Multiplicou-se o número de colônias contadas pelo inverso da diluição utilizada para a contagem das mesmas.

**Exemplo:** Para crescimento de 30 colônias em diluição  $10^{-3}$ , realiza-se o seguinte cálculo:  $30 \times 10^3 = 3,0 \times 10^4$  ou **30.000 UFC/placa**

Os resultados foram expressos em UFC/placa (Unidades formadoras de colônias por placa). No laboratório, os resultados são expressos como <10 UFC/placa, o que significa que não houve crescimento acima do limite detectável. Os resultados também podem ser expressos conforme a abaixo (adaptado de Metodologia ASTM D-5588-97 (2012))

Quadro 4 - Legenda para resultados de taxa de contaminação bacteriana

Legenda	
0	Não contaminado
1	Traços de contaminação
2	Contaminação leve – 01 a 09 colônias por placa
3	Contaminação moderada – 10 a 99 colônias por placa
4	Contaminação severa – incontáveis

### 3.3.4. Análise estatística dos dados

A análise de dados foi realizada utilizando o programa Excel (gráfico de setores) e o software estatístico MINITAB (Gráfico Relatório-resumo: Estatísticas descritivas, gráficos de controle, *gráfico de Pareto*) que trabalha simultaneamente, com planilhas de dados, tabelas de análises estatísticas, gráficos e textos, chamados de projetos (extensão.mpj), quando salvos em conjunto. Mais utilizado em estatística aplicada à qualidade e aos métodos Seis Sigma (CAMPOS, 2003).

### 3.4. AVALIAÇÃO OS PONTOS DE ENTRAVE PARA REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA

Elaborou-se um diagrama de afinidade descrevendo-se as principais dificuldades em reutilizar a água de lavagem na visão do Operador. Trata-se uma ferramenta da qualidade para solução de problemas que tem como objetivo agrupar um grande número de ideias, opiniões e informações em grupos, conforme a afinidade que apresentam entre si. “É construído através das ideias, opiniões e outras preocupações sobre determinado problema, organizando-se em grupos baseados em uma relação natural que exista entre elas” (ALVAREZ, 2001).

### 3.5. PROPOSTA DE SOLUÇÕES ECOEFICIENTES PARA OTIMIZAÇÃO DO REÚSO DA ÁGUA RESIDUÁRIA

Para entender, rapidamente, a estrutura da aplicação da P+L no reúso de água residuária no processo de fabricação de tintas base água e para direcionar as respostas ao problema indicado com base nos princípios da Produção Mais Limpa, utilizou-se a técnica do mapa mental (*Mind Map*). De acordo com Siqueira (2012):

Mapa mental é um recurso gráfico que substitui o processo convencional de anotações sob a forma de listagem. Um bom mapa mental mostra a “fotografia” do assunto, evidencia a importância relativa das informações ou conceitos relacionados ao tema central e suas associações.

Esta técnica auxiliou na elaboração de propostas das soluções ecoeficientes, com custo e sem custo, que poderiam ser aplicadas ao processo. Consistiu na criação de um gráfico com um tema central. Ao redor, adicionou-se os principais temas ligados ao tema central. Usou-se linhas para ligar os temas principais ao tema central. Desdobrou-se cada tema principal em temas secundários. Os temas secundários foram desdobrados em novos temas até o nível de detalhamento necessário, conectando-os ao tema de origem.

Para o estudo foram realizadas pesquisas bibliográficas, consulta a artigos científicos e internet em sites de tecnologias ambientais.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. O MAPA MENTAL

O mapa mental, representado na figura 3, buscou consolidar as idéias e oportunidades de P+L no processo de produção de tintas. A cor verde representa as oportunidades para o 1º nível com foco em redução na fonte; a cor amarela, representando o 2º nível, tem foco na reutilização interna e a cor vermelha para o 3º nível, englobando oportunidades para a reciclagem interna, conforme citado anteriormente por SENAI (2003).

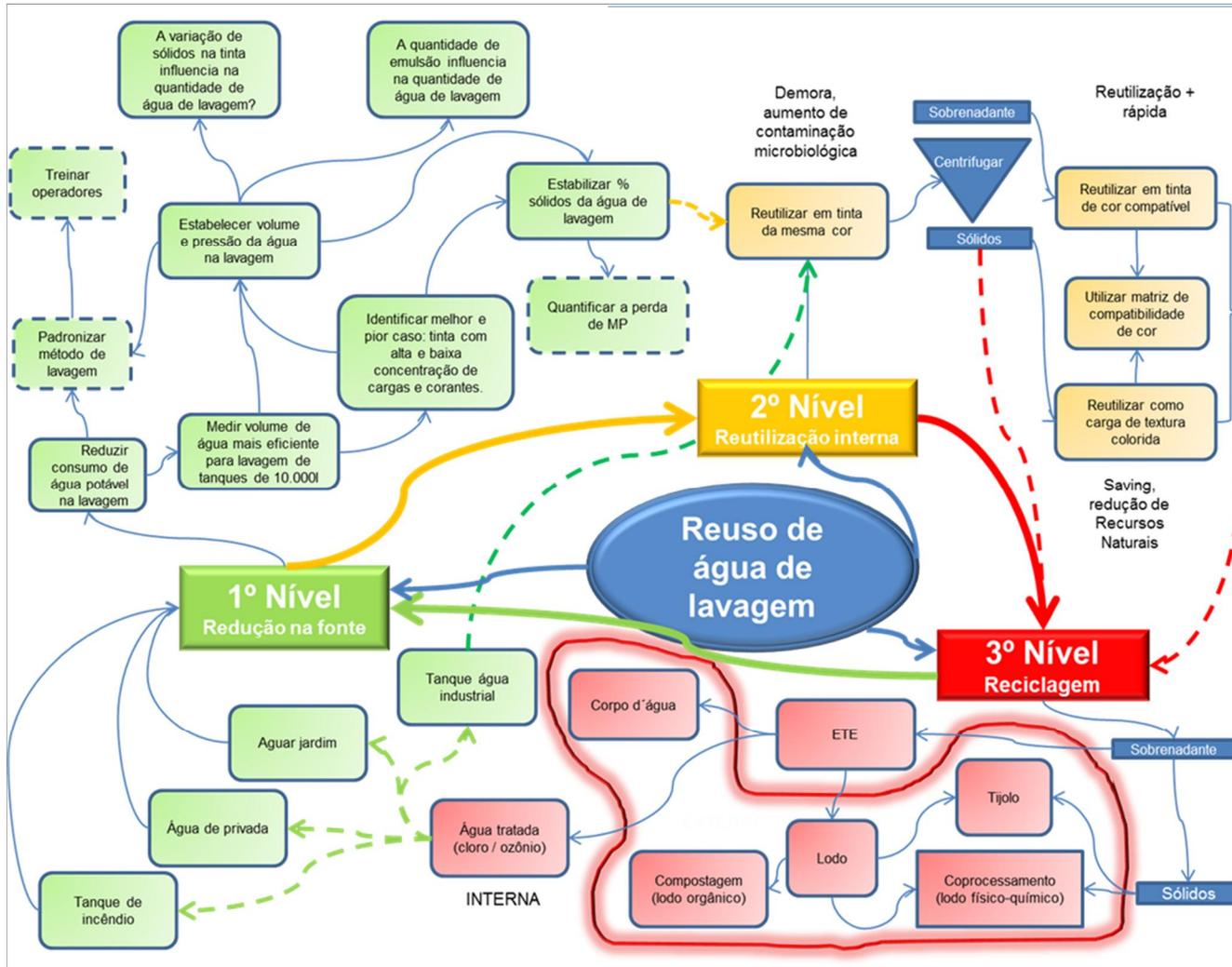
As linhas do mapa em azul saem do tema central para os níveis 1, 2 e 3 da P+L e também interligam os subníveis representando as possibilidades do reúso de água de lavagem, revelando as ideias sobre cada tema. As linhas contínuas representam as oportunidades de reúso antes do tratamento da água na ETE e as linhas pontilhadas, direcionam ideias para o reúso da água pós-tratamento.

Para o nível 1, identificou-se a redução do consumo de água industrial para a lavagem dos tanques, padronização do método de lavagem, estabelecimento do volume padrão de lavagem, utilização de água pressurizada na lavagem e treinamento dos operadores. Para a quantificação das perdas de matérias-primas, conseguiu-se a determinação, em média, do teor de sólidos da água de lavagem. Todas as opções sem custos adicionais.

A reciclagem interna do nível 2, englobou, de fato, a reutilização da água de lavagem *in natura* nos lotes de fabricação de cor compatível, a utilização de uma matriz de compatibilidade de cor que possibilitou também a aplicação do sistema lava ou não lava e a recomendação de reutilização do sólido da água de lavagem em outros produtos como massas e texturas sendo para isso a aplicação de um sistema mais avançado para sua extração como decantação ou centrifugação da água de lavagem, implicando então em custos adicionais.

O 3º nível foram identificadas recomendações para um estágio mais avançado de P+L que possibilita a utilização dos resíduos sólidos provenientes do tratamento em compostagem e fabricação de tijolos para uso além-fábrica.

Figura 3- Mapa mental para reúso de água residuária na produção de tintas base água com base na P+L



Fonte: a autora, 2015.

## 4.2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE LAVAGEM

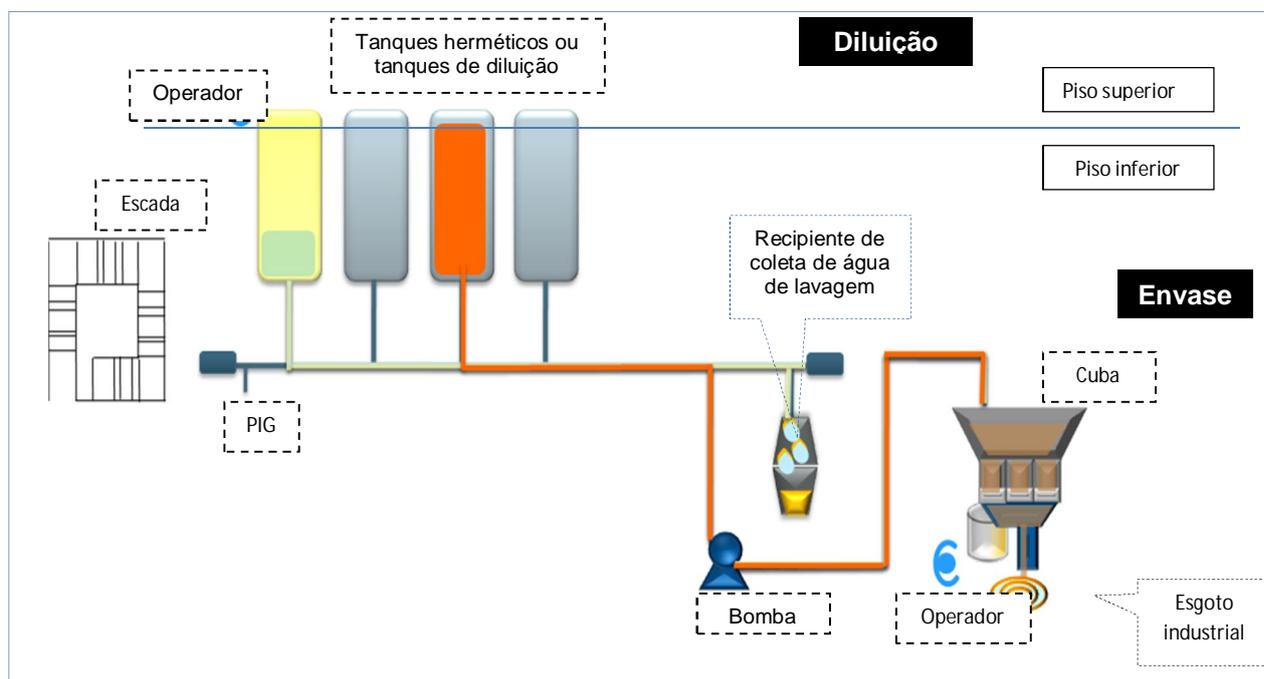
### 4.2.1. Lavagem dos tanques herméticos ou tanques de diluição e cubas de envase

A lavagem dos tanques herméticos ou tanques de diluição faz parte do processo de *setup*, conjunto de operações realizadas entre última embalagem envasada de um lote até a primeira embalagem envasada do lote seguinte. Após o completo esgotamento do tanque, procede-se a lavagem de suas paredes internas, tubulações e cubas envasadoras conforme esquema da figura 4.

Para isso, o operador fecha a válvula de drenagem do tanque no piso inferior e depois sobe pelas escadas para proceder à lavagem do tanque de diluição, no nível superior. Com a máquina de hidrojato, direciona-se o jato de água nas paredes realizando movimentos na horizontal e na vertical para desprender a tinta aderida nas paredes do tanque. A água de lavagem fica retida no fundo do tanque. No final, o operador desce novamente, abre a válvula de drenagem do tanque deixando que a água de lavagem arraste os resíduos da tubulação e da cuba de envase. A água do final da lavagem é acondicionada em um tacho ou *container*, vazio e desinfectado.

Para completar a limpeza, utiliza-se o sistema PIG (um dispositivo que se desloca ao longo da tubulação com utilização de um pequeno guincho pneumático, acoplado na boca do tubo externamente, em suporte próprio que passeia pela tubulação num movimento de vai-vem, limpando e retirando o excesso de água de lavagem da tubulação). O PIG retira o excesso de tinta e de água de lavagem que não conseguiu sair por gravidade.

Figura 4 - Esquema do sistema de lavagem de tanques e cubas.



Fonte: Autora, 2015.

O excedente de água de lavagem e as sobras de tintas contaminadas das primeiras e últimas embalagens são descartadas no esgoto industrial. A água de lavagem coletada para reutilização é devidamente identificada. Este efluente deve ser reutilizado no prazo máximo de 24 horas, na primeira fabricação de cor compatível. A quantidade de água de lavagem reutilizada é abatida da fórmula, num percentual máximo de 10% sobre o total da ordem de fabricação.

Nos finais de semana ou quando a programação não fosse favorável à compatibilidade e recuperação, podia-se prolongar a guarda das águas de lavagem por mais três dias, pela adição preventiva de biocida na proporção de 0,40 kg para cada 400L de água. A adição do biocida exige um tempo de ação do mesmo, então esta água só estaria adequada para uso, no mínimo 24h depois da adição.

Acrescentava-se na ficha de identificação a água de lavagem, o código e a quantidade do biocida utilizado. Quando utilizada a água com biocida, era contabilizada como extra-fórmula na fabricação correspondente. Caso não

fosse possível recuperar a água de lavagem no prazo estabelecido, esta era descartada no esgoto industrial, o fato era informado ao supervisor da área e o biocida utilizado, contabilizado como extra-fórmula.

#### 4.2.2. Lavagem das cubas das envasadoras

Especificamente, após a conclusão do enlatamento, faz-se necessário a lavagem da cuba da envasadora (figura 4). Este modelo de cuba, requer uma raspagem manual da sobra de tinta que é realizada pelo operador. A água de lavagem oriunda dos tanques de diluição passam pela cuba para completar sua limpeza. A quantidade de água industrial para lavagem varia entre 200L e 400L. Os efluentes gerados eram descartados no esgoto industrial

Figura 5 - Modelo de cuba quadrada



Fonte: Autora, 2015.

#### 4.2.3. Características e reúso da água residuária ou água de lavagem

O sistema de lavagem do processo de produção de tintas, como descrito anteriormente, é realizado com água industrial. A lavagem gera a chamada “água residuária ou água de lavagem”, uma água rica em sólidos e que nada mais é do que a tinta diluída que perdeu suas propriedades reológicas, ou seja, capacidade de exercer sua função. Esta água é proveniente da lavagem dos equipamentos citados anteriormente. O estudo está centralizado na

reutilização deste material, de forma a devolver ao processo estes sólidos que são, de fato, perdas de matérias-primas que geram custos com tratamento e descarte do lodo gerado na ETE.

Após várias tentativas em anos anteriores, a reutilização da água de lavagem se tornou mais efetiva com o projeto piloto em 2013. Em 2014, o processo se concretizou e foram realizadas as primeiras definições do processo, onde conseguiu-se registrar no processo as quantidades de água reutilizada, criando-se um histórico.

A reutilização consiste em aproveitar parte da água residuária como matéria-prima, em substituição à água industrial da fórmula. Para isso, o *container* (figura 5) com água de lavagem é enviado para o piso superior da planta fabril para adição a novos lotes de tinta. Este é um processo crítico pois é realizado manualmente, do transporte com utilização de transpeleteiras até a pesagem da água de lavagem a ser introduzida no novo lote.

Figura 6 - Container para coleta de água de lavagem originada no *setup*.



Fonte: Autora, 2015.

#### 4.2.4. Tratamento da água residuária excedente

A Figura 7 representa o processo de tratamento que a água de lavagem percorre ao ser descartada no esgoto industrial. Utiliza-se uma Estação de Tratamento de Efluentes de Lodo ativado, citado por Von Sperling (2007), constituída por **tanque de recepção** que recebe todos os descartes e lavagens da fábrica de tintas, o efluente bruto físico/químico. Com capacidade

de armazenar 6m<sup>3</sup> de efluente. Todo efluente recebido por este tanque é transferido por bomba pneumática para o **tanque de separação de óleos e graxas** (1). Sua finalidade é a separação dos óleos e graxos contidos no efluente físico-químico.

Após retenção e retirada dos óleos e graxos, o efluente é enviado para o **tanque de equalização** (2). A função deste tanque é receber o efluente físico-químico a ser tratado, homogeneizando este por insuflação de ar, evitando que haja decantação. Para iniciar o tratamento, após homogeneização, coleta-se amostra para análise em Jar-Test, em laboratório. Em seguida, calcula-se as dosagens de sulfato e cal que serão adicionadas ao tratamento. O efluente é enviado, através do vertedouro, para o **tanque de floculação** que recebe as soluções de sulfato de alumínio (floculante) e cal hidratada (coagulante), oxidando a matéria inorgânica retida nos flocos formados. Após adição das soluções, o efluente é enviado para **tanque de coagulação** (3).

No tanque de coagulação, a agitação é bastante lenta (por paletas) cujo objetivo é de tornar os flocos cada vez mais densos, facilitando assim, sua decantação. Terminado o processo de floculação/coagulação, o efluente é enviado para o decantador primário (4). Sua função é receber o efluente já com os flocos formados, decantando os mesmos por diferença de densidade da água. Os flocos decantam por gravidade. O material decantado segue para o poço de lodo e a água sobrenadante para os filtros de areia. O Poço de Lodo é o tanque que recebe o lodo descartado do decantador transferindo em seguida todo o material descartado para o tanque de mistura, onde será misturado ao lodo biológico para ser prensado no filtro prensa.

Os **filtros de areia** (5) são compostos por dois tanques de capacidade 4m<sup>3</sup> cada. A função principal é filtrar o efluente físico-químico já tratado evitando que algumas partículas suspensas vindas do decantador, possam ser transferidas para o tratamento biológico, pois, afetaria os microorganismos deste tratamento. Estes filtros são compostos por 6 camadas de seixos de

diâmetros diferentes e uma camada de areia fina, que retém as impurezas, sendo realizadas lavagens periódicas para retirar as mesmas. Terminada a filtração, o efluente é enviado para o tanque regulador de pH onde se encerra o tratamento físico-químico, apenas para ajuste de pH do efluente tratado e transferir o mesmo para o Seletor Aeróbio, onde se iniciará o tratamento biológico.

No Seletor Anaeróbio, se inicia o tratamento biológico, onde se mistura o efluente físico-químico tratado, o efluente sanitário e reciclo do lodo biológico. Sua função é homogeneizar, com motor a hélice, toda mistura e inibir o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis ao efluente que será submetido ao tratamento biológico através da desoxigenação neste tanque (sistema anaeróbio).

É no **tanque de aeração** (7) onde, basicamente, se processa o tratamento biológico, com aeração prolongada do lodo ativado por meio de 02 aeradores, que homogenizam e ao mesmo tempo promovem a transferência do oxigênio e dispersão do mesmo, ao incorporá-lo ao meio líquido, permitindo assim a decomposição da matéria orgânica contida na água, através dos microrganismos (bactérias e protozoários). Este tanque, por conter microrganismos favoráveis, requer atenção e análises especiais, proporcionando as condições para redução da matéria orgânica (DBO), contida no efluente sanitário. Após tratamento ou decomposição, o efluente é transferido por tubulação para o decantador biológico.

A finalidade do **Decantador biológico ou secundário** (8) é separar o lodo biológico do efluente final, por meio de decantação (diferença de peso específico). Após separação, o lodo decantado, é transferido para o poço de lodo secundário, sendo re-circulado para o seletor anaeróbio, e /ou descartado para o adensador (descarte de lodo). O efluente tratado por sua vez, segue para vertedouro final, onde por meio de tubulação, vai para caixa receptora que transfere o mesmo para o tanque aquário. O poço de lodo biológico tem a função de acumular o lodo vindo do decantador biológico, distribuindo este

para o seletor anaeróbio (reciclo de lodo), e eventualmente para o **adensador** (9).

A única função deste tanque é adensar o lodo descartado, visto que este é bastante diluído, visando o menor volume possível de água depois seguirá para o filtro prensa prensado no **filtro-prensa** (10). O **tanque de mistura** (9) irá receber os lodos físico-químico e biológico, misturando os mesmos para depois, enviá-los por bombeamento, para o filtro-prensa, onde será formado a torta, que será descarregada em tambores para destinação final. A composição desta mistura é basicamente 95% de lodo físico-químico e 5% de lodo biológico

O tratamento final pode ser representado pelo tanque aquário, pois, após a passagem no mesmo, o efluente é descartado para o meio-ambiente. Sua principal função é mostrar através de visualização que o efluente está atendendo a todas as exigências legais do órgão de controle ambiental. Este tanque serve como viveiro para criação de algumas espécies de peixes, sensíveis a poluição, mostrando assim que o efluente está em condições de ser descartado para o meio ambiente, sem poluí-lo. Hoje, parte do volume é descartado e outra parte recebe uma dosagem de hipoclorito de sódio a 10% antes da sua reutilização para a eliminação de coliformes totais e fecais.

O tanque elevatório recebe todo o desague decorrente da filtragem no filtro prensa e depois enviar todo o volume recebido para os filtros de areia, onde será recirculado para o tratamento biológico. Encerrado todo o processo da Estação de tratamento de efluentes, temos o leito de secagem para redução da umidade do lodo. Após aproximadamente 15 dias de secagem, o lodo é recolhido para tambores com cerca de 85% de sólidos, acondicionado, pesado, identificado e enviado para co-processamento. Assim é obtido o lodo, principal resíduo da indústria estudada. Um composto rico em cargas minerais proveniente das perdas de processo. A reutilização da água de lavagem proporcionará a redução do volume de lodo gerado.



#### 4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DO TEOR DE SÓLIDOS, CONTAMINAÇÃO MICROBIOLÓGICA E VOLUME MÉDIO REUTILIZADO DA ÁGUA DE LAVAGEM

Tabela 1 - Coleta de dados da água residuária

<b>Data da coleta</b>	<b>Tipo de resíduo</b>	<b>Teor de sólidos (%)</b>	<b>Contaminação microbiológica</b>
13/03/2015	Água de lavagem	7,07	0
21/03/2015	Água de lavagem	3,85	0
21/03/2015	Água de lavagem	13,19	0
23/03/2015	Água de lavagem	4,8	0
23/03/2015	Água de lavagem	10,1	0
26/03/2015	Água de lavagem	17,78	0
10/04/2015	Água de lavagem	6,16	0
10/04/2015	Água de lavagem	21,84	0
11/04/2015	Água de lavagem	11,61	0
12/04/2015	Água de lavagem	4,38	0
19/04/2015	Água de lavagem	4,99	N/A
30/04/2015	Água de lavagem	4,51	0
03/05/2015	Água de lavagem	20,36	1
09/05/2015	Água de lavagem	13,05	1
10/05/2015	Água de lavagem	13,86	0
13/05/2015	Água de lavagem	18,15	N/A
16/05/2015	Água de lavagem	5,29	0
23/05/2015	Água de lavagem	3,49	1
24/05/2015	Água de lavagem	11,87	0
28/05/2015	Água de lavagem	4,29	0
28/05/2015	Água de lavagem	14,81	0

Fonte: A autora (2015)

Tabela 2 - Coleta de dados para volume de água resduária reutilizada no ano de 2014 a Março / 2015

Data da coleta	Volume reutilizado (L)	Data da coleta	Volume reutilizado (L)
14/01/2014	402	28/03/2014	215
14/01/2014	211	28/03/2014	169
16/01/2014	254	02/04/2014	600
21/01/2014	230	03/04/2014	187
27/01/2014	181	07/04/2014	947
27/01/2014	181	08/04/2014	150
28/01/2014	194	16/04/2014	250
28/01/2014	284	22/04/2014	882
29/01/2014	239	22/04/2014	311
29/01/2014	140	09/05/2014	148
31/01/2014	137	09/05/2014	1.000
05/02/2014	233	12/05/2014	1.000
10/02/2014	333	16/05/2014	400
11/02/2014	176	23/05/2014	189
11/02/2014	140	30/05/2014	82
12/02/2014	140	05/06/2014	978
14/02/2014	174	10/06/2014	180
15/02/2014	900	11/06/2014	943
17/02/2014	71	17/06/2014	780
17/02/2014	393	19/06/2014	247
19/02/2014	200	27/06/2014	1.120
19/02/2014	700	30/06/2014	175
22/02/2014	740	25/07/2014	220
26/02/2014	104	21/08/2014	600
26/02/2014	1.000	22/08/2014	400
26/02/2014	1.100	22/08/2014	514
26/02/2014	698	23/08/2014	700
26/02/2014	1.000	25/08/2014	80
26/02/2014	292	26/08/2014	97
27/02/2014	360	29/08/2014	67
06/03/2014	2.000	29/10/2014	700
08/03/2014	189	29/10/2014	40
08/03/2014	107	31/10/2014	400
10/03/2014	900	12/11/2014	575
11/03/2014	51	12/11/2014	400
11/03/2014	1.000	13/11/2014	900
12/03/2014	133	25/11/2014	600
14/03/2014	180	28/11/2014	520
14/03/2014	900	02/12/2014	106
15/03/2014	302	03/12/2014	886
18/03/2014	500	06/12/2014	35
18/03/2014	500	13/02/2015	500
22/03/2014	957	04/03/2015	350
22/03/2014	151	06/03/2015	140
24/03/2014	820	09/03/2015	311
25/03/2014	850	09/03/2015	530
25/03/2014	796	17/03/2015	7
26/03/2014	712		

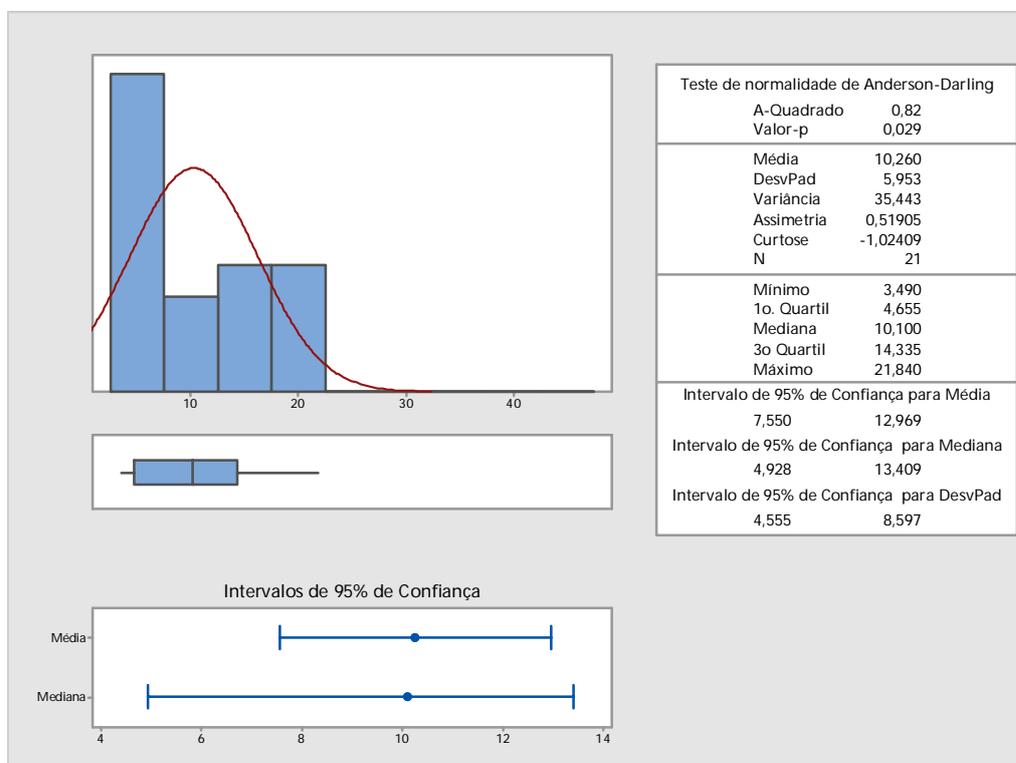
Fonte: A autora (2015)

#### 4.3.1. TEOR DE SÓLIDOS

O teor de sólidos mostra a quantidade de carga mineral contida na água de lavagem. Identifica de forma quantitativa a perda de matéria-prima sólida do processo, daí sua importância. Com base na tabela 1, elaborou-se o gráfico 1, denominado Relatório-resumo do Minitab (CAMPOS, 2003), que mostra o comportamento do teor de sólidos da água de lavagem. Informa, através do valor p ( $p\text{-value} > 0,05$ , os dados são normais), que os dados trabalhados não são normais. Isso significa que não possuem uma distribuição uniforme e não se comportam da mesma forma, evidenciando que o teor de sólidos é instável.

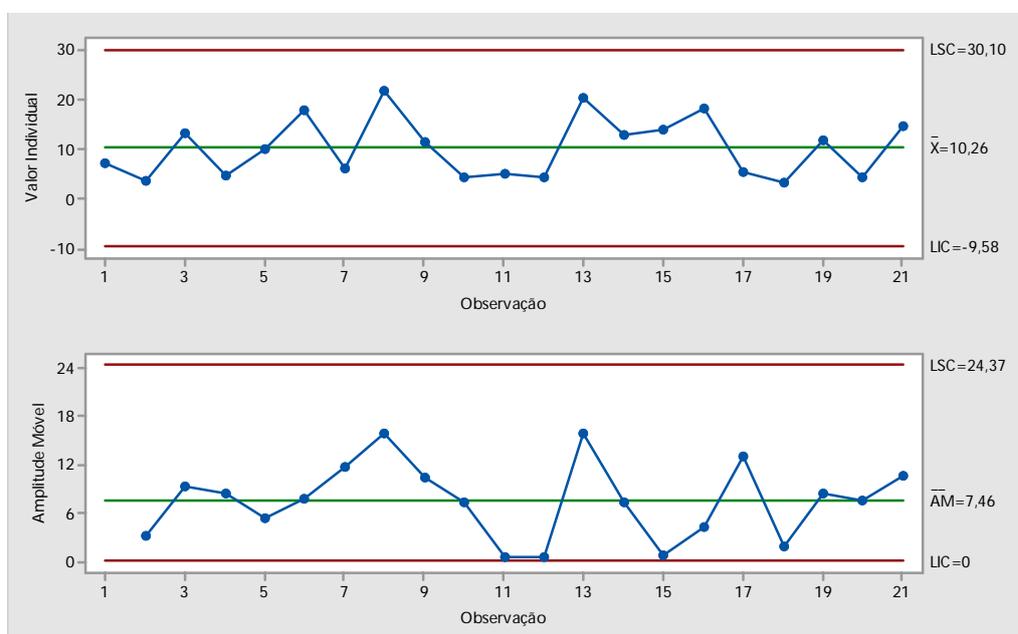
Outra importante informação é a média dos sólidos das amostras estudadas. Observou-se que a água de lavagem possui, em média, 10,26% de sólidos. Isso significa que cada 1000L de água de lavagem reutilizada, 102,6 kg de sólidos deixaram de ir para a estação de tratamento e gerar lodo.

Gráfico 1 - Gráfico Relatório – Resumo para teor de sólidos (%)



O gráfico 2 foi elaborado para analisar a variabilidade do teor de sólidos das amostras de água de lavagem do processo. Evidenciou-se que os gráficos de valores individuais e o de amplitude móvel estão dentro do controle estatístico mas possuem grande variabilidade, ou seja, o teor de sólidos das amostras variam de 7,46% a 24,37%. Isso se deve a variações intrínsecas do processo, desde a forma de lavar de cada operador até a quantidade de água utilizada na lavagem. Quanto maior a quantidade de água utilizada, menor o percentual de sólidos.

Gráfico 2 - Gráfico controle para teor de sólidos da água de lavagem, em percentual, para amostras coletadas na Produção



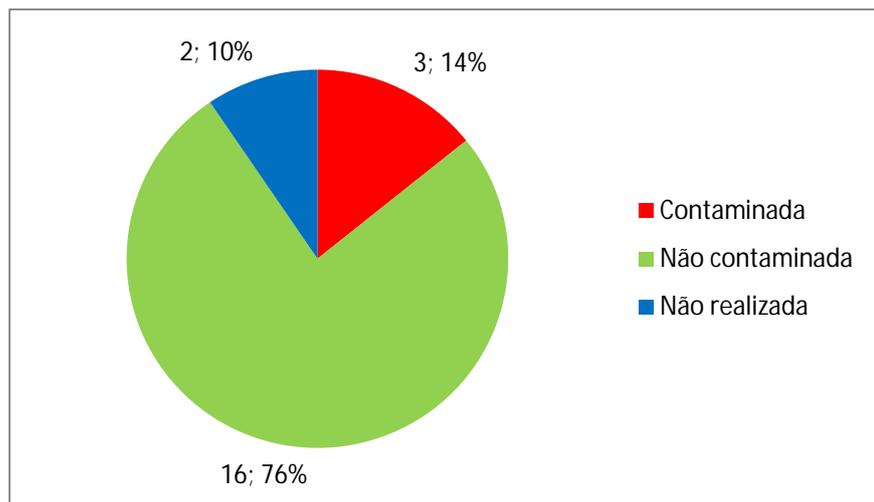
No entanto, existem outras variáveis de processo que influenciam diretamente na quantidade de água a ser utilizada na lavagem. A quantidade de emulsão da fórmula e a viscosidade da tinta, por exemplo, contribuem significativamente para uma maior aderência da tinta nas paredes do tanque solicitando mais água para sua remoção. Uemoto, Ikematsu e Agopyan (2006) afirmam que o veículo é responsável pela formação do filme que começa a se formar ainda dentro do tanque em contato com o ar atmosférico à medida que o tanque é esvaziado. Quanto mais demorado o processo de envase, mais difícil é a remoção da tinta aderida.

#### 4.3.2. CONTAMINAÇÃO MICROBIOLÓGICA

A garantia da qualidade microbiológica da água de lavagem é fundamental para a qualidade do produto final. Para isso, é necessário um monitoramento permanente dos pontos mais críticos do processo para minimizar impactos negativos.

A análise de contaminação microbiológica foi realizada em 19 das 21 amostras de água de lavagem coletadas. Em duas amostras a coleta não foi realizada adequadamente sendo necessário descartá-las. Baseado na tabela 1, evidenciou-se que 14% das amostras de água de lavagem estavam contaminadas por bactérias contra 76% não contaminadas.

Gráfico 3 - Gráfico de setor para contaminação microbiológica (UFC/placa)



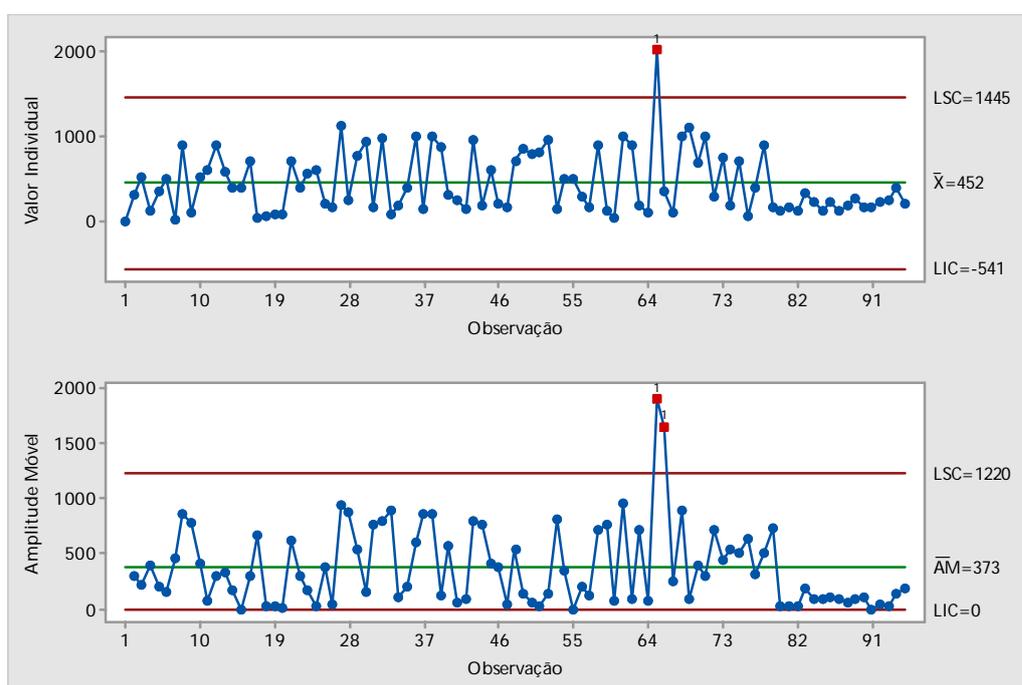
Fonte: A autora (2015)

#### 4.3.3. VOLUME MÉDIO REUTILIZADO

O gráfico 4 foi elaborado com base na tabela 2 acima citada, denominado gráfico de controle para volume médio de água de lavagem reutilizada por batelada no ano de 2014 a março/2015, mostra que em média se reutilizou 452 litros de água de lavagem por batelada. Considerou-se que os gráficos de valores individuais e o de amplitude móvel estão fora de controle estatístico pois possuem 1 e 2 pontos, respectivamente, acima do

limite superior de controle caracterizando uma causa especial de variação. Isso significa que não há uma regularização no uso, o processo ainda é muito instável com várias ocorrências de descarte por falta de oportunidade de reutilização em tinta de cor compatível. A causa especial se deve a uma recuperação de água de lavagem muito acima da média em uma única batelada. No caso foi utilizado exatamente o volume de 2m<sup>3</sup>.

Gráfico 4 - Gráfico de controle para volume médio de água de lavagem reutilizada por batelada em 2014



Fonte: A autora (2015)

#### 4.4. AVALIAÇÃO DOS PONTOS DE ENTRAVE PARA REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA

Os principais entraves para este processo podem ser observados na figura 8, no formato de Diagrama de afinidades, onde estão reunidas as opiniões dos operadores do processo. Mesmo diante dos vários benefícios da reutilização da água de lavagem ainda existem grandes perdas no processo. Um dos maiores entraves é a operação manual. Todo o processo é realizado através do operador. Todas as medidas ergonômicas foram tomadas, o deslocamento do contêiner de armazenamento da água de lavagem é realizado através de

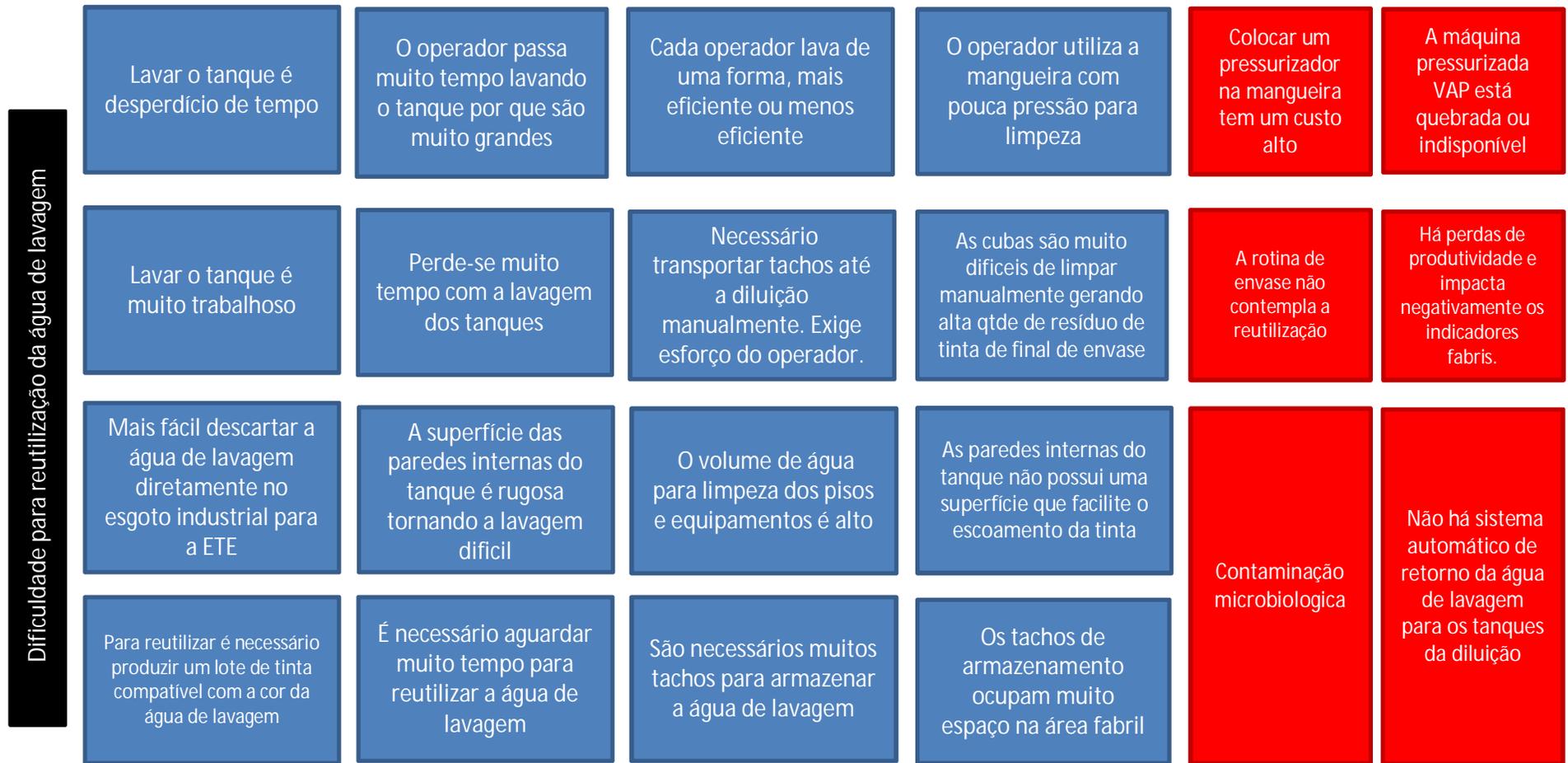
transpaleteira elétrica minimizando ao máximo o esforço do operador, ainda sim o processo depende de intervenção humana. Para os operadores é muito mais fácil, prático e rápido descartar a água de lavagem no esgoto industrial.

A comunicação ineficaz é outro entrave. Poucas pessoas, em células de trabalho distantes (piso superior e piso inferior). Foi elaborada uma gestão visual para melhorar essa comunicação entre operadores. Uma forma de sinalizar a necessidade de trocar tacho / container, o momento certo de disponibilizar a água de lavagem para o diluidor, sinalizar a disponibilidade do tanque para o próximo lote, a hora de começar a lavagem de um tanque, etc. Tudo para dirimir ruídos e erros no processo.

O tempo também foi apontado como fator de travamento do processo. O indicador de produtividade litros/hora/homem era um impulsionador. Com a adoção da filosofia *Lean* de produção puxada em que somente deve ser produzido aquilo que o cliente pede, na hora que ele precisa, auxiliou a melhorar esta prática e fazer entender que reutilizar água deve ser inerente ao processo como parte dele.

Um dos entraves mais críticos para a reutilização da água de lavagem e tinta para recuperação é a contaminação microbiológica. Este é um fator decisivo para se reutilizar este tipo de resíduo.

Figura 8 - Diagrama de afinidades para causas potenciais da dificuldade para reutilização de água de lavagem no processo de produção de tintas



#### 4.4. SOLUÇÕES ECOEFICIENTES PARA OTIMIZAÇÃO DO REÚSO DE ÁGUA

##### 4.4.1. Proposta e padronização do sistema de lavagem e do reúso de água

Na padronização do sistema de lavagem foram elaborados documentos chamados instruções operacionais. Trata-se de um passo a passo em forma de tabela em que consta a descrição das atividades, o responsável e onde a atividade deve ser realizada. O quadro 5 descreve a instrução operacional para a lavagem dos tanques de diluição.

Quadro 5 – Instrução operacional para limpeza do tanque de diluição

Nº	Descrição da Atividade	Responsável	Onde
1	Ao final de cada envase o operador deve analisar através do supervisor se há ou não necessidade de lavagem do tanque.	Operadores do envase	Envase
2	Se sim, a lavagem dos tanques de 10kL só deverá ser realizada com utilização da máquina de hidrojato e para os tanques de 20kL com mangueira pressurizada, utilizar lanterna para facilitar a operação.	Operadores do envase	Envase
3	A lavagem deve ser realizada setando o volume em 150 L de água no supervisor.	Operadores do envase	Envase
4	O operador deverá direcionar o jato de água para as paredes do tanque em 360° e ao longo de todo o eixo das paletas, realizando movimentos para cima e para baixo.	Operadores do envase	Envase
5	Ao final da lavagem do tanque o operador, deverá solicitar ao colorista e diluidor que validem a limpeza.	Operadores do envase / Coloristas / Diluidores	Envase / Diluição / Coloração
6	Caso a limpeza não seja validada pelo colorista e diluidor, deverá ocorrer uma nova lavagem, setando o volume em 150L, podendo ou não utilizar este volume. Ao término, solicitar novamente a validação da limpeza pelo colorista e diluidor.	Operadores do envase / Coloristas / Diluidores	Envase / Diluição / Coloração
7	Quando algum tanque for esvaziado no final de um turno e houver a necessidade de lavagem do tanque, a mesma deverá ser realizada pelo turno seguinte.	Operadores do envase	Envase
8	Água residuária deve ser acondicionada e devidamente identificada, em containers higienizados devendo ser reutilizada no turno seguinte.	Operadores do envase	Envase
9	Caso o turno seguinte não consiga reutilizar a água, deverá ser adicionada a quantidade necessária de biocida à mesma para ser reutilizada em até 24 h.	Operador do envase	Envase
10	Disponibilizar container para diluidor	Abastecedor	Diluição

A instrução operacional para a limpeza das cubas das emvasadoras está descrita no quadro 6, mais especificamente para as cubas quadradas que requerem limpeza manual.

Quadro 6 – Instrução operacional para limpeza da cuba quadrada.

Nº	Descrição da Atividade	Responsável	Onde
1	No final do envase, passar o PIG para retirar o resto de tinta da tubulação até a cuba.	Operador do envase	Envase
2	Retirar o máximo de tinta da cuba transferindo para o tambor de coleta de tinta recuperada. <b>Nota 1:</b> Não descartar resíduo de tinta no esgoto industrial, em hipótese alguma. Este material deverá ser aproveitado em outro lote de produção de cor compatível	Operador do envase	Envase
3	No caso de tanques que não foram lavados, as tubulações do envase e a cuba devem ser “lavados com a tinta subsequente”. <b>Nota 2:</b> As primeiras embalagens envasadas estarão contaminadas com a cor anterior e deverão retornar para o tanque para homogeneização e aproveitamento	Operador do envase	Envase
4	No caso de tanques que precisaram de lavagem, liberar a válvula do tanque para lavagem das tubulações e cuba da emvasadora com a água de lavagem.	Operador do envase	Envase
5	Passar o PIG posteriormente, e coletar a água da lavagem em container apropriado e desinfestado, identificando adequadamente o container.	Operador do envase	Envase
6	Comunicar ao diluidor o fim da limpeza para providencias de produção de novo lote.	Operador do envase	Envase

Para facilitar a rotina dos operadores e incorporar a atividade de reutilização de água, elaborou-se uma instrução operacional para a operação de reúso de água residuária no processo de produção (quadro 7).

Quadro 7 - Quadro Instrução operacional para Reutilização da água de lavagem

Nº	Descrição da Atividade	Responsável	Onde
1	No início do turno, o diluidor deverá seguir a programação ou regra de nivelamento (caso disponível), sabendo que a sequência desta lista sugere a ordem de priorização a ser dada na produção.	Diluidor	Fábrica
2	Programar um tanque para cada máquina de envase	Diluidor	Fábrica
3	Verificar se existe ordem de produção com cor compatível com a cor final da água de lavagem coletada	Abastecedor	Envase
4	Se sim, disponibilizar para a diluição o container com a água de lavagem devidamente identificada com a ficha de registro virando a gestão visual para a posição verde.	Abastecedor	Envase
5	O diluidor orientado pelo colorista deverá reaproveitar até 6% do total da ordem de produção, substituindo a água potável da fórmula pela água de lavagem da produção do dia. Nota 3: A quantidade não deve exceder a quantidade total de ordem da fórmula	Diluidor / colorista	Diluição
6	Após a reutilização, o diluidor deverá indicar que há container disponível para a coleta virando a placa vermelha da gestão visual.	Diluidor	Diluição
7	Proceder a execução da ordem de produção	Diluidor	Diluição
8	No final do envase, consultar o supervisor para verificar a necessidade de lavar ou não o tanque, informando o código do próximo produto a ser produzido.	Diluidor	Fábrica
9	Se a mensagem for "lavar", clicar no botão <b>LAVAR</b> no supervisor, caso contrário <b>NÃO CLICAR EM LAVAR.</b>	Diluidor	Diluição
10	Após lavagem, clicar no botão: <b>TANQUE LIMPO</b> do supervisor	Operadores do envase	Fábrica
11	Ao final de cada turno, caso não haja diluição programada no dia para os tanques compatíveis com a próxima produção, indicar no supervisor a necessidade de colocar água no tanque, informando <b>LAVAR</b> nos tanques em questão	Diluidor	Fábrica

Contemplou-se as melhores práticas atuais dentro das limitações do processo produtivo. Os envolvidos nas atividades deverão ser treinados para executar o passo a passo representado nos quadros 4, 5 e 6 descritos de

forma detalhadas na instrução operacional de forma a garantir a qualidade do processo e do produto final.

O reúso de água nesta concepção é caracterizado como reúso microinternos pela reutilização da água bruta antes do tratamento do efluente na ETE, sem custos adicionais.

#### 4.4.2. Trabalho padronizado para lavagem dos tanques

Uma das propostas é evoluir a instrução operacional para o trabalho padronizado (TP). Uma ferramenta *lean* básica, centrada no movimento e trabalho do operador e aplicada em situações de processos repetitivos, visando a eliminação de desperdícios. Esta ferramenta define o tempo de execução de uma atividade cronometrada passo a passo. Dessa forma, a atividade passa a ter um tempo padrão de execução diminuindo a variabilidade do tempo que constitui o indicador de processo. Estabelece procedimentos precisos para o trabalho de cada um dos operadores em um processo de produção, baseado em três elementos de acordo com Kishida, Silva, Guerra (2006):

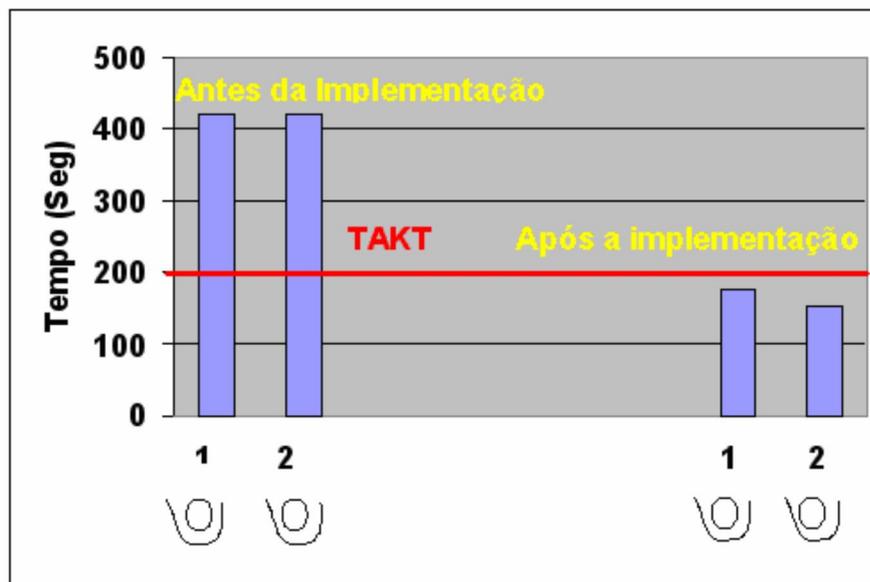
1. **Tempo *takt***, o ritmo em que os produtos devem ser produzidos para atender a demanda do cliente.
2. **Seqüência de trabalho** em que um operador realiza suas tarefas dentro do tempo *takt*.
3. **Estoque padrão de processo**, incluindo os itens nas máquinas exigidos para manter o processo operando suave e continuamente.

Kishida, Silva, Guerra (2006) reforçam que o trabalho padronizado “permite a prática do *Just In Time* e do *Jidoka* (Autonomação) além de assegurar uma estabilidade básica nos processos para garantir que eventuais melhorias sejam mantidas de forma contínua”. O Trabalho Padronizado não é o mesmo que Padrão de Trabalho. Eles não são sinônimos. Como exemplo, o padrão de trabalho é um documento onde estão as especificações de processo e produtos (comprimentos, diâmetros, tolerâncias, etc).

Para isso, segundo Kishida, Silva, Guerra (2006), é realizada a coleta de tempos operacionais no próprio local de trabalho através da “observação direta no "gemba" (chão de fábrica), deixando de lado os tempos padrões de Engenharia, e o apoio dos líderes e operadores envolvidos” obtendo, dessa forma, o gráfico de balanceamento do operador (GBO) para cada operador, tendo como referência o tempo takt.

A figura 9 exemplifica os tempos antes e depois da implementação de um Trabalho Padronizado. Kishida, Silva, Guerra (2006) explica que “os tempos de ciclo dos operadores excediam o tempo takt, ou seja, eles não conseguiam atender a demanda dos clientes com a jornada de trabalho existente, obrigando a empresa a recorrer a horas extras”. Após a implementação do TP, o gráfico mostra que os operadores passaram a operar abaixo do takt permitindo atender a demanda com folga.

Figura 9 - Modelo de Gráfico de balanceamento do operador (GBO).



Fonte: Kishida, Silva, Guerra (2006).

Kishida, Silva e Guerra (2006) descreve as principais melhorias após a implantação do Trabalho Padronizado: as cargas de trabalho passam a ser

distribuídas dentro do tempo takt, a demanda dos clientes passa a ser atendida sem necessidade de horas extras, elementos de trabalhos podem ser transferidos para outras operações, diminuição da necessidade de caminhar trazendo para próximo do operador tudo o que é necessário para ele, eliminação ou diminuição significativa do esforço do operador com seu trabalho no ritmo takt. Os elementos da operação agora são realizados de forma ritmada, sem esforço excessivo do operador e ainda com uma folga no processo para atender variações de mercado (MULHOLLAND, 2006).

É importante salientar que as alterações a ser realizadas precisam ser testadas e aprovadas pelos operadores que realizarão as atividades. Estas alterações, implicam em mudanças de layout de máquina, disposição de equipamentos e do próprio operador. Neste momento, a operação é repensada com foco no aumento da eficiência do processo sem necessidade de investimento financeiro.

Kishida, Silva, Guerra (2006) citam como benefícios da implementação, além da realização de nenhum investimento, as seguintes conquistas para a planta fabril: redução do Estoque Padrão de Processo, eliminação do deslocamento do operador com diminuição da carga de trabalho, aumento da produtividade com o balanceamento das operações, pois o produto é fabricado dentro do tempo takt, evitando sobrecargas e horas extras, satisfação dos colaboradores e redução do risco de acidentes, entre outros.

#### **4.4.3. Projetos de melhoria contínua para o zero desperdício**

Processos que geram resíduos reduzem a rentabilidade da empresa. A filosofia lean adotada pela empresa recomenda a elaboração de um A3 (figura 21). Este documento se resume na elaboração de um planejamento de ações em uma folha de A3 de forma direta e objetiva. Nele constam o *background* ou histórico do problema, situação atual, análise, situação futura, objetivos, metas e plano de ação. Ações que visem a prevenção da poluição, minimização de resíduos e programas de produção mais limpa pode reduzir o desperdício aumentar a rentabilidade. Isso inclui ações contínuas de

conscientização e intervenções fabris com objetivos e metas bem traçadas e definidas.

Em complemento, outras ações podem ser realizadas neste formato como campanha de conscientizações para reduzir os demais tipos de resíduos igualmente impactantes como o resíduo doméstico, papel fardado, sucata metálica, borras e etc., criação de grupos de melhoria para problemas de difícil solução, desenvolvimento de fornecedores de serviço de co-processamento muitas vezes selando parcerias em que o cliente precisa desenvolver o fornecedor para que ele forneça de acordo com suas necessidades.

#### **4.4.4. Aplicação de vidro líquido nas paredes internas dos tanques**

O vidro líquido é uma tecnologia inovadora baseada em Dióxido de Sílica ( $\text{SiO}_2$ ), que permite criar revestimentos de vidro invisíveis e super duráveis em escala nanométrica (até 500 vezes mais finos que um fio de cabelo humano) para praticamente qualquer tipo de superfície, tornando-a fácil de limpar, e protegendo-a de agentes externos. Os revestimentos podem se tornar indetectáveis, superfóbicos (repelem água e óleo), antimicrobianos, super resistentes, flexíveis, suportam calor, são respiráveis, fisiologicamente inofensivos, fáceis de aplicar e ecologicamente corretos, e suas características impressionantes já foram noticiadas pela mídia por todo o mundo, pelo rádio, televisão e imprensa escrita.

Esta tecnologia é a solução de muitos problemas em residências, indústrias, setor da saúde e na produção e manuseio de alimentos. Nessas áreas a limpeza é vital, e os revestimentos de vidro líquido já se mostraram extremamente eficientes, pois uma superfície suja pode se tornar um ambiente fértil para a proliferação de bactérias. Pode-se chegar a até 60% de economia com produtos químicos de limpeza, e em muitos casos basta utilizar água. Em essência, a tecnologia permite que se deposite uma camada de escala nano-molecular, com partículas de vidro, sobre a superfície da maioria dos materiais. As moléculas de vidro (dióxido de silício /  $\text{SiO}_2$ ) vêm da areia de quartzo puro, do qual há vastas reservas em nosso planeta, (o

dióxido de silício é um dos compostos mais abundantes na Terra). Tal como vidro interno, os revestimentos são quimicamente inertes e altamente resistentes a ácidos. Os revestimentos também oferecem resistência aos álcalis e solventes.

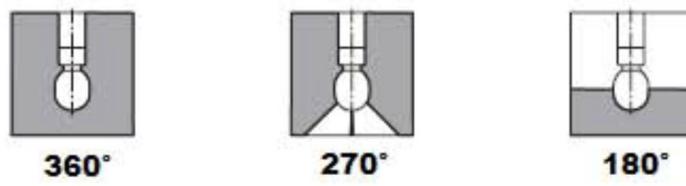
A aplicação da camada de vidro líquido é surpreendentemente fácil. Após a limpeza preparatória, itens como lavatórios, para-brisas e tecidos podem ser revestidos em questão de segundos. A grande maioria das superfícies revestidas podem ser limpas apenas com água, o que reduz muito o uso de produtos de limpeza prejudiciais para o meio ambiente.

Muitas empresas desejam saber se um revestimento de  $\text{SiO}_2$  será apropriado para aplicação em seu produto ou ambiente de trabalho. Em essência, esses revestimentos podem ser aplicados a praticamente qualquer superfície, e na maioria dos casos, existem soluções prontas no mercado para a maioria das necessidades e mais variados tipos de empresas e aplicações. É importante salientar que este revestimento não é aplicado apenas em escala nano. Ele pode ser aplicado em uma escala mais espessa de acordo com a exigência do processo.

#### 4.4.5. **Sistema de lavagem dos tanques com *spray ball*.**

É um dispositivo apropriado para aplicações sanitárias de limpeza e higienização. Usa baixos volumes de líquidos e baixa pressão. O fluxo de solução de limpeza faz com que a cabeça do *spray ball* gire, provocando jatos em torno da parte interna do recipiente. Isso gera um impacto oscilante do fluxo cobrindo toda a superfície interna do tanque ou reator. O dispositivo é auto limpante, característica alcançada através dos rasgos na sua parte superior. Isso substituiria a operação de lavagem manual realizada pelo operador tornando a lavagem automática, rápida e eficiente. Impacta em aumento de produtividade, diminuição do esforço físico do operador, eficiência de lavagem. O dispositivo e seu funcionamento podem ser visualizado nas figuras 10, 11 e 12.

Figura 10 - Modelos de spray ball



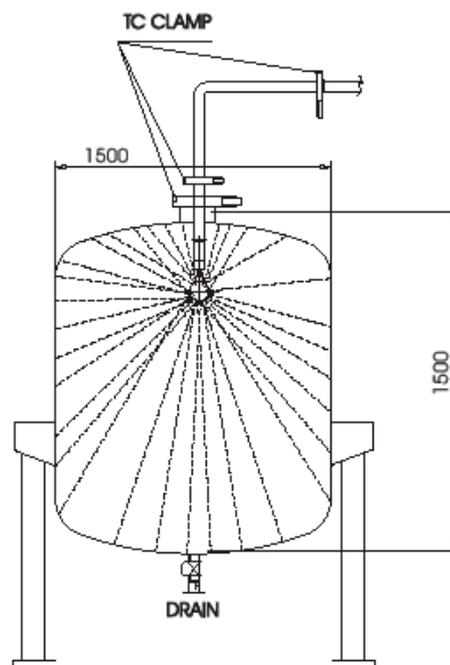
Fonte: Metallimpo, 2015.

Figura 11 - Modelo de funcionamento de um *spray ball*.



Fonte: Metallimpo, 2015.

Figura 12 - Esquema de lavagem de um *spray ball* em tanque

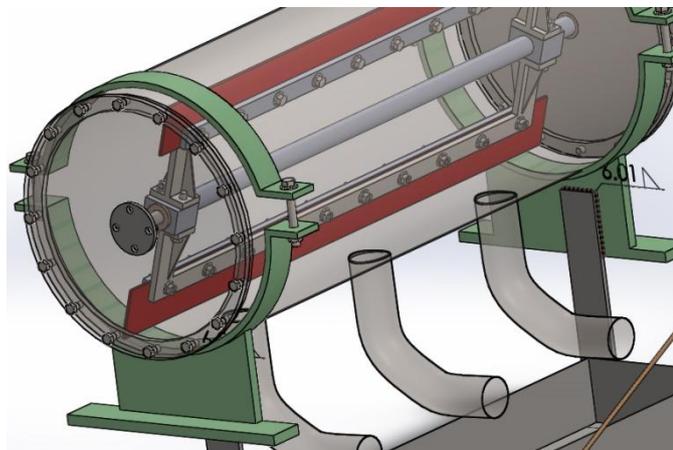


Fonte: Khodalsteel, 2015.

#### 4.4.6. Utilização de cubas autolimpantes

A cuba foi idealizada por um colaborador através de um projeto Green Belt. Ele buscou reduzir o tempo de *setup* do processo de envase de uma das dosadoras que atende as tintas coloridas substituindo a cuba quadrada por uma cuba autolimpante. Inicialmente a cuba foi implantada em uma envasadora tipo gravimétrica e deve ser instalada nas outras envasadoras tamanho é seu custo benefício. A cuba autolimpante (figura 13) tem o formato cilíndrico e o seu funcionamento é dado pelo giro de um raspador interno. Quando cheia, o raspador impulsiona a tinta para os bicos de envase promovendo a homogeneização do produto. Quando vazia, o raspador desliza pelas paredes carregando os restos de tinta aderida na parede, deixando praticamente limpa apenas com alguns traços de produto. Esse formato não possui cantos o que contribui para a eliminação do acúmulo de tinta no recipiente.

Figura 13 - Modelo de cuba autolimpante.



#### 4.4.7. Utilização de sistema fechado de reúso de água

Consiste em captar a água de lavagem no piso superior e transferi-la para um tanque-pulmão de armazenamento no piso superior. Este tanque pulmão armazenaria a água de lavagem por um período determinado sob um sistema de constante agitação. A água de lavagem captada no piso inferior seria transportada por bomba para o piso superior. A dosagem para o tanque

de diluição para a próxima batelada também seria através de supervisor com programação automática. O operador apenas programaria a quantidade de água de lavagem e o tanque de destino.

A água de lavagem passa a ser utilizada novamente no processo como matéria-prima tal qual é recolhida (com grande quantidade de sólidos e cor intensa) mas com uso restrito em tintas com cores compatíveis. A água de lavagem no tanque pulmão precisaria de um monitoramento rigoroso para garantir a qualidade microbiológica e características físico-químicas. Por exemplo, a produção de um dia, seria analisada em volume, percentual de sólidos, pH e cor. Após sua identificação (quadro 8), será necessário adição de biocida extra para inibir o ataque microbiológico além de desinfecção periódica (LIMA, 2015)

Quadro 8-Modelo de etiqueta para recipiente de armazenagem da água de lavagem.

<b>Data</b>	07/08/15
<b>Volume</b>	900L
<b>Sólidos</b>	10%
<b>pH</b>	8,5
<b>Cor compatível</b>	Vermelho

Fonte: A autora (2015)

Uma água de lavagem com as características acima poderia ser reutilizada em 03 lotes de cores compatíveis como marrom, vermelho, rosa, laranja, etc. num volume de 300L para cada reuso sem prejuízo de alterações na especificação final da tinta mas com algumas economias como:

- **redução do uso de água potável:** uma fórmula que exige 1000l de água potável, utilizaria apenas 700L de água potável e 300L de água de lavagem.
- **redução do consumo de concentrados de pigmentos:** uma água já colorida exigirá menos pigmento do que solicitado na fórmula.

#### 4.4.8. Sistema Lava / Não-lava

Consiste em programar no supervisório a necessidade de lavagem do tanque em relação a próxima tinta. Para isso, uma matriz de cor foi elaborada indicando as cores compatíveis entre si. Dessa forma, o operador precisa apenas informar a cor da próxima tinta e o supervisório avisa se será necessário lavar ou não o tanque. Isso minimiza a necessidade de lavar o tanque. Quanto menos lavagem, menos desperdício de tempo e recursos naturais aplicando a filosofia Lean de gerir.

#### 4.4.9. Utilização de decantador primário na entrada da ETE

Recomenda-se o uso de um decantador na entrada do processo da estação de tratamento de efluentes como intuito de reter possíveis sólidos que escapem do processo produtivo. Uma forma de impedir a entrada do sólidos no sistema de tratamento e garantir que apenas o sobrenadante seja tratado, aumentando a vida útil da ETE. Dessa forma, o sólido pode ser retirado e alocado em tambores para envio direto ao co-processamento. Para a planta em questão, um decantador compacto atenderia seu propósito, poupando recursos e espaço físico (figura 14).

Figura 14- Modelo de decantador



Fonte: Leal Engenharia Ltda, 2015

De acordo com Leal Engenharia Ltda (2015), o sistema de Decantação é “aplicado em processos de tratamento de efluente, com a finalidade de remoção de partículas sólidas em suspensão através do processo de

sedimentação, ou seja, os flocos de sujeira mais pesados do que as águas decantam e se depositam no fundo do decantador”. O efluente a ser clarificado é introduzido ao tanque através de sistema de alimentação central, visto que tal sistema permite a alimentação do tanque de decantação de forma constante e uniforme, diminuindo os efeitos de turbulência. A retirada do lodo (sólidos que se sedimentam no fundo do decantador) é efetuada através de sistemas de descargas de fundo automáticas ou manuais. A água purificada através da separação, é retirada pela parte superior do equipamento, através de “calha coletora” ao tanque de decantação. Projetados para atender as necessidades específicas.

#### **4.4.10. Reúso da água pós - tratamento na ETE**

Existem varias possibilidades de reúso da água do pós-tratamento. São eles:

##### **4.4.10.1. Fora do processo produtivo**

Concordando com Hespanhol (2002), é possível reutilizar esta água de diversas formas. Este tipo de reúso para o autor, classificado como macro interno, possui demanda imediata e não exige níveis elevados de tratamento. A cloração, por exemplo, já se faz suficiente e pode ser utilizado em: irrigação de jardins: Utilizar o efluente tratado e clorado para irrigação de jardins, preparação de soluções na própria ETE, Descarga em sanitários, Resfriamento, Lavagem de pisos, Reserva de água para incêndio, testes e treinamento da brigada de incêndio.

##### **4.4.10.2. Dentro do processo produtivo**

A água pós-tratamento pode ser utilizada como matéria-prima no processo industrial, maior paradigma de todos, reduzindo na fonte o uso de uma água nobre para uso industrial. Para Hespanhol (2002), este tipo de reúso “é classificado como reúso interno específico onde consiste em efetuar a reciclagem de efluentes de quaisquer processos industriais, nos próprios processos nos quais são gerados ou em outros

processos que se desenvolvam em sequência”. Para o caso em questão, é necessário o uso de uma água mais polida, para isso, já existem algumas tecnologias disponíveis:

**a) Filtração por membranas**

Para casos específicos como este, em que é necessário uma alta qualidade da água de reúso, pode ser empregada a técnica de filtração por membranas. A escolha da porosidade da membrana é feita com base na especificação da água que se quer obter. O uso de membranas tem se tornado mais comum com a popularização de seus sistemas e a redução dos custos em função do desenvolvimento da tecnologia dos materiais. Há casos de grandes instalações convencionais serem substituídas por sistemas compactos, equipados com unidades de membranas. (TELLES e COSTA, 2010).

**b) Desinfecção com ozônio (ozonização)**

Para Lima, P. (2014), a ozonização (figura 28) é utilizada em processos de sanitização e desinfecção em geral, estes sistemas foram projetados para diversos segmentos inclusive a indústria química. Uma tecnologia limpa, moderna e economicamente competitiva com a cloração. Em qualquer processo oxidativo, seja para uma determinada reação química, seja para eliminar micro-organismos e contaminantes, o ozônio pode ser utilizado de forma muito eficiente, sendo até 3.120 vezes mais eficaz que produtos químicos oferecidos no mercado.

O ozônio é uma molécula composta por três átomos de oxigênio diferentemente do oxigênio atmosférico que contém apenas duas moléculas. Nas condições ambientais normais, apresenta-se sob a forma gasosa em condições ambientais normais, sendo altamente reativo e instável, o que significa que precisa ser produzido no local pois seu transporte e armazenamento tornam-se inviáveis. O alto interesse no uso de ozônio para desinfecção deve-

se ao seu poder oxidante pois trata-se de uma das substâncias de mais alto potencial de oxidação aliado a outras características (LIMA,P, 2014)

Na água, o ozônio realiza três funções: oxidação, precipitação e sanitização. No passado, o uso mais intenso do ozônio foi inibido pelo alto investimento de capital e custo operacional das instalações de produção, bem como a elevada toxicidade do produto. Recentemente foram desenvolvidas tecnologias muito econômicas de produção de ozônio em baixas concentrações tornando a sua aplicação altamente interessante (LIMA,P, 2014) .

Concordando com Lima, P. (2014), A ação do Ozônio é extremamente rápida ( $< 1/10$  s) e não-seletiva (mata todos micro-organismos: bactérias, fungos, bolores, vírus, etc.). Como principais características o ozônio atua da seguinte forma:

- Reduz metais à suas formas insolúveis (normalização);
- Destroi hidrocarbonetos por dissociação (quebra das cadeias);
- Solidifica (mineraliza) compostos orgânicos dissolvidos causando a sua coagulação e precipitação;
- Eleva o potencial redox da água, causando microfloculação (microprecipitação) dos patogênicos e pirógenos destruídos, que podem facilmente ser removidos por filtração;
- O tempo de reação é tão reduzido que não há ozônio residual remanescente na água.

As principais formas de aplicação do ozônio são em contato com o meio aquoso sob a forma de bolhas de gás de menor tamanho possível através de injeção por meio de difusores e outros similares. (LIMA,P, 2014).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O reúso de água no processo de fabricação de tintas base água é viável desde que se tomadas todas as precauções para garantia da qualidade do produto final de forma sustentável e eficiente. Observou-se que o processo de reúso como ocorre atualmente precisa de ajustes e controles para garantir a sua sustentabilidade. Hoje o processo é intermitente e irregular.

### Nível 1 da P+L

Com base no primeiro nível da P+L, tendo como foco a redução na fonte, enfatizando-se ações sem custo, realizou-se a avaliação do sistema de lavagem de forma a identificar oportunidades para torná-la mais eficiente utilizando o mínimo necessário de recursos. Para tanto, definiu-se o volume padrão de água industrial para lavagem dos tanques de 400L (no pior caso) para 150L de água potável por lavagem. Isso significa uma economia de aproximadamente 47m<sup>3</sup> de água industrial no ano de 2014, considerando o número de lotes produzidos.

Do ponto de vista dos entraves, evidenciou-se que o processo de lavagem manual é um ponto a ser considerado já que causa desconforto ao operador pelo deslocamento realizado. O tempo gasto com a operação também é apontado visto que o processo de *setup* não agrega valor ao cliente, conforme a filosofia Lean. Há ainda a propensão de contaminação microbiológica que é igualmente susceptível e crítico para água de lavagem e tinta para recuperação.

Propôs-se três instruções operacionais com a finalidade de padronizar as operações de lavagem dos tanques herméticos, lavagem das cubas quadradas e de reutilização da água de lavagem. Considerou-se as melhores práticas possíveis de serem realizadas dentro das limitações da produção. Há possibilidade de melhoria com a utilização do Gráfico de Balaceamento de Operadores (GBO) para definir o tempo takt ou o “ritmo” do processo de reutilização. Isso implicará mudança de *layout* e *housekeeping* com ganho significativo de produtividade e também a recomendação de projetos de melhoria com a técnica do A3, base da filosofia *Lean*.

Com investimentos de retorno a longo prazo, substituiu-se uma das três cubas quadradas por uma cuba autolimpante desenvolvida internamente por um colaborador da empresa. Isso eliminou a necessidade de lavagem da mesma com possibilidade de mais economia de água com a substituição das demais. Implementou-se o sistema lava – não lava em que o operador por meio de um supervisor consulta no sistema se será necessário ou não lavar o tanque para receber o próximo lote com base na matriz de compatibilidade de cor. Esta ação eliminou a necessidade de lavagem de tanques em muitos casos. Não lavar tanques é uma condição ideal para o processo.

Para a necessidade de bloquear ou diminuir a entrada de sólidos na estação de tratamento, recomendou-se a instalação de um decantador no início do tratamento.

## **Nível 2 da P+L**

Com o processo de reutilização de água resíduária, pode-se dizer que o nível 2 da P + L está evidenciado através da reciclagem interna. Observou-se uma pequena melhora, ainda não significativa, da redução da geração do lodo visto que o processo de reutilização é irregular e ainda há descarte deste efluente para tratamento na ETE. Como observado na análise estatística, o processo ainda é instável e possui grande variabilidade.

Ainda assim, diante das dificuldades expostas, foi possível a reutilização de aproximadamente 42 m<sup>3</sup> de água de lavagem com uma média de 10,26% de sólidos. Isso significa que cerca de 430 Kg de sólidos (carga mineral) deixaram de ir para co-processamento e tornaram-se tinta novamente gerando margem de lucro. E ainda as sobras de tinta geradas no fim do processo de envase foram também reutilizadas.

Na vertente de soluções com custo, recomendou-se a impermeabilização das paredes internas dos tanques herméticos com vidro líquido de forma a diminuir a aderência da tinta. Esta ação irá otimizar o uso do *sprayball*, um equipamento para lavagem automatizadas dos tanques, eliminando a operação manual. Disseminação do uso da cuba autolimpante, em que dispensa o uso de

água para sua limpeza. Com as alternativas citadas anteriormente, conclui-se que há possibilidade para o dimensionamento de um sistema fechado de reutilização de água em que o armazenamento em tachos, tambores e containers serão descontinuados dando lugar a transferência dos efluentes para um tanque-pulmão por meio de bombas.

Para as soluções pós-tratamento propôs-se o reúso da água do fim do tratamento na ETE para atividades secundárias como irrigação de jardins, preparação de soluções para uso na própria ETE, descarga em sanitários, resfriamento, lavagem de pisos e reserva de água para incêndios e testes da brigada. Propôs-se também o uso desta água para fins produtivos. Para tanto, esta água precisa de um tratamento de polimento como filtração por membranas ou ozonização que requerem alguns investimentos.

### **Nível 3 da P+L**

Já o 3º nível da produção mais limpa, da reutilização externa, pode ser compreendido pelo co-processamento do lodo como matéria-prima na indústria de cimento e que pode também ser direcionado para fabricação de tijolo ecológico. O lodo biológico pode ser segregado do físico-químico e encaminhado para compostagem a ser feita na própria empresa ou externamente para posterior uso do composto como adubo em jardinagem caracterizando assim o ciclo biogênico da P+L.

Em suma, o trabalho foi uma compilação de informações, ações e definição de diretrizes que já são ou podem ser utilizados pela empresa e pela sociedade na promoção do reúso da água de forma a poupar este recurso abundante e finito mas escasso em qualidade, buscando desenvolvimento sustentável de forma  
concreta.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM D5588 - 97 Standard Test Method for Determination of the Microbial Condition of Paint, Paint Raw Materials, and Plant Areas, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES. São Paulo: 1997. In: TELLES. D.D, COSTA, R.P. **Reúso da água: conceitos, teorias e prática**. 2ª Ed. – São Paulo: Blucher, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.702: Areia descartada defundição – Diretrizes para aplicação em asfalto e em aterro sanitário**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Classificação dos Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TINTAS - ABRAFATI. Tintas e Vernizes. **Guia Técnico Ambiental Tintas e Vernizes**- Série P+L. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo e Secretaria do Meio Ambiente, 2008.

ALMEIDA, M,L,A. **Crítérios para realização de pintura de alvenarias em ambientes não agressivos**. Dissertação do Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: UFMG, 2012.

ALVAREZ, M. E. B. **Administração da qualidade e da produtividade**: abordagens do processo administrativo. São Paulo: Atlas, 2001.

BACH, E. E. RANGEL, A. R. **Biodeterioração de tintas à base água por fungos**. Revista Exacta, núm. 3, 2005, pp. 79-84 Universidade Nove de Julho. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/>> Acesso em: 11 Ago. 2015

BIDONE, F. R. A., POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos, EESC/USP, 1999.

BORGES, M. S. **Sustentabilidade ambiental em pequenas empresas: implementação interativa de produção mais limpa (P+L): Estudo em uma empresa metal-mecânica do ramo automotivo**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas,SP: 2005. Disponível em: <. Acesso em: 06 jul. 2015.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental** – 2ª Ed. - São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. (2010a). Lei N. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos e dá outras providências.

BRASIL. (2010b). Decreto N. 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

BREGA FILHO, D & MANCUSO, P. C. S. Conceito de Reúso de água. Capítulo 2. Eds. P.C. Sanches Mancuso & H. Felício dos Santos. Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. São Paulo: 2002.

BREGA FILHO, Darcy; MANCUSO, Pedro Caetano Sanches. Conceito de reúso de água. In: PHILIPPI JUNIOR, Arlindo et al (Coord). **Reúso de Água**. Barueri: Manole, 2003 p. 21-36.

CAMPOS, M.S. **Desvendando o Minitab**. – Rio de Janeiro: Qualymark, 2003.

CENTRO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL- CEBDS. **Guia da Produção Mais Limpa: Faça você mesmo**. Disponível em: <<http://www.cebds.org.br/>>. Acesso em: 06 Abr. 2015.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS - CNTL. Disponível em: <<http://www.senairs.org.br/cntl/>>. Acesso em: 07 Abr. 2015.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **A produção mais limpa e o consumo sustentável na América Latina e Caribe**. São Paulo: 2005. Disponível em: <<http://www.cqgp.sp.gov.br/>>. Acesso em: 07 Abr. 2015.

\_\_\_\_\_. **Guia técnico ambiental tintas e vernizes - Série P+L**. São Paulo: 2008. Disponível em: <[www.cetesb.sp.gov.br/](http://www.cetesb.sp.gov.br/)>. Acesso em: 07 Abr. 2015.

CUNHA, V. **Tintas Imobiliárias, Vernizes e Solventes**. VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 8 e 9 de junho de 2012. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief>>. Acesso em: 19 Ago. 2009.

DPM TECNOLOGIA. **Ecoglas**. Disponível em: <<http://dpmtecnologia.com.br/site/ecoglas/>>. Acesso em: 12 Ago. 2015.

FAGUNDES, A. B. **Mapeamento do gerenciamento das areias a verde de fundição no estado do Paraná sob a ótica da Produção Mais Limpa: uma contribuição para o estabelecimento de estratégias**. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa: 2010.

FAZANO, C. A. T. V. **Métodos de controle de pintura em superfícies**. 5. ed., São Paulo: Hemus Editora Ltda, 1998.

FAZENDA, J. M.R. **Tintas e vernizes: Ciência e tecnologia**. São Paulo: ABRAFATI, v. 1 e 2, 1993.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - FIRJAN. **Manual de Gerenciamento de Resíduos: Guia de procedimento passo a passo.** Rio de Janeiro: GMA, 2006. 2ª Edição.

GOMEZ, L. A. **Excel para engenheiros.** Florianópolis: Visual Books, 2009, 224p.

GUERRA, S. **Resíduos Sólidos: comentários à lei 12.305/2010.** Rio de Janeiro: Forense, 2012.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F. (ed.). **Reúso de água.** São Paulo: Manole, 2002. cap. 13, p. 37-95.

IKEMATSU, P. **Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes.** Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.specialchem4coatings.com/channels/architectural.aspx/>>. Acesso em: 28 Ago. 2015.

KHODALSTEEL. Disponível em: <<http://www.khodalsteel.com/>>. Acesso em: 15 Ago. 2015.

KISHIDA, M. SILVA, A. H. GUERRA, E. **Benefícios da implementação do Trabalho Padronizado na ThyssenKrupp.** Disponível em: <<http://www.lean.org.br/artigos/95/beneficios-da-implementacao-do-trabalho-padronizado-na-thyssenkrupp.aspx/>>. Acesso em: 12 jul. 2015.

KJAERHEIM, G. **Cleaner production and sustainability.** Journal of Cleaner Production 13 (2005) 329 e 339. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 28 Ago. 2015.

LACAZ, C. S. Micologia médica. In: LACAZ, C. S.; PORTO, E.; PURCHIO, A. *Micologia média.* Fungos, actinomicetos e algas de interesse médico. 2. ed. São Paulo. Sarvier, 1967. p. 292-293. In: BACH, E. E. RANGEL, A. R. **Biodeterioração de tintas à base água por fungos.** Revista Exacta, núm. 3, 2005, pp. 79-84 Universidade Nove de Julho. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/>> Acesso em: 11 Ago. 2015

LA ROSA, F. R. *et al.* **Contaminação microbiológica de tintas à base d'água de uma indústria do estado do Paraná.** Brasil Semina: Ciências Exatas e da Terra, Londrina, v. 29, n. 1, p. 85-92, jan./jun. 2008. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/view/2975/2521>>. Acesso em: 02 jul. 2015.

LEAL ENGENHARIA LTDA. **Sistemas de decantação.** Disponível em: <http://www.lealengenharia.com.br>. Acesso em: 15 Ago.2015

LEITE, L. W. P.; MURRO, M. A. Nova tecnologia multifuncional para a proteção microbiológica de tintas em emulsão. CONGRESSO INTERNACIONAL DE TINTAS, 6., 1999, São Paulo. *Anais*. São Paulo: Abrafati, 1999. v. 1, p. 147-154. In: BACH, E. E. RANGEL, A. R. **Biodeterioração de tintas à base água por fungos**. Revista Exacta, núm. 3, 2005, pp. 79-84 Universidade Nove de Julho. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/>> Acesso em: 11 Ago. 2015

LEMOS, M.F. FORTI, B.G. MESQUITA. F. M. PASCHOALIN, A. **Sanitização industrial: o melhor caminho para a garantia da qualidade microbiológica do seu produto**. Disponível em: <[http://www.paintshow.com.br/artigos/artigo\\_tecnico\\_clariant\\_sanitizacao.doc/](http://www.paintshow.com.br/artigos/artigo_tecnico_clariant_sanitizacao.doc/)>. Acesso em: 11 Ago. 2015.

LIMA, P. **Tecnologias para desinfecção de água e esgotos: ozonização**. Disponível em: <<http://boaspraticasnet.com.br/?p=2628/>>. Acesso em: 15 Dez. 2014.

LIMA. P.J.M. **Reúso de água residuária industrial: importância para Produção mais Limpa**. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA CIVIL E MEIO AMBIENTE DA UNIVERSIDADE MAURICIO DE NASSAU, 2015. Recife.

MACEDO, J; CHERNICHARO, C.A.L; PIVELI, R.P; **Introdução ao tratamento de efluentes líquidos**. Conselho Regional de Química. CRQ IV Região (SP/MS). Disponível em: <[http://www.crq4.org.br/downloads/EfluentesLiquidos\\_jair.pdf/](http://www.crq4.org.br/downloads/EfluentesLiquidos_jair.pdf/)>. Acesso em: 04 jul. 2014.

MANO, E.B., PACHECO, E.B.A.V., BONELLI, C.M.C. **Meio ambiente, Poluição e Reciclagem** – 2ªed. – São Paulo: Blucher, 2010.

METALLIMPO. Sprayball Rotativo. Disponível em: <<http://www.metallimpo.com.br/>>. Acesso em: 12 Ago. 2015.

MOLINARI, M. A., QUELHAS, O.L.G., NASCIMENTO, A. P. **Avaliação de oportunidades de produção mais limpa para a redução de resíduos sólidos na fabricação de tintas**. Revista Produção, v. 23, n. 2, p. 364-374.

MONTALI, E. F. **Emissões atmosféricas industriais: uma proposta de indicadores de pressão** - Campinas, SP: [s.n.], 2010. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

MULHOLLAND, K. L. **Identification of cleaner production improvement opportunities**. Delaware (USA): Willey Interscience: 2006.

PHILIPPI JR, A et al (Coord). **Curso de Gestão Ambiental**—São Paulo:Manole, 2004.

\_\_\_\_\_. **Reúso de Água**. Barueri: Manole, 2003 p. 21-36.

QUEIROZ, F.C.B. P, HÉKIZ, H.R. QUEIROZ, J.V. **A geração de inovação como estratégia de diferenciação: um estudo com empresas do setor de tintas, vernizes e solventes do sul de Santa Catarina.** Revista CEPPG - CESUC - Centro de Ensino Superior de Catalão, Ano XIII, Nº 23 - 2º Semestre/2010. Páginas 08 à 23.

ROSA, A.H., FRACETO, L.F., CARLOS, V.M. **Meio Ambiente e Sustentabilidade.** – Porto Alegre: Bookman, 2012. **São Paulo: 2010.** Disponível em: <[http://www.sitivesp.org.br/sitivesp/download/manual\\_residuos.pdf/](http://www.sitivesp.org.br/sitivesp/download/manual_residuos.pdf/)>. Acesso em: 10 Maio. 2015.

SERVIÇO NACIONAL DA INDÚSTRIA-SENAI.RS. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa.** Porto Alegre, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/INEP, 2003. 42 p. Disponível em: <[http://wwwapp.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs\\_senai\\_uos/senairs\\_uo697/proximos\\_cursos/implementa%E7%E3o%20PmaisL.pdf/](http://wwwapp.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs_senai_uos/senairs_uo697/proximos_cursos/implementa%E7%E3o%20PmaisL.pdf/)>. Acesso em: 15 Ago.2015.

SILVA, M. R. A., OLIVEIRA, M. C., NOGUEIRA R. F. P. **Estudo da aplicação do processo foto-Fenton solar na degradação de efluentes de indústria de tintas.** Eclética Química Volume 29, número 2, 2004. Instituto de Química – UNESP. São Paulo: 2004.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DE TINTAS E VERNIZES DO ESTADO DE SÃO PAULO – SITIVESP. **Manual de Gerenciamento de Resíduos para a Indústria de Tintas e Vernizes.** Disponível em: <<http://www.sitivesp.org.br/>>. Acesso em: 15 Ago. 2015.

SPRAY BALLS. Disponível em: <[http://www.khodalsteel.com/spary\\_balls.html/](http://www.khodalsteel.com/spary_balls.html/)>. Acesso em: 12 Ago. 2015.

TELLES. D.D, COSTA, R.P. **Reúso da água: conceitos, teorias e prática.** 2ª Ed. – São Paulo: Blucher, 2010.

UEMOTO, K.L, IKEMATSU, P, AGOPYAN, V. **Impacto ambiental das tintas imobiliárias.** Coletânea Habitare, v.7, 2006. Construção e Meio Ambiente. Disponível em: <[http://www.habitare.org.br/ArquivosConteudo/ct\\_7\\_cap3.pdf/](http://www.habitare.org.br/ArquivosConteudo/ct_7_cap3.pdf/)>. Acesso em: 12 Ago. 2015.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Compilation of AirPollutant Emission Factors, AP-42,** Volume I: Stationary Point & Area Sources. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/>> . Acesso em: 19 Ago. 2009.

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados,** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1997.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lodos Ativados,** v.04. Minas Gerais: ABES, 1997.

WORMAK, J. P, JONES, D.T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza.**- Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.