

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC**

**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**LUANA MILAK FURMANSKI**

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EM INDÚSTRIA DE COLORIFÍCIO CERÂMICO COM  
DESENVOLVIMENTO DE PROJETO REFERENTE À RECICLAGEM INTERNA DO  
LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE**

**CRICIÚMA**

**2013**

**LUANA MILAK FURMANSKI**

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EM INDÚSTRIA DE COLORIFÍCIO CERÂMICO COM  
DESENVOLVIMENTO DE PROJETO REFERENTE À RECICLAGEM INTERNA DO  
LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Engenheira Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC).

Orientador: Prof. Dr. Michael Peterson.

**CRICIÚMA**

**2013**

**LUANA MILAK FURMANSKI**

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EM INDÚSTRIA DE COLORIFÍCIO CERÂMICO COM  
DESENVOLVIMENTO DE PROJETO REFERENTE À RECICLAGEM INTERNA DO  
LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheira Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), com Linha de Pesquisa em Planejamento e Gerenciamento Ambiental.

Criciúma, 27 de novembro de 2013.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Michael Peterson – Doutor – (UNESC) – Orientador

Prof. Rosimeri Venâncio Redivo – Mestra – (UNESC)

Prof. Mario Ricardo Guadagnin – Mestre – (UNESC)

**Dedico esse trabalho aos meus pais Onézio e Valdenir.**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por meu guiar sempre, principalmente nos momentos mais difíceis, abençoando-me e protegendo-me durante toda a minha vida.

Agradeço muito, e especialmente, a meus pais Onézio e Valdenir e meu irmão Thiago pelo companheirismo, força, apoio, compreensão e carinho dedicados. Ainda, para meus pais, por terem me proporcionado a realização desta graduação, nunca medindo esforços para me conceder uma formação acadêmica e sempre acreditando em meu potencial.

Meu agradecimento também ao professor Dr. Michael Peterson pelo auxílio e competência nas orientações dadas a esse trabalho, bem como a tranquilidade transmitida.

Agradeço aos professores Mario Ricardo Guadagnin e Rosimeri Venâncio Redivo por aceitarem o convite como participantes da banca de defesa desse trabalho, contribuindo para o término e êxito do mesmo. Ela, também, por me auxiliar no desenvolvimento dos dois estágios que realizei durante este último semestre de minha graduação.

Meu muito obrigada a todos que contribuíram direta ou indiretamente com meu desenvolvimento pessoal e profissional, incluindo familiares, amigos, professores e colegas de estágios já realizados no decorrer da graduação.

Agradeço à empresa em que realizei meu estágio e a todos os funcionários que de alguma maneira contribuíram com a realização do meu trabalho de conclusão de curso, sempre muito dispostos a me ajudarem.

Aos colegas do laboratório de química da Universidade que me auxiliaram no desenvolvimento de testes experimentais, sempre tentando me tranquilizar.

Em especial às minhas amigas, futuras engenheiras ambientais, Camila Trento e Naiara Casagrande pela parceria durante os anos de graduação, em especial ao período de finalização deste trabalho. E também aos meus colegas de curso pela troca de conhecimentos, com destaque aos que se transformaram em amigos e que, com certeza, levarei para o resto da vida.

**“A felicidade não se resume na ausência de problemas, mas sim na sua capacidade de lidar com eles.”**

**Albert Einstein**

## RESUMO

Os coloríficos cerâmicos, essenciais para a indústria de revestimentos cerâmicos, têm pólo concentrado no extremo sul catarinense. O presente estudo foi desenvolvido em uma empresa multinacional de colorífico desta região, a qual é responsável pela produção de composto de engobes e esmaltes, bases serigráficas, corantes, fritas cerâmicas e granilhas, entre outros produtos. No entanto, esta produção gera diversos impactos ambientais adversos ocasionados pela geração de resíduos sólidos, emissões atmosféricas e efluentes sanitários e industriais. Contudo, esta empresa não possui um sistema de gestão ambiental. Com o intuito de trabalhar esta questão, realizou-se um diagnóstico ambiental da empresa por meio de conhecimento do processo produtivo e da estrutura organizacional e elaboração de *check list* contemplando as principais legislações aplicáveis e as condicionantes da LAO. Isso permitiu a identificação da situação da empresa e de suas não conformidades perante a legislação, bem como a sugestão de recomendações para melhorias. Paralelamente a este diagnóstico, desenvolveu-se um projeto de reciclagem interna do resíduo (lodo) gerado na ETE. Tal projeto englobou o tratamento do efluente industrial, a atomização para reciclar o lodo gerado por este tratamento e o desenvolvimento de produtos coloríficos utilizando o insumo reciclado produzido. Com os ensaios experimentais relacionados ao tratamento de efluente, foi possível identificar, entre os produtos químicos (coagulantes/floculantes) testados, que o PAC foi o mais eficiente, tanto para a clarificação da água quanto para a quantidade de lodo sedimentado. O processo de atomização foi estudado por meio de um teste piloto, no qual se constatou a possibilidade de transformar o lodo cerâmico em um insumo para a indústria em questão. Este insumo foi usado em formulações de engobe e frita cerâmica, mostrando bons resultados no produto final, podendo, portanto, ser utilizado em escala de produção industrial. Isso, além de diminuir custos com destinação final ambientalmente adequada do resíduo (lodo cerâmico) em aterro sanitário industrial, possibilita o uso do mesmo dentro do próprio processo produtivo, minimizando também o consumo de matérias-primas e, conseqüentemente, a extração das mesmas no meio ambiente.

**Palavras-chave:** Diagnóstico ambiental. Tratamento de efluente. Lodo cerâmico. Atomização. Reciclagem interna.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Metodologia do PDCA.....	20
Figura 2 – Fluxograma genérico do processo produtivo das indústrias cerâmicas, com aspectos ambientais de entrada e saída representados pelos quadros de preenchimento em coloração verde e roxa respectivamente. ....	24
Figura 3 – Processo de produção de fritas cerâmicas .....	30
Figura 4 – Fluxograma representando níveis de classificação de P+L .....	38
Figura 5 – Representação das etapas de sedimentação em ensaio de bancada com proveta e respectiva curva de sedimentação resultante do procedimento .....	41
Figura 6 – Fluxograma do processo produtivo da empresa .....	54
Figura 7 – Organograma da empresa .....	55
Figura 8 – Coagulante atualmente utilizado pela empresa, apresentando problemas de sedimentação .....	66
Figura 9 – Amostras de efluente <i>in natura</i> coletadas em duas situações distintas ...	67
Figura 10 – Representação da ineficiência da adição de sulfato de alumínio no efluente, com concentrações de 2% e 5%, em dosagens distintas.....	68
Figura 11 – Ilustração do tratamento e concomitante sedimentação do lodo após adição de sulfato de alumínio a 30%, com diferentes dosagens.....	69
Figura 12 – Tratamento do efluente com adição de polímeros A: catiônico e B: aniônico, ambos com concentração de 0,1% e dosagens de 5 mL, 10 mL e 15 mL.	69
Figura 13 – Efluente <i>in natura</i> após A: 30 minutos de sedimentação simples e B: 1 h e 30 min de sedimentação simples .....	72
Figura 14 – Produtos químicos testados para o tratamento do efluente .....	73
Figura 15 – Gráfico ilustrando curva de sedimentação do lodo do efluente tratado com diferentes dosagens de policloreto de alumínio.....	74
Figura 16 – Sedimentação do lodo em 1 h e 30 min após adição de PAC, com dosagens de A: 0,5 mL, B: 1,0 mL e C: 1,5 mL.....	75
Figura 17 – Gráfico ilustrando curva de sedimentação do lodo do efluente tratado com diferentes dosagens de sulfato de alumínio .....	77
Figura 18 – Sedimentação do lodo em 1 h e 30 min após adição de sulfato de alumínio, com dosagens de A: 0,5 mL, B: 1,0 mL e C: 1,5 mL.....	77
Figura 19 – Gráfico ilustrando curva de sedimentação do lodo do efluente tratado com diferentes dosagens de composto de sulfato de alumínio com polímero .....	79

Figura 20 – Sedimentação do lodo em 1 h e 30 min após adição do composto de sulfato de alumínio com polímero com dosagens de A: 0,5 mL, B: 1,0 mL e C: 1,5 mL .....	80
Figura 21 – Gráfico ilustrando curva de sedimentação do lodo do efluente tratado com diferentes dosagens de polímero orgânico .....	82
Figura 22 – Tratamento de efluente com polímero orgânico, apresentando coloração rosada .....	83
Figura 23 – Etapas do processo de transformação do lodo cerâmico em insumo em estado sólido .....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados dos parâmetros analisados no tratamento com policloreto de alumínio.....	75
Tabela 2 – Resultados dos parâmetros analisados no tratamento com sulfato de alumínio.....	78
Tabela 3 – Resultados dos parâmetros analisados no tratamento com composto a base de sulfato de alumínio e polímero não iônico .....	80
Tabela 4 – Resultados dos parâmetros analisados no tratamento com polímero orgânico .....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
GLP	Gás Liquefeito do Petróleo
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional para Padronização)
LAO	Licença Ambiental de Operação
LDCM	Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
OHSAS	Sistema de Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional
PAC	Policloreto de Alumínio
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i> (Planejar-Executar-Verificar-Agir)
P+L	Produção Mais Limpa
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
3.1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL .....	16
3.2 SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL .....	18
3.3 A INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS .....	21
<b>3.3.1 Breve histórico da cerâmica até a atualidade</b> .....	<b>21</b>
<b>3.3.2 Processos de fabricação cerâmica</b> .....	<b>24</b>
3.3.2.1 Preparação da matéria prima .....	25
3.3.2.2. Dosagem de matérias-primas .....	25
3.3.2.3. Moagem .....	25
3.3.2.4. Atomização .....	26
3.3.2.5. Prensagem .....	26
3.3.2.6. Secagem .....	27
3.3.2.7. Esmaltação e Decoração .....	27
3.3.2.8. Queima .....	28
3.3.2.9 Acabamento .....	29
3.3.2.10 Classificação e Embalagem .....	29
<b>3.3.3 Colorifícios cerâmicos</b> .....	<b>29</b>
3.3.3.1 Principais matérias-primas utilizadas .....	33
3.4 VALORIZAÇÃO DE RESÍDUO: LODO CERÂMICO .....	34
<b>3.4.1 Tratamento de efluentes industriais: coagulação, floculação e sedimentação</b> .....	<b>38</b>
<b>3.4.2 Características do lodo: comportamento reológico</b> .....	<b>41</b>
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>47</b>
4.1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL .....	47
4.2 TRATAMENTO DE EFLUENTE .....	49
4.3 ATOMIZAÇÃO DO LODO CERÂMICO .....	51
4.4 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS UTILIZANDO LODO ATOMIZADO .....	51
<b>5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS</b> .....	<b>54</b>

5.1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL .....	54
<b>5.1.1 Setores da organização: processo produtivo.....</b>	<b>56</b>
5.1.1.1 Recebimento de matérias-primas e Expedição .....	56
5.1.1.2 Dosagem de matérias-primas (composto).....	56
5.1.1.3 Fritas cerâmicas .....	57
5.1.1.4 Granilhas .....	58
5.1.1.5 Moagem e Atomização .....	59
5.1.1.6 Corantes .....	61
5.1.1.7 Laboratório de controle de qualidade .....	63
5.1.1.8 Laboratório de pesquisa e desenvolvimento .....	63
5.1.1.9 Laboratório de pesquisa: processo industrial .....	64
5.1.1.10 Mini cerâmica .....	64
5.1.1.11 Almoxarifado .....	64
5.1.1.12 Manutenção.....	65
5.1.1.13 Estação de Tratamento de Efluentes - ETE .....	65
5.2 TRATAMENTO DE EFLUENTE .....	66
<b>5.2.1 Primeira coleta de amostra.....</b>	<b>68</b>
<b>5.2.2 Segunda coleta de amostra.....</b>	<b>70</b>
5.3 ATOMIZAÇÃO DO LODO CERÂMICO .....	84
5.4 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS UTILIZANDO LODO ATOMIZADO .....	86
<b>5.4.1 Desenvolvimento de engobe.....</b>	<b>86</b>
<b>5.4.1 Desenvolvimento de frita cerâmica .....</b>	<b>87</b>
5.5 RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO DE RECICLAGEM INTERNA .....	88
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>91</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE A – CKECK LIST DE DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.....</b>	<b>101</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os estados brasileiros com maior concentração de plantas industriais relacionadas à produção de revestimentos cerâmicos, no qual se considera incluso os coloríficos, são Santa Catarina, com polo em Criciúma e região, e São Paulo, com polo em Santa Gertrudes. Portanto, é de extrema importância a realização de projetos ambientais neste tipo de indústria, que se encontra concentrada na região e é representada por diversas empresas de coloríficos cerâmicos, inclusive multinacionais.

Outro motivo que leve a trabalhar com este tipo de indústria é que a mesma gera diversos impactos ambientais e não possui a prática comum de certificação de sistemas, como a das séries ISO 9000 (Sistema de Gestão de Qualidade), ISO 14000 (Sistema de Gestão Ambiental) e OHSAS 18000 (Sistema de Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional), como é o caso do colorífico cerâmico objeto desse trabalho. Isso ocorre mesmo apesar de tais indústrias possuírem atividade industrial de transformação totalmente formalizada, técnicas administrativas e de produção modernas, entre outros aspectos.

Os coloríficos cerâmicos são responsáveis pela produção de fritas cerâmicas, granilhas, compostos de matérias-primas/insumos, engobes, esmaltes, bases serigráficas e pigmentos. E, paralelamente, também pela geração de diversos impactos negativos, sejam estes relacionados à geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas, assim como consumo elevado de água, energia, gás natural e matérias-primas, entre outros recursos.

A empresa em questão, objeto desse trabalho, já trabalha com algumas questões relacionadas à conservação do meio ambiente, tais como o reuso interno de água e o tratamento de emissões atmosféricas e de efluentes por exemplo. Entretanto, várias outras oportunidades de melhorias podem ser desenvolvidas.

Com este intuito, o trabalho aqui exposto apresenta como temática o diagnóstico ambiental em uma indústria de colorífico cerâmico da região com vistas a implementação de melhorias e adequações às não conformidades, bem como o desenvolvimento de um projeto relacionado à reciclagem interna de lodo proveniente da Estação de Tratamento de Efluente (ETE) da empresa, como uma oportunidade de melhoria a ser desenvolvida.

Este estudo se dá em função da necessidade de disposição adequada do

lodo gerado pela indústria e do alto consumo de grande variedade de matérias-primas naturais e sintéticas para a fabricação de produtos. Esta reciclagem interna visa a minimização da exploração de recursos naturais, diminuição de custos com o descarte adequado deste resíduo (lodo) em aterro sanitário, entre outros aspectos que contribuiriam significativamente com a conservação do meio ambiente.

## 2 OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho encontram-se expostos a seguir, sendo divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

### 2.1 OBJETIVO GERAL

- Elaborar um diagnóstico ambiental do processo produtivo da empresa, bem como desenvolver um estudo de caso referente à reciclagem interna de um resíduo sólido da empresa, mais especificamente do lodo da Estação de Tratamento de Efluente (ETE).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar e conhecer bem os setores da organização, em especial o processo produtivo;
- Desenvolver *check list* de diagnóstico ambiental compreendendo principais legislações aplicáveis e condicionantes da Licença Ambiental de Operação (LAO);
- Identificar e propor oportunidades de melhoria e adequações às principais não conformidades identificadas;
- Estudar a possibilidade de reciclagem do lodo da estação de tratamento de efluente como insumo para a fabricação de produtos na própria indústria;
- Coletar amostras de efluente e selecionar diferentes tipos de produtos coagulantes/floculantes a serem utilizados no tratamento do mesmo, identificando qual o mais adequado ao tratamento em si e ao posterior processo de reciclagem;
- Realizar teste piloto de atomização (*spray dryer*) do lodo para verificar a possibilidade deste procedimento e as características do material reciclado; e
- Testar o material já atomizado como insumo, acrescentando-o juntamente com matérias-primas em produtos fabricados pela empresa, dando prioridade à qualidade e, em segundo plano, ao custo do produto.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

Um instrumento muito utilizado para começar a tratar as questões ambientais com maior atenção em qualquer instituição é o Diagnóstico Ambiental. O autor Naime (2005, p. 15) define:

O Diagnóstico Ambiental é uma ferramenta de gestão ambiental que se insere nos procedimentos de gerenciamento empresarial, com a função específica de proceder uma radiografia da empresa quanto aos aspectos de relacionamento com o meio ambiente, particularmente tratamento de efluentes, gestão de resíduos sólidos e monitoramento e controle de emissões atmosféricas.

Segundo Naime (2005), esse constitui um procedimento inicial em uma empresa, por exemplo, que na maioria das vezes ainda não possui uma Política Ambiental e nem um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) institucional e estruturado. Portanto, é considerado como o passo inicial para o levantamento da situação atual da organização e formulação da Política Ambiental, bem como da proposição do planejamento que se transformará em seu SGA (NAIME, 2005).

Vale destacar que quando não há Política e SGA, não existem não conformidades a serem avaliadas; as não conformidades identificadas no diagnóstico realizado são referentes somente às legislações aplicáveis e aos regulamentos internos estipulados pela própria instituição (NAIME, 2005).

Este levantamento de dados em comento consiste na análise das condições gerais da organização, a fim de auxiliar no momento de criação de políticas e implantação da gestão ambiental como um todo. Entre os principais objetivos do diagnóstico de gestão ambiental, citam-se alguns: introduzir as informações básicas de sistema de gestão ambiental; promover a percepção da defasagem e, conseqüentemente, da necessidade de melhoria do gerenciamento ambiental, e identificar as oportunidades de melhoria (MOREIRA, 2001).

De acordo com Naime (2005), o referido levantamento de dados deve considerar, no mínimo, os seguintes aspectos relacionados à organização: legislações aplicáveis e pertinentes; estudo prévio do processo produtivo para elaboração de matrizes de impactos ambientais potenciais e efeitos ambientais possíveis para futura análise mais aprofundada; determinação da estrutura gerencial

para posterior definição de responsáveis, e avaliação também prévia a respeito das partes interessadas.

Para se dar início a qualquer programa ambiental, deve-se conhecer a situação ambiental em que a organização se encontra e, de acordo com Assumpção (2007, p. 67), identificando e avaliando:

as políticas praticadas, os procedimentos elaborados, os objetivos e metas ambientais estabelecidos, os riscos e impactos ambientais documentados e os reais, os programas de treinamento definidos e os estabelecidos, as condições operacionais e de manutenção dos sistemas, os passivos ambientais existentes, as documentações relacionadas, etc.

Vale destacar que, à medida que o diagnóstico ambiental por meio do levantamento de dados for sendo desenvolvido, os executores de tal ação podem ir apropriando os itens e realizando trabalhos um pouco mais abrangentes que possam subsidiar as ações futuras, as quais devem ser mais consistentes (NAIME, 2005).

Conforme Naime (2005) é essencial que as atividades econômicas levem em consideração os meios físico, biológico e antrópico, para que trabalhem com vistas a minimização de todos os impactos ambientais passíveis de ocorrência, em especial os mais significativos.

Com a maior preocupação entre as atividades desenvolvidas e os impactos negativos resultantes sobre o meio ambiente, os quais são responsáveis por diversas consequências e efeitos, os procedimentos para o gerenciamento eficaz entre desenvolvimento econômico e meio ambiente estão sendo cada vez mais aperfeiçoados (BRAGA *et al*, 2005).

E por fim, para as constatações de diagnóstico não há normatização a respeito dos itens considerados relevantes. No entanto, o autor Naime (2005) levanta alguns, dentre estes cita-se: tratamento de efluentes líquidos; gestão de resíduos sólidos; monitoramento de emissões atmosféricas; aspectos relacionados à manutenção adequada de equipamentos com o intuito de evitar acidentes que gerem impactos ambientais e consequentes efeitos ambientais, e itens relacionados com segurança do trabalho que tenham interfaces com questões ambientais, entre outros.

### 3.2 SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL

O sistema de gestão ambiental é definido pela NBR ISO 14001 como parte do sistema de gestão de uma organização, utilizado para desenvolver e implementar sua política ambiental e para gerenciar seus aspectos ambientais, bem como para estabelecer os objetivos e atingir os mesmos.

Conforme Assumpção (2007, p. 24), a gestão ambiental integra em seu significado:

1. a política ambiental, que é o conjunto consistente de princípios doutrinários que conformam as aspirações sociais e/ou governamentais no que concerne à regulamentação ou modificação no uso, controle, proteção e conservação do ambiente;
2. o planejamento ambiental, que é o estudo prospectivo que visa à adequação do uso, controle e proteção do ambiente às aspirações sociais e/ou governamentais expressas formal ou informalmente em uma política ambiental, através da coordenação, compatibilização, articulação e implantação de projetos de intervenções estruturais e não estruturais;
3. o gerenciamento ambiental, que é conjunto de ações destinado a regular o uso, controle, proteção e conservação do meio ambiente, e a avaliar a conformidade da situação corrente com os princípios doutrinários estabelecidos pela política ambiental.

Ainda, de acordo Naime (2005), o gerenciamento ambiental consiste em um conjunto de iniciativas sistematizadas com o intuito de atingir excelência na gestão de procedimentos relacionados às questões ambientais. E o SGA permite que se melhore o desempenho ambiental da organização, uma vez que consiste em um processo estruturado para realizar melhorias contínuas.

Segundo Barbieri (2004, p. 20):

Os termos administração ou gestão do meio ambiente, ou simplesmente gestão ambiental, serão aqui entendidos como as diretrizes e as atividades administrativas e operacionais, tais como planejamento, direção, controle, alocação de recursos e outras realizadas com o objetivo de obter efeitos positivos sobre o meio ambiente, quer reduzindo ou eliminando os danos ou problemas causados pelas ações humanas, quer evitando que eles surjam.

Um sistema de gestão ambiental deve prever medidas mitigadoras, atenuadoras e compensatórias (NAIME, 2005). Este procedimento de SGA irá subsidiar, também, a etapa de formulação de objetivos que proponham melhorias nos aspectos ambientais que produzam impactos significativos.

Além disso, um SGA requer alguns elementos essenciais como o estabelecimento da política ambiental, a formulação de diretrizes, a avaliação dos impactos ambientais atuais e futuros, a definição de objetivos e metas, a coordenação de atividades, os instrumentos para acompanhar e avaliar as ações

planejadas e os resultados e o desempenho do SGA como um todo (BARBIERI, 2004).

Ressalta-se também que, de acordo com a NBR ISO 14001, um SGA inclui estrutura organizacional, atividades de planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos.

Por gestão ambiental empresarial, segundo Barbieri (2004, p. 137) entende-se como “as diferentes atividades administrativas e operacionais realizadas pela empresa para abordar problemas ambientais decorrentes da sua atuação ou para evitar que eles ocorram no futuro”.

A princípio, uma empresa pode desenvolver três diferentes abordagens, dependendo de como atua com relação aos problemas ambientais decorrentes de suas atividades, tais como: controle de poluição, prevenção da poluição e incorporação destas questões na estratégia empresarial (BARBIERI, 2004).

Para que um SGA tenha êxito é interessante que, antes mesmo de uma organização tomar a decisão de realmente implementar o sistema e iniciar os trabalhos, sua alta administração esteja bem conscientizada das vantagens ocasionadas por tal sistema, bem como das necessidades, das despesas financeiras e dos esforços a serem demandados pelos funcionários (ASSUMPCÃO, 2007).

Conforme Barbieri (2004), em primeiro lugar está o comprometimento com a sua efetivação por parte da alta direção ou dos proprietários; além disso, deve haver um envolvimento das partes interessadas, tais como funcionários, fornecedores, prestadores de serviços e clientes.

Ainda, Moreira (2001, p. 15) ressalta que:

A implantação de um sistema de gestão ambiental depende de três pilares fundamentais: base organizacional (estabelecimento de rotinas administrativas e operacionais, estrutura funcional, responsabilidade e autoridade, planejamento, recursos, etc), base técnica (conhecimento dos aspectos ambientais associados às atividades, instalações produtos e serviços e como controla-los) e base jurídica (conhecimento e atendimento dos requisitos legais e outros requisitos aplicáveis à organização).

De acordo com Assumpção (2007), algumas das vantagens indicadas pela maioria das unidades ambientalmente certificadas são: acesso a novos mercados e melhoria na competitividade empresarial; melhoria na performance do desempenho ambiental da organização e atendimento a legislações; facilidade na identificação de causas de problemas e seus solucionamentos; evitar desperdícios e redução de custos; redução e eliminação de riscos e responsabilidade ambientais;

melhoria na imagem e na relação com os funcionários, clientes, fornecedores, vizinhos, fiscalização ambiental e outros detentores de interesses, e acesso a capital de baixo custo, menores impostos e seguros mais baratos.

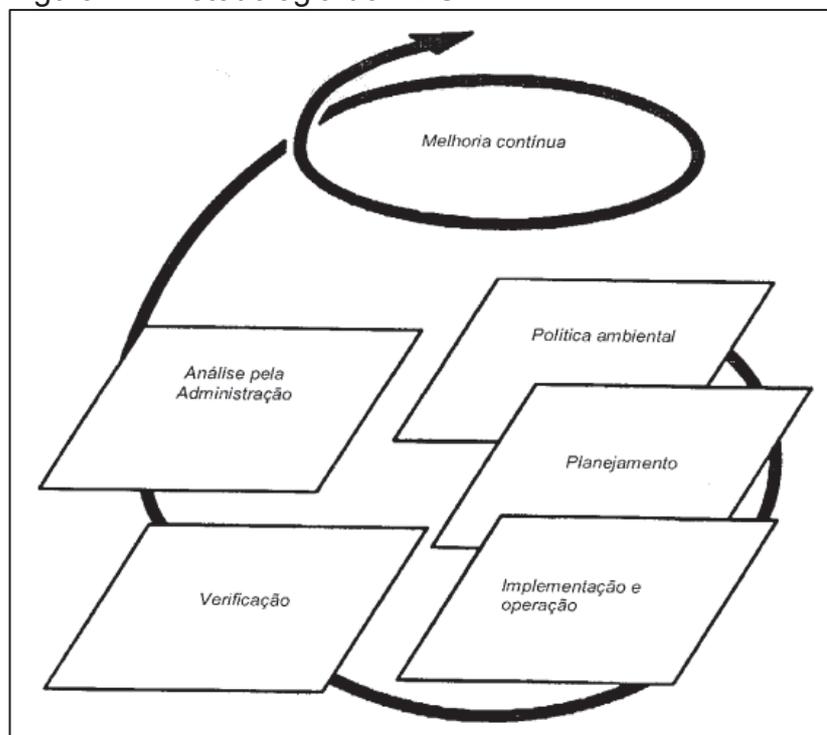
No primeiro momento, o SGA deve contribuir para que a empresa atue conforme a legislação, mas com visão de compromisso de promover melhorias que a levem a um processo gradual para superar as exigências legais (BARBIERI, 2004).

A NBR ISO 14001/2004 descreve os objetivos básicos de um sistema de gestão ambiental, por meio dos requisitos com orientações para uso que auxiliam na posterior certificação. E para introduzir a norma, Naime (2005, p. 18) cita:

Os elementos partem da definição de uma política ambiental, com o estabelecimento de objetivos e metas e implementação de um programa para alcançar as propostas, com a inclusão de mecanismos de monitoração e medição da eficácia do programa, correção de problemas e análise e revisão permanente, objetivando o aprimoramento contínuo do desempenho ambiental geral.

Esta norma é baseada na metodologia conhecida como PDCA – *Plan-Do-Check-Act* (Planejar-Executar-Verificar-Agir) que visa sempre a melhoria contínua. A representação do PDCA pode ser visualizado na Figura 1 abaixo.

Figura 1 – Metodologia do PDCA



Fonte: NBR ISO 14001/2004

Para um melhor entendimento, segue abaixo as definições do PDCA, conforme NBR ISO 14001:

- Planejar – estabelecer os objetivos e processos necessários para atingir os resultados em concordância com a política ambiental da organização;
- Executar – implementar os processos, desenvolvendo as ações planejadas;
- Verificar – monitorar e medir os processos em conformidade com a política ambiental, objetivos, metas, requisitos legais e outros, isto é, checar o andamento do SGA, bem como relatar os resultados;
- Agir – operar para continuamente melhorar o desempenho do SGA.

### 3.3 A INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

#### 3.3.1 Breve histórico da cerâmica até a atualidade

A cerâmica é uma atividade de produção de artefato a partir da argila, material natural, terroso e fino, a qual se torna bastante plástica e de fácil moldagem quando umedecida (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008 e ANFACER, 2013). O homem primitivo usava as mãos para misturar, conformar e decorar artigos fabricados a partir de matérias primas argilosas (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

De acordo com Hotza (2007) *apud* Oliveira; Hotza (2011, p. 12), “entende-se por cerâmica tanto um produto quanto um processamento ou uma indústria”.

O surgimento da cerâmica, como produto tecnológico, se deu há cerca de cinco a dez mil anos e pode ser considerada como a indústria mais antiga (OLIVEIRA, HOTZA, 2011). Segundo Oliveira e Maganha (2008, p. 28), “o termo cerâmica é derivado do grego *keramos*, que significa “terra queimada” e é usado para designar materiais inorgânicos, obtidos a partir de compostos não metálicos e solidificados por processo de queima”.

Esta nasceu no momento em que o homem começou a utilizar o barro endurecido por fogo, produzindo assim, à medida que se passava o tempo, vasilhames para uso doméstico e armazenamento de alimentos, vinhos, óleos e perfumes, casas, urnas funerárias, entre outros artefatos (ANFACER, 2013). Tais materiais eram facilmente encontrados em escavações arqueológicas, uma vez que possuíam características de grande resistência.

O processo de endurecimento, antes ocasionado com auxílio do sol ou do fogo e que hoje evoluiu muito, tem por objetivo a secagem para retirada do maior percentual de água presente na peça moldada, que posteriormente é submetida a

fornos com altas temperaturas (em torno de 100°C) que conferem rigidez e maior resistência (ANFACER, 2013).

De acordo com informações constantes no *site* da ANFACER (2013), “a cerâmica pode ser uma atividade artística (em que são produzidos artefatos com valor estético) ou uma atividade industrial (em que são produzidos artefatos para uso na construção civil e na engenharia)”. Vale ressaltar que a atividade industrial da cerâmica, como de tantas outras, se tornou mais forte e abundante após a Revolução Industrial.

A cerâmica no mundo foi evoluindo por meio do aperfeiçoamento gradativo da cerâmica e do descobrimento de novas técnicas, sendo que cada povo foi descobrindo seu próprio estilo e desenvolvendo indústrias cerâmicas com características distintas (ANFACER, 2013). A criação de objetos de design, pintados e esmaltados também surgiu e evoluiu muito, assim como os revestimentos cerâmicos, um dos segmentos da indústria cerâmica.

Com relação a estes revestimentos, segundo ANFACER (2013), tem-se:

Da mesma forma, com o progressivo desenvolvimento industrial, os revestimentos cerâmicos para utilização em paredes e pisos deixaram de ser privilégio dos recintos religiosos e dos palácios, tornando-se acessíveis a todas as classes sociais. Eles trouxeram para as paredes externas das casas o colorido e o luxo das paredes internas. Deixaram de figurar apenas em obras monumentais e passaram também para as fachadas dos pequenos sobrados comerciais e residenciais e, até mesmo, de pequenas casas térreas.

No Brasil, a cerâmica teve seus primórdios com os índios da região norte do país, mais especificamente na Ilha de Marajó, e não com os portugueses ou escravos (ANFACER, 2013). Os portugueses foram responsáveis apenas pela instalação de olarias para fabricação de telhas, tijolos e louças de barro por exemplo, não trazendo nada de novo da cerâmica; no entanto, estruturaram estes locais, concentraram a mão de obra e modificaram o processo empregado pelos indígenas (ANFACER, 2013).

Os sítios arqueológicos indicaram uma cerâmica mais simples, entretanto de valor, que indica ter sido criada na região amazônica (ANFACER, 2013). De acordo com informações constantes nesta mesma literatura, a “cerâmica marajoara era altamente elaborada e de uma especialização artesanal que compreendia várias técnicas: raspagem, incisão, excisão e pintura”. E com o passar do tempo e das mudanças que estavam ocorrendo, passaram a ser fabricadas peças com maior simetria na forma, acabamento mais aprimorado e menor tempo de trabalho

(ANFACER, 2013).

Alguns aspectos permitiram com que as indústrias cerâmicas no país evoluíssem rapidamente, tais como: abundância de matérias primas naturais no Brasil, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas introduzidas nos equipamentos industriais; isso tudo acarretou em diversos tipos de produtos, dos diversos segmentos cerâmicos, com nível de qualidade mundial atingido e com considerável quantidade exportada (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008).

Vale citar que a indústria brasileira de revestimentos cerâmicos iniciou-se com as fábricas de tijolos, blocos e telhas de cerâmica, que no começo do século XX surgiu com a produção de ladrilhos hidráulicos e, um pouco mais tarde, azulejos, placas cerâmicas e vidro (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

A cerâmica atual compreende na obtenção de um produto a partir do tratamento térmico em elevada temperatura de uma formulação com diversas matérias primas. Conforme Oliveira e Maganha (2008, p. 28):

Além das argilas existem outros materiais cerâmicos que, misturados a elas, produzem as chamadas massas ou pastas cerâmicas, cada qual com características específicas, como os anti-plásticos, que reduzem o encolhimento das argilas quando secam, ou os fundentes, que abaixam a temperatura de vitrificação da massa. Além destes materiais, podemos adicionar à massa outros ingredientes como quartzo, feldspato, caulim, talco, dolomita, carbonato de cálcio e bentonita.

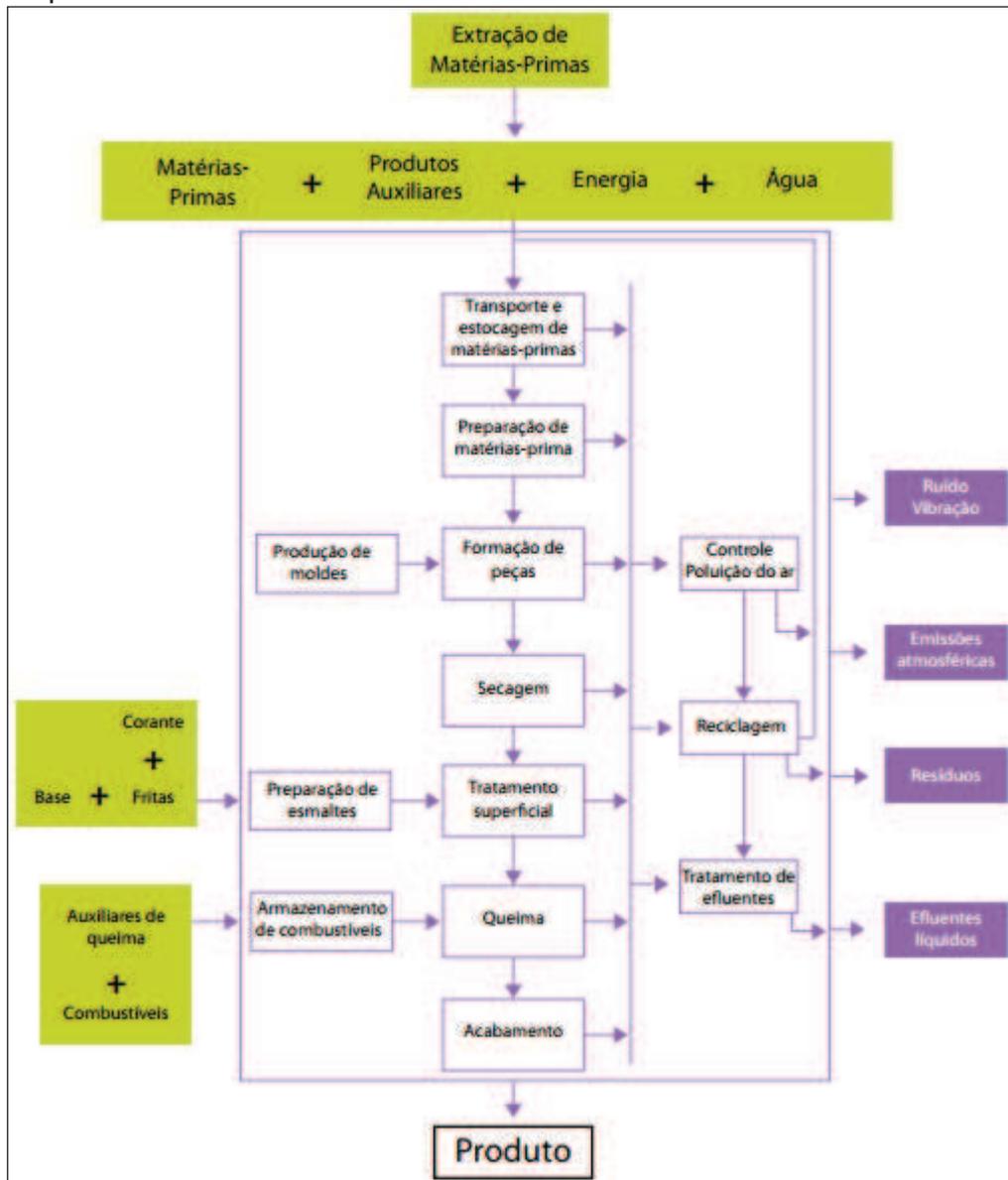
O setor cerâmico é amplo e heterogêneo e, portanto, é dividido em alguns subsetores ou, também denominados, segmentos; isso em função da diversidade de matérias primas utilizadas, que são responsáveis pela propriedade do produto final, e das área de atuação (ANAFACER, 2013). Assim, conforme esta autoria, bem como Oliveira e Maganha (2008), tal setor pode ser classificado em: revestimentos cerâmicos; cerâmica branca; cerâmica vermelha; materiais refratários; cerâmica de alta tecnologia/cerâmica avançada, e ainda de fritas; corantes; abrasivos; vidro, cimento e cal.

As regiões brasileiras que mais se desenvolveram com relação aos segmentos cerâmicos e que, portanto, apresentam uma concentração de indústrias deste ramo foram a sudeste e a sul (COELHO; BOSCHI, 2009). Isso em razão de alguns diversos fatores como: maior densidade demográfica; maior atividade industrial e agropecuária; melhor infraestrutura; melhor distribuição de renda; maior facilidade de acesso a matérias-primas, energia, centros de pesquisa, universidades e escolas técnicas, entre outros aspectos (ABCERAM, 2013).

### 3.3.2 Processos de fabricação cerâmica

Os processos cerâmicos, em geral, englobam as seguintes etapas: preparação da matéria prima; preparação da massa, que consiste na dosagem de matérias-primas, moagem e atomização; formação de peças por prensagem; tratamento térmico para secagem; esmaltação e decoração; queima e, por fim, acabamento, classificação e envase. Sendo isso ilustrado na Figura 2, representada por um fluxograma.

Figura 2 – Fluxograma genérico do processo produtivo das indústrias cerâmicas, com aspectos ambientais de entrada e saída representados pelos quadros de preenchimento em coloração verde e roxa respectivamente.



Fonte: OLIVEIRA; MAGANHA, 2008

### 3.3.2.1 Preparação da matéria prima

Na indústria cerâmica tradicional, a maioria das matérias primas utilizadas são naturais e obtidas por mineração, ocorrendo geralmente, além da extração, os processos de redução de partículas e de homogeneização das matérias primas e, posteriormente, as mesmas passam por um processo de beneficiamento (desagregação ou moagem) e, assim, classificadas de acordo com a granulometria (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008). Já as matérias primas sintéticas são fornecidas à indústria cerâmicas prontas para uso, necessitando, em alguns casos, de ajuste de granulometria (ABCERAM, 2013). Por fim, são transportadas até às indústrias cerâmicas.

### 3.3.2.2. Dosagem de matérias-primas

As massas ou pastas cerâmicas são constituídas a partir da composição de duas ou mais matérias primas, além de aditivos e água. Vale citar que a dosagem destes é de extrema importância no processo de fabricação de produtos cerâmicos, devendo seguir as formulações previamente estabelecidas (ABCERAM, 2013). Sendo dosagem definida por Oliveira e Hotza (2011) como “uma operação que determina as quantidades relativas das matérias-primas que farão parte da composição de uma massa formulada”.

Ainda, de acordo com Oliveira e Maganha (2013, p. 31), as “matérias primas devem ser adicionadas em proporções controladas, bem misturadas e homogeneizadas, de modo a conseguir a uniformidade física e química da massa”. Os sistemas de dosagens nas indústrias envolvem níveis distintos de automação, envolvendo máquinas e instalações (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

### 3.3.2.3. Moagem

A moagem de matérias-primas cerâmicas para o revestimento permite que estas sejam homogeneamente misturadas, além de moídas (OLIVEIRA; HOTZA, 2011). Essa etapa, conforme os supracitados autores, é de extrema necessidade, principalmente, se há uma grande diversidade nas características físicas das matérias-primas utilizadas.

Os moinhos podem trabalhar a seco ou a úmido, isso geralmente determinado pelos tipos de matérias-primas e, também, cultura da empresa. Quando realizado o processo a úmido, após a etapa de moagem, o material homogeneizado é direcionado ao processo de atomização, no qual haverá a transformação do material em pó (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

O processo em questão acarreta na redução da granulometria das matérias-primas, favorecendo o uso para diversas aplicações, tais como: telhas, paredes, placas de revestimento, produtos refratários e louça de mesa (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008).

O moinho é um equipamento cilíndrico, construído em aço, com um orifício de alimentação e descarga de materiais, revestido internamente por sílica, alumina ou borracha e compostos na parte interior por corpos de sílica ou alumina, sendo estes responsáveis pela moagem em si (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

#### 3.3.2.4. Atomização

O processo de atomização consiste na remoção por evaporação, de maneira controlada, da água contida no material formulado, como a barbotina. No entanto, a remoção não é total, uma vez que certa quantidade de água precisa permanecer nos grânulos formados para lhes conferir plasticidade adequada para a etapa de compactação por prensagem (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

O atomizador é uma câmara cilíndrica de secagem onde ocorre a nebulização através de bicos injetores localizados no centro inferior da câmara (OLIVEIRA; HOTZA, 2011). A solução injetada entra em contato com o ar quente na parte superior do equipamento em questão, o qual é gerado por queimadores movidos a gás natural (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008).

#### 3.3.2.5. Prensagem

A conformação por prensagem de pós, ou seja, massas granuladas com baixo teor de umidade, tem como intuito obter, no estado verde ou cru, a maior densificação possível dos compactos obtidos, de modo compatível com os problemas que podem ser ocasionados durante a queima (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008 e OLIVEIRA; HOTZA, 2011). A utilização deste procedimento se dá,

geralmente, para a produção de pisos e revestimentos, embora não se restrinja a esta aplicação (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008).

Existem vários tipos de prensas que podem ser utilizadas, como: hidráulicas, mecânicas, hidráulicas-mecânicas, isostáticas, entre outras (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008 e ABCERAM, 2013).

#### 3.3.2.6. Secagem

A etapa de secagem é necessária para eliminar a umidade residual das peças provenientes da etapa anterior - prensagem. Os secadores podem ser verticais ou horizontais, sendo aquecidos por meio de queimadores que podem operar com combustíveis líquidos e/ou gasosos (OLIVEIRA; HOTZA, 2011). Para evitar as tensões e, conseqüentemente, os defeitos nas peças, é importante que a eliminação de água se dê de maneira lenta e gradual (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008 e ABCERAM, 2013).

#### 3.3.2.7. Esmaltação e Decoração

Após a secagem, a maioria dos produtos cerâmicos recebe uma camada fina e contínua de um material denominado de esmalte ou vidrado, que após a queima adquire o aspecto vítreo (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008). Esta camada vítrea contribui para os aspectos estéticos, higiênicos e melhoria de algumas propriedades físicas, como a resistência mecânica e elétrica (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008).

Com relação aos esmaltes (vidrados), estes são obtidos a partir de matérias-primas naturais e de produtos da indústria química e podem ser do tipo cru, esmalte de fritas ou, até mesmo, uma mistura dos mesmos (ABCERAM, 2013). O esmalte cru consiste na mistura de várias matérias-primas com granulometria fina; já o esmalte de fritas possui em sua formulação o material denominado frita cerâmica (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008). A aplicação se dá por diversas técnicas, entre estas tem-se: imersão, pulverização, campânula, cortina, disco, gotejamento e aplicação em campo eletrostático (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008).

A preparação do esmalte engloba a dosagem das matérias-primas (fritadas, não fritadas ou ambas), moagem e homogeneização a úmido em moinho de bolas e armazenamento em tanques com agitação; sendo que durante a

preparação são inseridos um ou mais produtos químicos a fim de proporcionar ou corrigir determinadas características, tais como ligantes, plastificantes, defloculantes, fluidificantes, antiespumantes, entre outros (ABCERAM, 2013). Contudo, para conferir coloração aos esmaltes, são adicionados os corantes.

Muitos materiais também são submetidos a uma decoração, a qual pode ser obtida por diversos métodos, tais como serigrafia, decalcomania, pincel e outros, sendo que também adquirem suas características finais após o tratamento térmico por queima (ABCERAM, 2013). A decoração através de telas (*silkscreen*) é uma das técnicas mais difundidas, devido à facilidade da aplicação nas linhas de vitrificação, essa, de acordo com Oliveira e Maganha (2008, p. 39), consiste em “imprimir a decoração por meio de uma ou mais telas que contém aberturas apenas na região do desenho a ser reproduzido e por onde as tintas penetram pela força de um rolo, imprimindo assim a figura desejada na superfície da cerâmica”.

#### 3.3.2.8. Queima

O processo de queima permite as reações de fusão e cristalização dos vários componentes da massa cerâmica e do esmalte, sendo que estas contribuem para obtenção de suportes cerâmicos com absorção de água e retração de acordo com as especificação predeterminadas, valorizando a estética da superfície esmaltada (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

É nesta etapa que os produtos adquirem suas propriedades finais, tais como brilho, cor, porosidade, estabilidade dimensional, resistência à flexão, ao gretamento, às altas temperaturas, à água, ao ataque de agentes químicos, entre outras (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008).

O ciclo de queima compreende em três fases, sendo: aquecimento da temperatura ambiente até a temperatura desejada; patamar durante certo tempo na temperatura especificada, e resfriamento (ABCERAM, 2013). E é durante o tratamento térmico que ocorre uma série de transformações em virtude dos diversos componentes da massa, tais como: perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, formação de fase vítrea e a soldagem dos grãos (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008).

### 3.3.2.9 Acabamento

Após a queima, os produtos cerâmicos são retirados dos fornos, o qual já é responsável pelo resfriamento das peças, e passam por um sistema de inspeção, remetendo-se assim ao consumo (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008). Em alguns casos, dependendo das características a que se quer chegar, os produtos passam por um processamento adicional, denominado genericamente de pós-queima, que representa o acabamento por meio de polimento, corte, furação, entre outros (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008).

### 3.3.2.10 Classificação e Embalagem

As peças acabadas são classificadas, embaladas e acondicionadas em *pallets* de madeira, finalizando o processo de fabricação e caracterizando o armazenamento para posterior comercialização (OLIVEIRA; MAGANHA, 2008). Com relação à qualidade do produto acabado, conforme Oliveira e Maganha (2008, p. 41):

O controle de qualidade do produto considera sua regularidade dimensional, aspecto superficial e características mecânicas e químicas. A análise dos aspectos superficiais e das características mecânicas, tais como cor, trinca e empeno das peças é feita visualmente por um técnico e, em função do defeito encontrado, o produto é codificado e classificado numa linha pelos embaladores e, na outra, por um sistema automatizado de embalagem. A análise dos aspectos dimensionais da peça é feita mediante sistemas automáticos (equipamentos mecânicos).

### 3.3.3 Colorifícios cerâmicos

Os colorifícios integram a cadeia produtiva de diversos segmentos da indústria cerâmica, abastecendo-a com insumos minerais que são destinados para a formação das superfícies de cobertura (esmaltação) e decoração das peças (CABRAL JUNIOR *et al*, 2010).

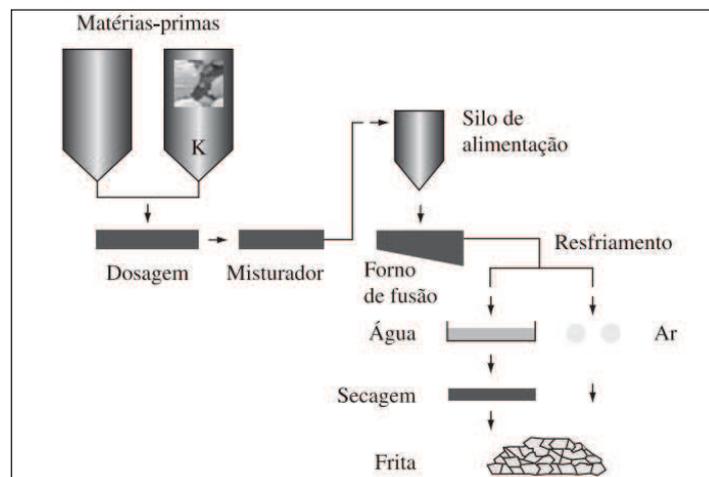
Estas empresas são responsáveis pela fabricação de uma série de produtos destinados a formação de uma camada vítrea na superfície das peças e, também, para a decoração das mesmas, os quais são empregados em diversos segmentos cerâmicos como: revestimentos cerâmicos, cerâmica de uso doméstico, vidros, entre outros (ABCERAM, 2013).

As normas técnicas relacionadas aos revestimentos cerâmicos são bastante exigentes no que se refere ao desempenho da camada de esmalte aplicada à superfície das peças cerâmicas, portanto, tais normas se aplicam consideravelmente aos corifícios cerâmicos, uma vez que são estes os responsáveis pela produção de insumos para o processo de esmaltação (CALAES, 2009). Assim, algumas das principais propriedades normatizadas são: resistência ao ataque químico, resistência ao desgaste mecânico, coeficiente de atrito, tonalidade, entre outras (CALAES, 2009 e COELHO; BOSCHI, 2009).

Os produtos fabricados pela indústria em comento são compostos, esmaltes, engobes, bases serigráficas, fritas cerâmicas, granilhas e corantes; sendo que o principal produto fornecido são as fritas (CABRAL JUNIOR *et al*, 2010). Todos estes produtos citados acima apresentam diversas composições e características, sendo obtidos a partir de matérias-primas naturais e/ou produtos químicos (ABCERAM, 2013). Na maioria das vezes são elaborados a partir da mistura das fritas cerâmicas pré-produzidas também, não só com as matérias-primas naturais e sintéticas adquiridas pelos colorifícios (CABRAL JUNIOR *et al*, 2010).

As fritas, conforme Cabral Junior *et al* (2010, p. 13) “tratam-se de materiais cerâmicos vítreos, insolúveis em água, que são obtidos pela fusão seguida de resfriamento rápido de misturas controladas de matérias-primas”; sendo que esta fusão ocorre em fornos que trabalham com queima de gás natural enriquecido com oxigênio (COELHO; BOSCHI, 2009). O processo de fabricação de fritas pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Processo de produção de fritas cerâmicas



Fonte: ITC - Instituto de Tecnologia Cerâmica, 2006 *apud* CABRAL JUNIOR *et al*, 2010

A partir das fritas cerâmicas é que surgem as granilhas. O processo consiste na secagem das fritas após fusão; moagem para diminuição da granulometria, e peneiramento para coleta do grânulo predeterminado, denominado granilha. Conferem resistência ao deslizamento e à abrasão, dureza e efeitos de textura, cor e relevo, por exemplo.

Os compostos consistem na mistura de diversas matérias-primas, para a fabricação de, por exemplo, fritas cerâmicas, engobes, esmaltes cerâmicos, bases serigráficas, entre outros.

O engobe é uma cobertura aplicada no corpo cerâmico cru ou queimado que se aplica como uma camada intermediária lisa, branca e ligeiramente fundente, e possui como algumas de suas finalidades: eliminar defeitos superficiais do corpo cerâmico, possibilitando melhor superfície do esmaltado; assegurar a constância das cores, independente da cor e qualidade da base cerâmica, bem como mudar a cor desta; entre outras (PRACIDELLI, 2008).

Já os esmaltes, utilizados como o recobrimento mais externo, são aplicados à superfície da base cerâmica e, após a queima, formam uma camada vítrea, delgada e contínua, tendo como principais finalidades aprimorar a estética, tornar o produto impermeável e melhorar a resistência à abrasão (CABRAL JUNIOR *et al*, 2010). Além disso, conforme Cabral Junior *et al* (2010), algumas das propriedades normatizadas pelas empresas correspondem à: resistência ao ataque químico, resistência ao desgaste mecânico, coeficiente de atrito e tonalidade.

Os corantes, utilizados a fim de conferir coloração aos esmaltes, também denominados de pigmentos cerâmicos, passam por um processo de fabricação que consiste em: pesagem, mistura e moagem das matérias-primas (óxidos e outros compostos químicos), acondicionamento da mistura moída em caixas refratárias, calcinação das caixas em fornos intermitentes em temperaturas que variam de 1200°C a 1300°C, lavagem do material calcinado para eliminação de eventuais materiais solúveis, moagem, ensacamento, armazenamento e distribuição (ABCERAM, 2013). A formação da cor nos materiais vítreos pode ocorrer por três maneiras, conforme informações citadas pela ABCERAM (2013): por solução de íons cromóforos, geralmente, metais do grupo de transição (Cr, Cu, Fe, Co, Ni, Mn, U e V); por dispersão coloidal de metais ou metalóides ou composto químico (Au, Ag e Cu); por dispersão de cristais coloridos (pigmentos cerâmicos). Com relação ainda a fabricação dos corantes, segundo ABCERAM (2013), cita-se:

Enquanto que os óxidos corantes são pouco estáveis em temperaturas elevadas e no meio em que se encontram imersos, gerando cores pouco constantes ou reprodutíveis, os pigmentos cerâmicos são estruturas inorgânicas, as quais são capazes de desenvolver a cor e estabilizá-la em altas temperaturas e aos agentes químicos, resistindo os ataques agressivos causados pelos vidrados devido a ação fundente de seus componentes, em outras palavras são compostos insolúveis ou que sua solubilidade não é significativa.

No Brasil, a maior parcela de empresas que participam do segmento na oferta de insumos minerais para os segmentos cerâmicos são empresas de capital estrangeiro (CABRAL JUNIOR *et al*, 2010). Geograficamente, as plantas industriais estão concentradas em duas regiões brasileiras, que dominam a produção de revestimentos no país, mais especificamente no interior dos estados de São Paulo e de Santa Catarina (COELHO; BOSCHI, 2009).

No pólo de Criciúma e região (Santa Catarina) se concentram as maiores empresas nacionais, tendo como estratégia competitiva, o *design*, a qualidade e a marca, fabricando revestimentos cerâmicos por meio do processo de via úmida (CONSTANTINO; ROSA; CORRÊA, 2006).

Os coloríficos que atuam no país adotam as mais modernas técnicas administrativas e de produção, correspondendo um dos elos industriais de uso mais intensivo em tecnologia e com a produção de insumos minerais de alto valor agregado, entretanto, não possuem como prática comum a certificação de sistemas de qualidade, gestão ambiental e seguranças, assegurados pelas séries ISO 9.000, ISO 14.000 e OHSAS 18.000 respectivamente (COELHO; BOSCHI, 2009 e CABRAL JUNIOR *et al*, 2010). Estima-se que apenas 15% dos coloríficos no Brasil possuem estas referidas certificações ou equivalentes (COELHO; BOSCHI, 2009).

Vale destacar que além dos insumos produzidos, os coloríficos brasileiros possuem como hábito a oferta de vários serviços, tais como: desenvolvimento conjunto de produtos, assessoria de processo, testes, assistência técnica e trocas de informações (CONSTANTINO; ROSA; CORRÊA, 2006).

Conforme Cabral Junior *et al* (2010, p. 16), os avanços tecnológicos na fase de esmaltação geralmente são constantes e velozes, permitindo que as empresas brasileiras se mantenham atualizadas em relação ao mercado internacional, e que:

Apesar do patamar tecnológico atingido, inclusive no que se refere à adoção de tecnologias limpas (como o reaproveitamento da água utilizada no processo e redução da emissão de poluentes), os coloríficos brasileiros se reportam aos grandes centros tecnológicos e de design na Itália e na Espanha para a observação de tendências e a absorção de melhorias. [...]

Essas inovações vão desde o desenvolvimento de novos produtos – novas formulações de esmalte, técnicas de maior resistência do produto à abrasão, preenchimento de poros na fase de polimento, desenvolvimento de vidrados, engobes e tintas como suporte à atividade de design –, até melhorias no processo, como adequações das massas e das matérias-primas, novos processos (como serigrafia por jato de tinta), e adaptações em equipamentos e no processo visando à redução de danos ambientais.

Estes danos ambientais são ocasionados pelas diversas atividades desenvolvidas pelos colorifícios cerâmicos. Os principais são ocasionados pela alto consumo de água, energia e matérias-primas, bem como caracterizado pela geração de resíduos, emissões atmosféricas e efluentes líquidos.

A fabricação de fritas, que o principal produto deste tipo de indústria, tem um alto consumo de gás natural, gerando grandes quantidades de dióxido de carbono (CALAES, 2009 e COELHO; BOSCHI, 2009). Além disso, durante o processo de fusão há também a emissão de material particulado que são direcionados e capturados pelos filtros (COELHO; BOSCHI, 2009). Em alguns casos, segundo Coelho e Boschi (2009), ocorre a reintrodução deste resíduo para a produção de fritas de segunda linha. É comum, também, a recuperação de resíduos finos de fritas arrastados, que acabam decantando e são reaproveitados (COELHO; BOSCHI, 2009).

A água é consumida para a fabricação de diversos insumos para o processo de esmaltação de peças cerâmicas, principalmente se o colorifício trabalha com moagens a úmido. No entanto, o maior consumo se dá na etapa de resfriamento das fritas; contudo, as plantas trabalham em circuito fechado, com recirculação de água com perda só por evaporação (COELHO; BOSCHI, 2009).

### 3.3.3.1 Principais matérias-primas utilizadas

Com relação às matérias-primas usadas pelos colorifícios, tem-se um consumo de uma grande variedade de matérias-primas naturais e sintéticas. Contudo, citam-se como principais as seguintes substâncias minerais: quartzo, feldspatos, calcários, caulim, argilas, zircônio e talco (COELHO; BOSCHI, 2009 e CABRAL JUNIOR *et al*, 2010).

Para estes minerais industriais cerâmicos, segundo Coelho e Boschi (2009, p. 4), “são requeridos elevada pureza e controle rígido das especificações químicas, caso, por exemplo, dos fundentes, com os colorifícios absorvendo os

minérios feldspáticos de melhor qualidade produzidos a partir de rochas pegmatíticas”.

Ainda, conforme informações citadas pela ABCERAM (2013), além das matérias-primas citadas acima para a fabricação de esmaltes têm-se: quartzito, lepidolita, espodumênio, ambligorita, calcita, fluorita, dolomita e zirconita. E com relação aos produtos químicos utilizados em mistura com as matérias-primas, pode-se citar: borax, ácido bórico, carbonato de sódio, nitrato de sódio, carbonato de potássio, nitrato de potássio, óxidos de chumbo, carbonato de cálcio, carbonato de bário, carbonato de magnésio, carbonato de lítio, carbonato de estrôncio e óxido de zinco (ABCERAM, 2013).

Com relação às matérias-primas sintéticas utilizadas para a produção de fritas e insumos básicos nos coloríficos pode-se citar: boratos, óxidos de zinco, nitratos e vidros (COELHO; BOSCHI, 2009 e CABRAL JUNIOR *et al*, 2010).

De acordo com Constantino, Rosa e Corrêa (2006, p. 2), pode-se citar:

Para a produção dos esmaltes (utilizados para o acabamento do revestimento) utilizam-se também outros compostos minerais, que constituem seus três componentes básicos: elementos fundentes (chumbo, magnésio, cálcio e sódio), elementos opacificadores e refratários, que determinam as propriedades finais do vidro (estanho, zinco, zircônio e alumínio), e elementos vítreos, que formam o corpo do esmalte (quartzo e feldspato).

### 3.4 VALORIZAÇÃO DE RESÍDUO: LODO CERÂMICO

A reciclagem e o reuso são considerados como uma maneira de resolver os problemas criados pelas limitações em se dar uma destinação adequada aos resíduos sólidos e aos efluentes líquidos gerados (AISSE; COHIM; KIPERSTOK, 2006). Em muitas situações, as águas residuárias podem deixar de ser um problema para serem parte da solução por meio de reuso ou reciclagem (PINTO; FORESTI; MARQUES JÚNIOR, 2006).

Estes produtos secundários podem ser reutilizados diretamente ou podem ser aproveitados como matéria-prima básica em outros processos industriais (CASAGRANDE *et al*, 2008) ou, ainda, passarem pelo processo de reciclagem. Sendo que reciclagem é o processo de transformação pelo qual um resíduo sólido passa, envolvendo alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos (BRASIL,

2010). Já a reutilização pode ser definida como o processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química (BRASIL, 2010). Vale ressaltar que ambas as definições encontram-se na Lei 12.305/2010, a qual institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

O gerador de tal emissão (efluente e, por conseguinte, lodo) busca tais alternativas e procura um meio onde este possa ser aceito, ao menor custo; e, caso não seja desenvolvida tal iniciativa, a indústria geradora tem de pagar às empresas licenciadas para coleta e recepção de resíduos (AISSE; COHIM; KIPERSTOK, 2006).

Várias indústrias do setor de revestimento cerâmico têm revisado seus processos a fim de minimizar suas emissões e resíduos, assim, as próprias indústrias estão empregando subprodutos ou resíduos de outros processos em suas composições de, por exemplo, massa cerâmica (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

A geração de poluentes não é mais uma consequência inevitável da produção de bens e serviços, uma vez que podem ser (i) provenientes de processos mal eficientes que acabam ocasionando a não conversão de parcela da matéria prima em produtos, (ii) perdas de matérias-primas e/ou produtos em virtude do gerenciamento inadequado de estoques, (iii) derramamentos e desperdícios ao longo do processo produtivo, seja pela falta de gerenciamento adequado, de treinamento de pessoal, de manutenção preventiva insuficiente ou inadequada, (iv) ocasionados por acidentes, visto que não haja planos adequados de prevenção e atendimento a acidentes, (v) perdas de energia, por falta de eficiência no planejamento, projeto ou uso da mesma (GASI; FERREIRA, 2006).

Contudo, o enfoque preventivo é de extrema importância. De acordo com Gasi e Ferreira (2006, p. 49), atualmente considera-se que os resíduos/rejeitos “não significam apenas desconformidade legal, mas também responsabilidade continuada do gerador, redução da produtividade e da competitividade, prejuízos à imagem, redução das margens de lucro e eventual perda de mercados. O ideal é, portanto, não gerá-los.”.

E relacionando resíduos com oportunidades de negócios para uma empresa, Donaire (1999) cita a reciclagem de materiais, seja esta interna ou externamente, que tem trazido uma grande economia de recursos e a minimização de impactos ambientais. E ainda, de acordo com Casagrande *et al* (2008), “seguir

apenas os padrões mínimos expressos na legislação ambiental não é considerado suficiente para manter vantagens competitivas, sobretudo no mercado externo”.

Conforme Casagrande *et al* (2008):

A contínua necessidade, por parte do mercado, de novos produtos cerâmicos dotados de propriedades funcionais sempre melhores, tem notadamente estimulado a pesquisa em direção à aplicação de materiais de baixo custo. Nos últimos anos, muitos foram os estudos que analisaram a possibilidade de reciclagem de uma vasta gama de resíduos industriais. A maior parte das pesquisas demonstrou a importância da reciclagem na proteção ambiental e no desenvolvimento tecnológico.

Na indústria cerâmica a utilização de resíduos, tais como o lodo cerâmico proveniente das estações tratamento de efluentes, se dá para a substituição de uma ou mais matérias-primas da composição original do produto, mantendo-se o processo de produção igual ao convencionalmente utilizado (características tecnológicas), com o intuito de que as propriedades do produto se mantenham (SCARINCI *et al*, 2000 *apud* CASAGRANDE *et al*, 2008).

Segundo Nandi *et al* (2012), o lodo cerâmico pode ser empregado na formulação de fritas e massas cerâmicas como uma alternativa de redução de custos industriais e valorização do resíduo. Sendo que as maiores quantidades são geradas nos seguintes setores da indústria cerâmica: preparação de esmaltes e tintas, preparação de massa e linha de esmaltação/decoração (NANDI *et al*, 2012).

Conforme Nandi *et al* (2012), estima-se que para cada 100.000 m<sup>2</sup> produzidos, aproximadamente 10 ton de lodo cerâmico são gerados.

Um outro estudo foi realizado por Troes Velho e Bernardin (2011), usando lodo proveniente da lavagem do piso do setor de esmaltação, o qual é composto por resíduos de todas as tipologias de vidrados e engobes da empresa. Este resíduo foi introduzido na formulação de engobe, como um percentual de 25%, sem deixar de manter a boa qualidade do produto (TROES VELHO; BERNARDIN, 2011).

A introdução de resíduos em engobe também pode ser visualizada no trabalho realizado por Oliveira (2005). Este reaproveitou esmalte de sobra, demonstrando bons resultados com a adição de 9% de tal resíduo, o que acarretou na redução do custo do engobe e diminuição de impactos ambientais.

O trabalho produzido por Brida (2008), mais uma vez representa o uso de resíduos de esmaltes na diluição de engobes. Este estudo, conforme Brida (2008, f. 46), foi realizado em uma indústria de revestimentos cerâmicos da região catarinense e “demonstra que é possível reaproveitar praticamente todos os rejeitos

de esmalte gerado na fábrica em questão de maneira simples e eficiente”, desde que separando em lotes e homogeneizando. A possibilidade de aproveitamento de esmaltes desperdiçados, seja por meio da lavagem de equipamentos ou ineficiência do sistema, é possível, uma vez que possui características próximas aos esmaltes fornecidos pelos coloríficos (BRIDA, 2008). Vale destacar, ainda, que estes resíduos de esmaltes são provenientes de canaletas, filtros, raspagem e que, muitas vezes, encontram-se misturados com massas cerâmicas e outras possíveis contaminações do processo (BRIDA, 2008).

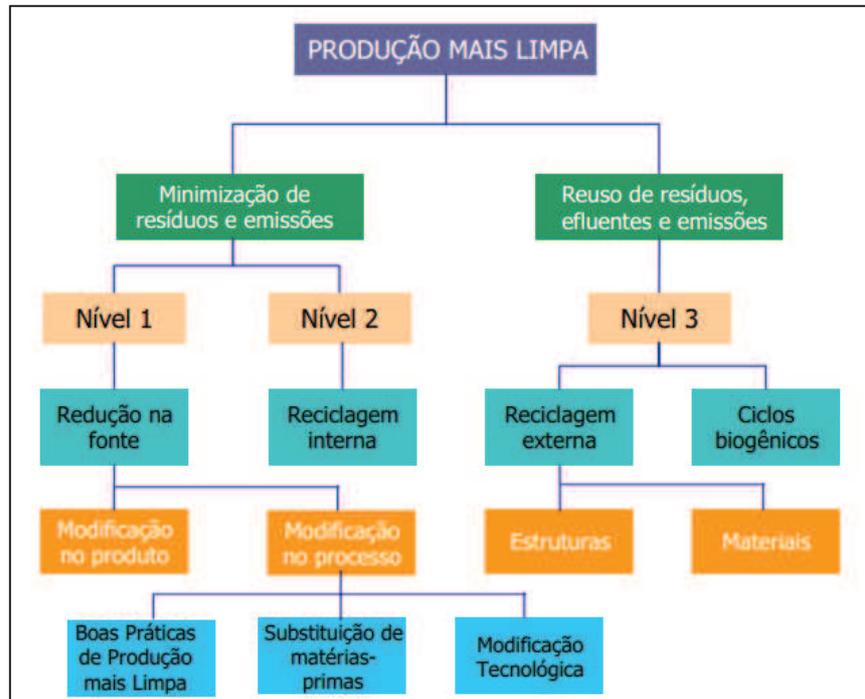
Mondo (2008) desenvolveu um esmalte a partir de rejeito da ETE de uma indústria cerâmica, mais especificamente com a raspa recolhida do filtro prensa, após tratamento do efluente. Esta retornou ao processo, no moinho a úmido, e posteriormente transformou-se em barbotina de esmalte. As melhores condições de trabalho, se assemelhando mais a um esmalte produzido por um colorífico, foi o esmalte testado com 83,9% de resíduo, sendo utilizados aditivos na mistura para melhorar a reologia, uma vez que o esmalte de reaproveitamento mostrava-se com uma elevada tixotropia, ou seja, possui alta resistência a fluidez quando isento de agitação mecânica (MONDO, 2008). Para esclarecer este tipo de resíduo, Mondo (2008, f. 45) cita:

A raspa é um material que contém esmaltes, engobe e massas cerâmicas não sintetizadas, além de outros materiais de origem orgânica como carboximetilcelulose, e princípios ativos dos floculantes e bactericidas utilizados na estação de tratamento de água.

Ainda, conforme Ravaglioli e Zannini (s.d.), é muito comum um fluido tixotrópico no campo da cerâmica, este representa a tendência da suspensão em alterar seu comportamento reológico em função do regime de escoamento.

Vale ressaltar que a iniciativa de valorização de resíduos sólidos se engloba em alguns conceitos desenvolvidos para explicar o enfoque preventivo, tais como: minimização de resíduos e produção mais limpa (GASI; FERREIRA, 2006). A Produção mais Limpa (P+L) pode ser classificada em três níveis, como ilustrado no fluxograma da Figura 4. A P+L, segundo CNTL/SENAI-RS (2003), “é caracterizada por ações que privilegiem o Nível 1 como prioritárias, seguidas do Nível 2 e Nível 3, nesta ordem.

Figura 4 – Fluxograma representando níveis de classificação de P+L



Fonte: CNTL/SENAI-RS, 2003

### 3.4.1 Tratamento de efluentes industriais: coagulação, floculação e sedimentação

Os processos de coagulação, floculação e sedimentação, respectivamente, são alguns dos procedimentos utilizados no tratamento primário de um efluente (NUNES, 2004). Vale citar que um tratamento preliminar, também conhecido como pré-tratamento, é bastante importante para o tratamento subsequente (tratamento primário), uma vez que é responsável pela remoção de materiais sólidos grosseiros com o auxílio de peneiras, grades e desarenadores, caracterizando assim a separação física (NUNES, 2004).

O processo físico-químico de águas residuárias decorrentes dos processos industriais, representado pela adição de produtos químicos (coagulantes-floculantes), auxilia na separação entre o efluente concentrado por partículas sólidas (lodo) e a água clarificada.

De acordo com Baltar (2010), os principais processos de agregação de partículas coloidais e que são utilizados em operações de separação sólido-líquido são, como já em comento, a coagulação e a floculação.

De acordo com Miranda e Monteggia (2007):

Pela adição de certas substâncias químicas à água, forma-se um precipitado insolúvel gelatinoso, floculento, o qual neutraliza e se combina com partículas carregadas e, sem sua descida através da água, absorve e prende matéria em suspensão e coloidal, apressa a sedimentação e remove as partículas mais completamente e mais rapidamente que o faria a sedimentação simples.

A coagulação é processo que representa a introdução de coagulantes no efluente, o que acarreta na redução das forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão, permitindo que sejam formados agregados denominados de coágulos (BALTAR, 2010 e RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991). Mais tecnicamente falando, segundo Baltar (2010), ocorre quando as forças superficiais de natureza atrativa superam as de natureza repulsiva.

Vale destacar que a coagulação das partículas é um tipo de pré-tratamento da polpa (efluente), antes dessa ser submetida ao processo de sedimentação (FRANÇA; CASQUEIRA, 2007).

Com relação à coagulação, tem-se, segundo Nunes (2004, p. 125):

A mistura do coagulante e o efluente provoca a hidrólise, polimerização e a reação com a alcalinidade, formando hidróxidos denominados gel, produzindo, na solução, íons positivos. Estes íons desestabilizam as cargas negativas dos colóides e sólidos em suspensão, reduzindo o potencial zeta a ponto próximo de zero, denominado ponto isoelétrico, permitindo a aglomeração das partículas e, conseqüentemente, a formação de flocos.

As partículas suspensas ou coloidais usualmente possuem carga negativa cujo sinal pode ser mudado, dependendo do pH e de outras características do ambiente (BABBITT; DOLAND; CLEASBY, 1973). Quando as partículas mantêm a mesma carga (negativa ou positiva), estas podem continuar permanentemente suspensas pela repulsão eletromagnética; assim, a coagulação, ao afetar a carga eletrostática, pode provocar sedimentação (BABBITT; DOLAND; CLEASBY, 1973).

Já a floculação é realizada na sequência do processo de coagulação e tem por objetivo promover o contato entre as partículas desestabilizadas (coágulos), de maneira a formar a agregação das mesmas em flocos, que são maiores e mais pesados (NUNES, 2004). A formação destes flocos se dá à medida que há colisões entre as partículas (NUNES, 2004). E segundo Richter; Azevedo Netto (1991, p. 53), a floculação é representada pela “aglomeração das partículas por efeito de transporte de fluido, de modo a formar partículas de maior tamanho que possam sedimentar por gravidade. Essa resulta da ação de um polímero de alto peso

molecular que, em geral, adsorve-se de maneira simultânea na superfície das várias partículas constantes no efluente, formando o agregado denominado de floco (BALTAR, 2010). Ainda, conforme Di Bernardo; Di Bernardo; Centurione Filho (2002, p. 91):

a floculação corresponde à etapa em que são fornecidas condições para facilitar o contato e a agregação de partículas previamente desestabilizadas por coagulação química, visando a formação de flocos com tamanho e massa específica que favorecem a remoção por sedimentação.

O polímero, o qual é denominado de floculante e necessariamente é solúvel em água, pode ser classificado quanto à sua origem – natural, modificado ou sintético; carga – neutro, aniônico ou catiônico, e peso molecular – baixo, médio ou elevado (BALTAR, 2010).

Contudo, os processos de floculação e coagulação reúnem as melhores alternativas de minimizar a irregularidade na forma da partícula ou, até mesmo, no seu diâmetro (FRANÇA; CASQUEIRA, 2007). Isso porque a técnica de aglomeração de partículas acarreta em unidades destas maiores e de formato mais regular, que, conseqüentemente, sedimentam mais facilmente (FRANÇA; CASQUEIRA, 2007).

Vale ressaltar que após adicionados os produtos coagulantes-floculantes, deve haver uma homogeneização por meio da mistura, a qual tem a finalidade de auxiliar na dispersão do coagulante e/ou floculante na massa líquida (efluente), tendo uma distribuição uniforme e homogênea (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991). Esta mistura pode ser realizada por meio de misturadores mecânicos ou hidráulicos e com energia específica suficiente para dispersão total, dada pelo gradiente de velocidade (NUNES, 2004).

Entre os coagulantes mais comumente utilizados, cita-se o sulfato de alumínio, o sulfato ferroso junto com o hidróxido de cálcio, e o alumínio de sódio (BABBITT; DOLAND; CLEASBY, 1973). Nunes (2004) menciona como floculantes usualmente empregados o sulfato de alumínio e o cloreto férrico. E, especificamente como floculante, tem-se os polímeros (DI BERNARDO; DI BERNARDO; CENTURIONE FILHO 2002).

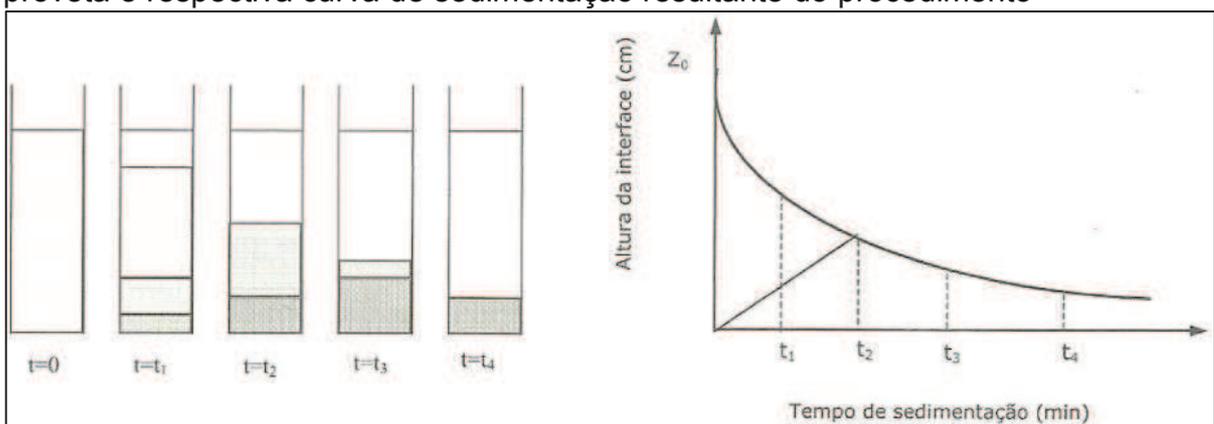
Realizado os processos de coagulação e floculação, há, conseqüentemente, a ocorrência da sedimentação. Esta é, segundo Di Bernardo; Di Bernardo; Centurione Filho (2002, p. 100), “o fenômeno físico em que as partículas em suspensão apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica, devido à ação da gravidade”, ou seja, é a separação sequencial

das fases sólida e líquida que se baseia na diferença entre as densidades dos constituintes, neste caso do efluente, por força gravitacional (FRANÇA; CASQUEIRA, 2007). A definição de sedimentação é “operação baseada no transporte de partículas sólidas através de um meio líquido” de acordo com França e Casqueira (2007, p. 394). Sendo que os sólidos que sedimentam no fundo do decantador são removidos como lodo (NUNES, 2004).

No entanto, existem vários fatores que influenciam o processo de sedimentação, tais como a natureza das partículas, o pré tratamento da polpa e o efeito da concentração de sólidos presente na mesma (FRANÇA; CASQUEIRA, 2007).

O processo de sedimentação pode ser realizado em bancada (laboratório) por meio da técnica com provetas graduadas, sendo que tais ensaios consistem em um teste de sedimentação descontínuo (FRANÇA; CASQUEIRA, 2007). Durante este ensaio em proveta, registra-se o deslocamento da interface superior da polpa (efluente – líquido com sólido) em função do tempo, cujos dados são utilizados para a construção de um gráfico, como o da Figura 5 abaixo, com base no qual serão obtidas informações operacionais essenciais para o projeto e operação de unidades contínuas (FRANÇA; CASQUEIRA, 2007).

Figura 5 – Representação das etapas de sedimentação em ensaio de bancada com proveta e respectiva curva de sedimentação resultante do procedimento



Fonte: FRANÇA; CASQUEIRA, 2007

### 3.4.2 Características do lodo: comportamento reológico

De acordo com Nunes (2004, p. 159), lodo “é o material sedimentado e removido do fundo de decantadores, enquanto o líquido clarificado ou tratado é removido pela superfície”.

O lodo pode ser classificado nos seguintes tipos:

- Lodo primário ou bruto: é o lodo removido de decantadores primários, os quais são adotados antes dos tratamentos primário (coagulação-floculação) e secundário (processos biológicos);
- Lodo secundário: é o lodo removido de decantadores após reatores, ou mesmo extraído diretamente do reator biológico;
- Lodo químico: é o lodo proveniente dos sistemas de tratamento primário, mais especificamente físico-químico, no qual são usados coagulantes e precipitantes.

Após a remoção, o lodo deve ser desaguado em sistemas de desidratação, tais como filtro prensa ou leitos de secagem, antes de sua disposição final (NUNES, 2004). Vale citar que o lodo passa a ser considerado com um resíduo sólido, podendo ser classificado pela ABNT NBR 10.004/2004, referente à classificação de resíduos sólidos.

No entanto, ao invés do lodo ter uma disposição final (aterro sanitário), o mesmo pode passar por processos de reaproveitamento ou reciclagem. Entretanto, para isso, o lodo cerâmico precisa possuir características similares aos produtos ou insumos da indústria na qual se pretende utilizá-lo. Estas características, tais como tempo de escoamento e densidade, auxiliam no trabalho adequado com o mesmo nos equipamento da indústria, bem como na característica final no produto que será fabricado com o lodo reciclado/reaproveitado.

A densidade em que se tem do lodo é de extrema importância, tanto para o tratamento físico-químico visando à sedimentação, quanto para o processo de reciclagem que se pretende desenvolver.

Matematicamente, a densidade ( $\rho$ ) é a razão entre a massa de uma substância ( $m$ ) e o volume ( $V$ ), melhor representado pela Equação 1 (ATKINS; JONES, 2001 *apud* SAMPAIO; SILVA, 2007).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Equação 1}$$

A densidade de um fluido pode ser determinada por meio da técnica do picnômetro, exigindo uma balança de precisão com, no mínimo, duas casas decimais (SAMPALIO; SILVA, 2007). Existem diferentes tipos de picnômetro, um exemplo é o que consiste um balão de vidro com fundo chato e com uma rolha de canal capilar também de vidro (SAMPALIO; SILVA, 2007). Além disso, conforme os

referidos autores da citação anterior, este procedimento com uso de picnômetro deve ser realizado em duplicata.

A umidade é outro fator de extrema necessidade em se ter conhecimento, uma vez que identifica a quantidade de água presente no resíduo sólido a ser trabalhado. Conforme Sampaio e Silva (2007, p. 45):

A umidade é definida como o peso de água existente no minério, isto é, a água de superfície dividida pelo peso do minério seco. Quando o peso de água no minério atinge valores para os quais, a mistura água minério, torna-se uma suspensão, utiliza-se a percentagem de sólidos para o cálculo da água contida no minério, como será discutido posteriormente.

O cálculo da umidade, expresso em (%), pode ser feito com auxílio da Equação 2.

$$\text{umidade (\%)} = 100 \frac{(\text{massa úmida}) - (\text{massa seca})}{\text{massa úmida}} \quad \text{Equação 2}$$

A reologia, conforme Trush (1968) *apud* Campos, Luz e Braga (2010, p. 337), “estuda as propriedades físicas resultantes do escoamento de materiais, particularmente fluxo plástico de sólidos e de líquidos não newtonianos”. De maneira geral, as propriedades reológicas de uma suspensão são influenciadas por alguns fatores, tais como viscosidade do meio fluido, concentração de sólidos, tamanho e forma de partículas e forças de interação entre as partículas (CAMPOS; LUZ; BRAGA, 2010).

Segundo Bennett e Myers (1978), a reologia é definida como a ciência que estuda a deformação e o escoamento de materiais sob a ação de uma força, onde está incluso o comportamento de fluídos não newtonianos. Para um fluído newtoniano existe uma relação linear entre tensão de cisalhamento e o gradiente de velocidade  $du/dy$ , sendo que muitos autores se referem ao gradiente de velocidade como sendo a velocidade de cisalhamento (BENNETT; MYERS, 1978). Já para fluídos não newtonianos, a relação não é linear e o tipo de relação é utilizado para classificar os diversos tipos de fluídos não newtonianos (BENNETT; MYERS, 1978).

Uma das propriedades medidas na deformação de fluidos é a viscosidade, sendo que esta pode fornecer importantes informações sobre variações estruturais que ocorrem durante a aplicação de uma deformação ou tensão (BARRA, s.d.).

De acordo com Possa e Lima (2000, p. 5), a “viscosidade de um fluido pode ser definida como sendo a propriedade que o mesmo apresenta em oferecer uma maior ou menor resistência à deformação, quando sujeito a esforços de escorregamento”. Com isso, os conceitos de tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento tornam-se importantes, para que se possa entender melhor o conceito físico e matemático da viscosidade (BARRA, s.d.).

A tensão de cisalhamento é considerada como a força por unidade de área cisalhante necessária para manter o escoamento do fluido; já a taxa de cisalhamento pode ser denominada de grau de deformação ou gradiente de velocidade (BARRA, s.d.).

Os fluidos podem ou não apresentar uma viscosidade dependente da taxa de cisalhamento. Se independentes da taxa de cisalhamento, são caracterizados como newtonianos; neste caso, conforme Possa e Lima (2000), “a viscosidade medida em qualquer ponto do circuito será a mesma, desde que não tenha sido adicionado algum agente modificador”. E, se apresentarem dependência, são denominados fluidos não newtonianos, os quais apresentam modificação constante na viscosidade, dependendo do grau de agitação da suspensão - bombeando ou no interior de um equipamento (POSSA; LIMA, 2000 e POSSA; NASCIMENTO, 2010).

Os fluidos não newtonianos podem ser classificados em: pseudoplástico com tempo de escoamento, plástico de Bingham, pseudoplástico e dilatante (POSSA; LIMA, 2010 e POSSA; NASCIMENTO, 2010). Vale citar que “todos estes tipos de escoamento são independentes do tempo de atuação de uma taxa de cisalhamento constante”, segundo Possa e Lima (2010, p. 6). No entanto, há também os fluidos com escoamento dependente do tempo de aplicação de uma taxa de cisalhamento, sendo estes classificados em tixotrópico ou reopético (POSSA; LIMA, 2010 e POSSA; NASCIMENTO, 2010).

Para os fluidos não newtonianos, a resistência proporcionada ao escoamento é calculada pela viscosidade aparente ( $\mu_{ap}$ ), cujo valor é o coeficiente angular da reta que passa pela origem e pelo ponto de interesse da curva - tensão por taxa de cisalhamento (POSSA; LIMA, 2000 e POSSA; NASCIMENTO, 2010). Esta corresponde à viscosidade de um fluido newtoniano que exibe a mesma tensão de cisalhamento para uma dada taxa de cisalhamento (DARLEY; GRAY, 1988 *apud* POSSA; LIMA, 2000).

Os comportamentos reológicos citados acima encontram-se melhor caracterizados na Tabela 1 a seguir.

Quadro 01 – Comportamento reológico de fluidos não newtonianos com citação das principais características

Comportamento reológico		Características
Dependentes do tempo	Tixotrópicos	Apresentam uma diminuição da viscosidade aparente com o tempo de atuação de uma taxa de cisalhamento constante até alcançar o equilíbrio. É uma transformação isoterma reversível. Exemplos: muitas argilas, particularmente a bentonita que se “liquefaz” por agitação e se “solidifica” quando em repouso, e tintas (característica esta que no momento de aplicação, retarda o escoamento).
	Reopéticos	São raros e apresentam um comportamento oposto aos tixotrópicos, uma vez que há um aumento da viscosidade aparente com o tempo de atuação de uma taxa de cisalhamento constante.
	Elásticos	Deformam de acordo com a Lei de Hooke, que estabelece que a tensão é proporcional ao deslocamento ou à extensão de deformação. Para fluidos newtonianos, a tensão é proporcional à velocidade de deslocamento ou deformação. A velocidade de deformação é algumas vezes chamada de velocidade de cisalhamento.
Independentes do tempo	Binghamianos e Pseudoplásticos com tensão de escoamento	Distinguem-se dos outros fluidos, pois requerem a aplicação de tensão de cisalhamento inicial, denominada de tensão de limite de escoamento ( <i>yield stress</i> ), para que seja causada alguma deformação, ou seja, para que o fluido comece a escoar.
	Pseudoplásticos	A viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de cisalhamento. Este comportamento pode ser encontrado em sistemas coloidais onde as partículas assimétricas, com orientação ao acaso, ficam inicialmente emaranhadas, formando uma rede e dificultando o escoamento. Com o aumento da taxa de cisalhamento esta rede se rompe e o escoamento é facilitado, diminuindo a viscosidade. É a maioria dos fluidos não newtonianos.
	Dilatantes	A viscosidade aparente aumenta com a elevação da taxa de cisalhamento. Este fluido imagina-se como tendo somente líquido suficiente para encher os espaços vazios entre as partículas em descanso ou submetidas a velocidades muito baixas. Quando submetidas a uma taxa de cisalhamento, as partículas conseqüentemente se movem mais rapidamente umas em relação às outras, necessitando de espaço, o que acarreta na dilatação do fluido. A água, sendo insuficiente para preencher os novos vazios maiores gerados, acarreta no aumento da viscosidade aparente.

Fonte: Da autora, conforme BENNETT; MYERS, 1978, POSSA; LIMA, 2000 e POSSA; NASCIMENTO, 2010

Entre os viscosímetros mais comumente utilizados, cita-se os tipos: de orifício e rotacional. O viscosímetro de orifício, como o nomeado *Cup Ford*, mede o tempo que um volume fixo de fluido leva para escoar por um orifício, existente no

fundo do recipiente do reservatório do equipamento; sendo que o tempo de escoamento é proporcional à viscosidade cinemática do fluido (FRANÇA, 2007). Esta alternativa para medição da viscosidade é bastante utilizada pelas indústrias, por ser de manipulação prática e fácil.

Com relação ao viscosímetro rotacional, Possa e Lima (2000, p. 15) cita:

Os viscosímetros rotacionais são constituídos de duas partes básicas separadas pelo fluido que está sendo analisado. As partes podem ser de cilindros concêntricos (copo e rotor), de placas, de cone e placa ou de discos. Uma das partes gira em relação a outra e produz cisalhamento no fluido. A viscosidade é medida em função do torque fornecido para produzir uma determinada velocidade angular ou, da velocidade angular necessária para produzir um determinado torque. Eles são mais versáteis que os de fluxo capilar e podem ser usados para fluidos não newtonianos.

Do ponto de vista dos reômetros, também há variações quanto aos tipos, assim como acontece com os viscosímetros. E, ao contrário dos viscosímetros, os reômetros possuem alta sensibilidade e um ótimo controle da temperatura e da taxa de cisalhamento, o que acarreta em resultados mais precisos (NASCIMENTO, 2007). Além disso, os reômetros são equipamentos mais versáteis que permitem a escolha de diferentes métodos de análise, a realização de testes dinâmicos oscilatórios, assim como possibilitam que sejam realizadas várias medidas em um único teste, como a de taxa e de tensão de cisalhamento (NASCIMENTO, 2007).

Na determinação de propriedades reológicas de fluidos com baixa e média viscosidade como, por exemplo, soluções, solventes, suspensões e emulsões emprega-se uma geometria do tipo cilindros coaxiais, que são reômetros rotacionais que causam a deformação por cisalhamento do material pela rotação de um sensor no interior ou exterior da amostra (POSSA, 2004 *apud* NASCIMENTO, 2007). Já para materiais muito viscosos, se emprega a geometria em forma de cone e placa ou placas paralelas, conforme Nascimento (2007).

Uma das vantagens dos reômetros, para a maioria dos viscosímetros com mesmas geometrias, são a aquisição e o processamento dos dados, que são fornecidos em um computador de forma instantânea, o que permite o acompanhamento em tempo real da amostra (NASCIMENTO, 2007).

De acordo com Possa e Nascimento (2010), no viscosímetro do tipo rotacional existem adaptações em que a suspensão pode sofrer agitação em um vaso e é continuamente bombeada para o copo do viscosímetro (ou reômetro), sendo o excedente eliminado por um dreno.

## 4 METODOLOGIA

A metodologia consiste na identificação e apresentação de métodos utilizados para a elaboração de um diagnóstico ambiental de toda a empresa e para o desenvolvimento de projeto específico de reciclagem interna de um resíduo sólido gerado na empresa, mais especificamente o lodo proveniente da ETE. Sendo estes auxiliados por meio de aprofundamento em referencial teórico e legislações.

Este estudo pode ser caracterizado como uma oportunidade de melhoria que pôde ser aprofundada, uma vez que, em princípio, englobará a minimização de resíduos sólidos gerados e de consumo de matérias primas, a diminuição dos custos com matérias-primas e, possivelmente, do preço final do produto comercializado, assim como uma iniciativa de produção mais limpa.

O projeto em comento consiste em diferentes etapas, e algumas vezes com distintas situações, as quais são: (i) tratamento do efluente no tanque específico para efluente proveniente dos setores de moagem e atomização e laboratórios, a fim de identificar o produto químico mais adequado ao tratamento em si e à posterior utilização para processo de reciclagem; (ii) coleta de amostra do lodo cerâmico decantado no tanque da ETE para teste de atomização, e (iii) desenvolvimento de produtos, fabricados no colorifício cerâmico onde foi realizado o estudo de caso, utilizando o lodo atomizado na formulação de engobes e fritas cerâmicas.

### 4.1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

Como a empresa não possui uma política ambiental e/ou um sistema de gestão ambiental, elaborou-se um diagnóstico ambiental, o que é o passo inicial para uma empresa nesta situação; tendo como um dos principais objetivos promover a percepção da defasagem em questões ambientais e, concomitante, da necessidade de melhorias.

Primeiramente, o foco principal foi analisar e conhecer bem o processo produtivo da empresa de colorífico cerâmico, a qual trabalha com dosagem de produtos (diferentes matérias primas em estado sólido), produção de fritas cerâmicas, granilhas, bases serigráficas e corantes. Além destes respectivos setores, também serão analisados, superficialmente, os outros setores da empresa, tanto na parte administrativa quando produtiva.

A partir disso foi elaborado um *check list* contemplando as principais legislações ambientais aplicáveis, seja no âmbito federal ou estadual, e as condicionantes da LAO, obtida pelo órgão ambiental competente. Esta ferramenta foi elaborada em quadro, representada pelo ‘item auditado’ de acordo com a temática tratada, seja legislação ou condicionante, e pela resposta ao mesmo.

Quanto à condicionante da LAO, identifica-se o *status* da empresa, ou seja, se a mesma atende total ou parcialmente, se não atende ou, até mesmo, se o item auditado é considerado como não aplicável. Com relação às legislações, o quadro foi construído a fim de evidenciar em que situação a organização se encontra segundo o item da temática legal auditado. A seguir encontram-se os modelos de quadro usados para *check list* da LAO (Quadro 1) e para o *check list* das legislações aplicáveis (Quadro 2).

Quadro 1 – Modelo de *check list* para LAO

Temática	Item auditado	Status			
		Atendido	Parcial	Não Atendido	N.A.

Fonte: Da autora, 2013

Quadro 2 – Modelo de *check list* para legislações aplicáveis

Temática	Item auditado	Evidência
Legislação		

Fonte: Da autora, 2013

Houve a realização de entrevistas não estruturadas com alguns funcionários da empresa, entre eles o gerente industrial, o técnico em segurança e os responsáveis por cada setor da área produtiva já em comento. Isso para facilitar o entendimento do processo e colaborar com o diagnóstico ambiental. Além disso, foram realizados registros fotográficos de todos os locais e setores da empresa.

O diagnóstico ambiental desenvolvido por meio do *check list* teve como intuito identificar as não conformidades com relação às legislações consideradas e as condicionantes adquiridas na LAO, recomendando, assim, adequações às

principais não conformidades e, também, oportunidades de melhoria.

Além da questão das legislações aplicáveis consideradas em um diagnóstico ambiental, não se deve deixar de contemplar o estudo prévio do processo produtivo e a determinação da estrutura gerencial. Por isso, foram descritos os setores da organização agregados ao processo produtivo da empresa, elaboração de fluxograma para facilitar o entendimento deste e construção de organograma.

#### 4.2 TRATAMENTO DE EFLUENTE

A coleta de efluente foi realizada em dois momentos. O primeiro se deu sem qualquer tipo de procedimento anterior, simplesmente agitou-se o efluente constante no tanque, para haver homogeneização entre partículas sólidas e líquido, e recolheu-se a amostra. A segunda coleta ocorreu recolhendo amostras de efluente, em diferentes momentos a fim de obter uma amostra mais homogênea, logo antes de ser despejado no tanque de tratamento.

Os ensaios iniciais foram realizados com a primeira amostra de efluente coletada. Mediu-se a densidade do efluente com auxílio de picnômetro e, após isso, distribuiu-se o efluente nos diferentes jarros para realização dos ensaios em *jar-test*. Este *jar-test* utilizado no desenvolvimento deste projeto é o *PoliControl Floc Control II*.

Como um dos produtos químicos mais empregados para tratamento de água e efluente é o sulfato de alumínio, utilizou-se este para o estudo. O sulfato de alumínio foi diluído em diferentes concentrações (2%, 5%, 10% e 30%) e adicionado, com distintas dosagens (1,0 mL, 2,5 mL, 4,0 mL, além de 0,2 mL e 0,5 mL para o sulfato a 30%), nos jarros com 1 L de efluente.

Além do sulfato de alumínio, foram realizados ensaios com polímeros aniônicos e catiônicos a concentração de 0,1%, adicionando dosagens de 5 mL, 10 mL e 15 mL para 1 L de efluente.

Vale citar que os três referidos produtos utilizados encontravam-se em forma sólida e, portanto, foram diluídos às concentrações predeterminadas.

No segundo momento, com a amostra de efluente retirada antes da entrada no tanque da ETE em diferentes instantes, realizou-se novos ensaios utilizando coagulantes-floculantes comercializados no mercado local.

Em virtude dos resultados obtidos anteriormente e de contatos realizados com empresas fornecedoras de coagulantes e floculantes, a metodologia foi parcialmente modificada.

Os ensaios foram realizados com efluente *in natura*, efluente com policloreto de alumínio - PAC a 18%, sulfato de alumínio a 48%, composto a base de sulfato de alumínio com polímero não iônico a 10% e polímero natural concentrado; estes todos com dosagens de 0,5 mL, 1,0 mL e 1,5 mL.

O processo de tratamento iniciou-se com a adição de diferentes produtos químicos no efluente, contido em jarro de 1 L, com o auxílio de pipeta graduada e pipetador em dosagens aplicadas de 0,5 mL, 1,0 mL e 1,5 mL. Ao mesmo tempo, iniciava-se a agitação por meio do *jar-test* com rotação de 100 rpm durante um período de 2 min para ocorrer a homogeneização. Após o término da agitação, o efluente em tratamento foi alimentado na proveta, até a marcação predefinida de 1 L. Ao completar este volume com fluído, acionou-se o cronômetro para marcar o tempo de deslocamento da interface. O volume foi anotado pela operadora em intervalos de tempo curtos de 1 min em função da variação rápida da interface, paralisando a observação periódica em 30 min de sedimentação.

Realizado isso, após 1 h aproximadamente, ou seja, 1 h e 30 min depois da etapa de agitação, removeu-se a água sobre o lodo e mediu-se a densidade e tempo de escoamento do lodo decantado com o auxílio de picnômetro de vidro e viscosímetro *Cup Ford* respectivamente, bem como o pH e a turbidez da água clarificada com o auxílio de pHmetro de fita colorimétrica e turbidímetro AP-2000 *PoliControl*. A quantificação do volume do lodo sedimentado também foi identificado neste momento.

Além disso, ensaios de comportamento reológico também foram realizados, estes em laboratório terceirizados, visando identificar a curva de escoamento do efluente em estudo. O ensaio em questão considera a tensão de cisalhamento, o gradiente de velocidade e a viscosidade.

Por fim, usaram-se os dados obtidos nos ensaios e construíram-se gráficos para traçar as curvas de sedimentação, por meio dos dados de volume da interface medida na proveta (queda) e de tempo de deslocamento. Sendo, assim,

possível identificar qual dos produtos utilizados teve maior eficiência com relação à sedimentação e à clarificação.

#### 4.3 ATOMIZAÇÃO DO LODO CERÂMICO

O lodo cerâmico sedimentado no interior do tanque da ETE foi agitado por meio das pás presentes no mesmo, assim coletou-se uma amostra de, aproximadamente, 3000 L para realizar o teste de atomização. Esta remoção do interior do tanque se deu por meio da bomba de sucção, utilizada na ETE para direcionamento do lodo decantado ao filtro prensa, a qual bombeou o lodo até *containers* de 1000 L, passando por peneira para reter resíduos grosseiros, e levadas a uma vasca com o auxílio de empilhadeira.

Esta amostra foi encaminhada até uma vasca de 4500 L no setor de moagem e atomização da empresa. Antes de ser disposta nesta, passou pelo peneirador com granulometria de 100 *mesh*, a fim de reter partículas maiores que poderiam prejudicar o processo de atomização.

A densidade e o tempo de escoamento deste lodo decantado e usado no sistema aqui explicitado foram analisadas no laboratório da empresa por meio de picnômetro de metal e viscosímetro tipo *Cup Ford*, ambos de 100 mL.

Após a atomização, também denominada *spray dryer*, foi feito um ensaio para verificar o percentual de resíduo constante no material atomizado, o qual não pode ser superior a 1,5%.

Este ensaio também foi realizado no laboratório da empresa e consiste em lavar, em uma peneira de 325 *mesh*, 100 g do material a ser analisado. O material que permanecer retido nesta peneira é considerado o resíduo, sendo que para determiná-lo em percentual, este deve ser seco em estufa e depois quantificado.

#### 4.4 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS UTILIZANDO LODO ATOMIZADO

Os ensaios citados a seguir foram realizados, também, no laboratório de controle de qualidade da empresa. Foram determinados os produtos engobe e frita cerâmica para usar em sua formulação.

Inicialmente, selecionou-se um engobe que fosse produzido frequentemente pela empresa, a fim de testar a introdução do lodo cerâmico atomizado. Os testes foram realizados com a introdução de percentuais de 0,5%, 1% e 5% em uma formulação de 100 g.

Realizada a dosagem adequada de matérias primas, esta mistura recebeu ainda a adição de 40% de água e foi inserida em moinho piriquito de escala laboratorial durante 13 minutos.

Com o material moído, realizou-se análises de densidade e o tempo de escoamento utilizando picnômetro de metal de 100 mL e viscosímetro de orifício (*Cup Ford*) também de 100 mL. Vale destacar que densidade do teste tem que ser similar a do padrão da empresa.

Ambos os materiais formulados foram aplicados na base cerâmica com o auxílio de *binel* com abertura de 0,3 mm, paralelos ao padrão, também aplicado. O piso com cobertura de engobe foi levado ao forno, à temperatura de 1170°C, durante um período de 38 min.

O piso passado pela etapa de queima recebe ainda a aplicação de esmalte, para analisar como ficará o piso acabado na indústria de revestimento cerâmico com a aplicação de mais produtos, e azul de metileno para verificar a característica fundente ou refratária do engobe por exemplo.

Além do engobe, selecionou-se uma formulação de frita cerâmica, também comercializada comumente, para realização de testes usando lodo em estado sólido, ou seja, já atomizado.

Com a formulação da frita definida para teste de acréscimo do insumo reciclado, reformulou-se a quantidade de cada matéria-prima utilizada para introduzir percentuais de 2% e 4% de lodo atomizado.

Assim, foram produzidas três amostras de 3000 g, sendo uma representada pela formulação padrão e as outras duas representando as formulações com acréscimo do insumo aqui estudado.

Realizado isso, as amostras foram despejadas em um misturador de escala laboratorial a fim de provocar a homogeneização entre as matérias-primas.

De cada uma destas se fez uma divisão, visando se ter duas amostragens para cada frita. Isso em função de que a primeira metade deve ser utilizada somente para descontaminação do forno, não permitindo que a frita cerâmica a ser produzida

tenha influência da frita produzida anteriormente no forno. Isso gerou seis amostras a serem fundidas.

Os ensaios piloto foram realizados em um mini forno teste da empresa, o qual é utilizado justamente para o desenvolvimento de novas fritas, à uma temperatura aproximada de 1200°C durante 15 min.

A primeira amostra de cada formulação foi descartada e a segunda amostra de cada uma, a amostra representativa, foi seca para posteriores etapas.

Para testar se é possível a utilização das fritas com 2% e 4% de lodo atomizado, formulou-se 100 g de esmalte, sendo um para cada percentual testado, com 90% da frita representativa, 10% de caulim e demais aditivos, juntamente com 40 mL de água. Esta mistura foi levada ao moinho piriquito durante 20 min. O mesmo procedimento foi realizado com a frita padrão.

Ambos os esmaltes teste formulados foram aplicados na base cerâmica engobada com o auxílio de *binel* com abertura de 0,4 mm, paralelos ao padrão, também aplicado. Sendo que antes da aplicação do esmalte, pincelou-se um corante verde, para que se tornasse possível visualizar melhor a qualidade do esmalte após a queima, verificando a transparência ou opacidade. A peça foi levada ao forno, à temperatura de 1200°C, durante um período de 38 min.

Por fim, após a queima, é possível visualizar se a qualidade do produto final permaneceu, mesmo usando o lodo da ETE atomizado.

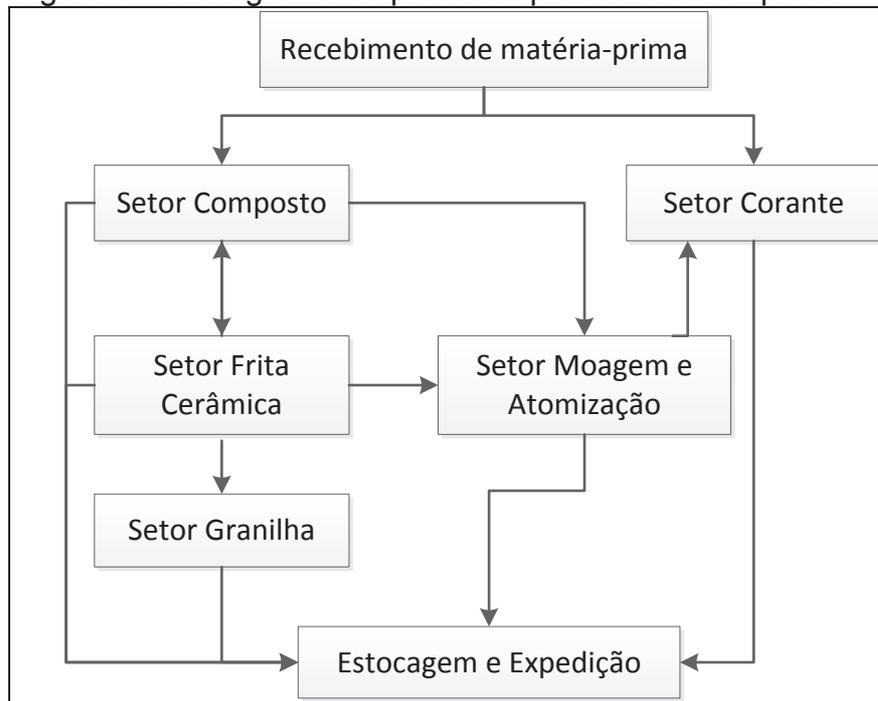
## 5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

### 5.1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

O diagnóstico ambiental elaborado neste trabalho contempla os requisitos mínimos que devem constar em um estudo deste tipo – análise do processo produtivo, identificação da estrutura organizacional e consideração das principais legislações aplicáveis, bem como algumas questões complementares. Um exemplo disto é a adição ao *check list* das condicionantes da LAO da empresa. O *check list* de diagnóstico ambiental com as respectivas recomendações encontra-se no Apêndice A.

Os setores da organização da área produtiva encontram-se explicitados a seguir no item 6.1.1. Além disso, foi elaborado um fluxograma a fim de facilitar o entendimento do processo produtivo da indústria em questão (Figura 6).

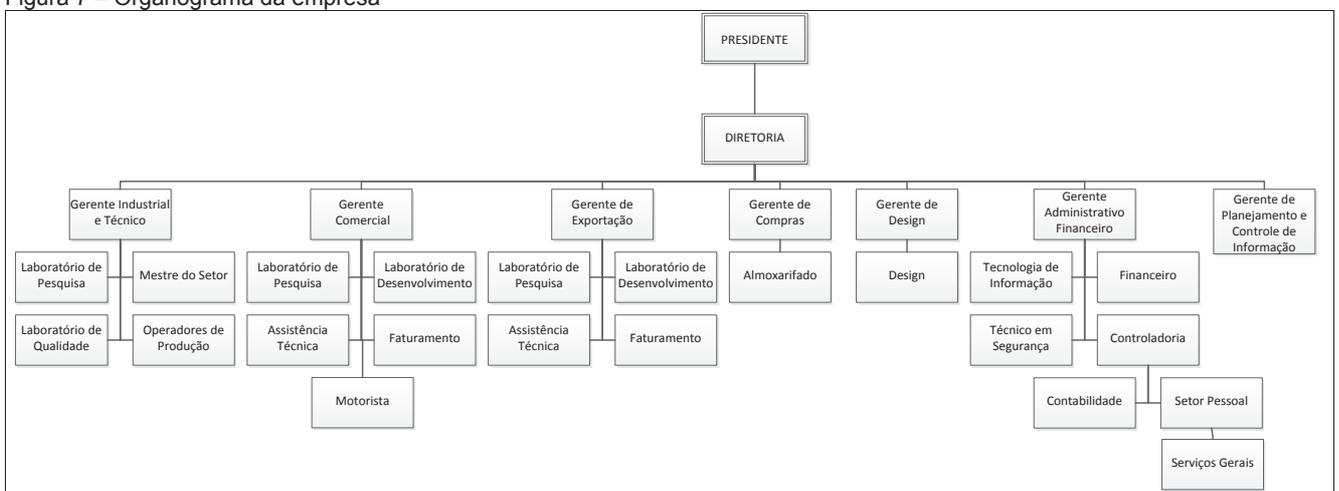
Figura 6 – Fluxograma do processo produtivo da empresa



Fonte: Da autora, 2013

A identificação da estrutura organizacional do colorífico foi realizada com o intuito principal de facilitar a definição de responsabilidades no momento da implementação do sistema de gestão ambiental, e pode ser visualizada por meio do organograma elaborado presente na Figura 7.

Figura 7 – Organograma da empresa



Fonte: Da autora, 2013

### 5.1.1 Setores da organização: processo produtivo

#### 5.1.1.1 Recebimento de matérias-primas e Expedição

As matérias-primas para o processo chegam por meio de caminhões terceirizados e, antes do seu armazenamento, são verificadas as quantidades e coletadas as amostras para análise de controle de qualidade, após isso são liberadas ou não para utilização no processo produtivo da empresa.

No setor de recebimento de matérias-primas há danificação de embalagens, acarretando na emissão de material particulado, perda de material, que acaba se acumulando no chão e, conseqüentemente, gerando resíduos sólidos de varrição. Isso ocorre em função da operação mal procedimentada e porque a maioria dos produtos serem representados por materiais de partículas sólidas.

O setor de expedição encontra-se disposto nesta mesma divisão, e é responsável por acondicionar organizadamente o estoque e o material a ser expedido.

Todo o processo de descarregamento e empilhamento no galpão é realizado por meio de empilhadeiras movidas a GLP. A empresa possui sete empilhadeiras, as quais desenvolvem atividades em todos os setores da empresa.

#### 5.1.1.2 Dosagem de matérias-primas (composto)

O setor de compostagem consiste na formação de produtos a partir da mistura de matérias-primas e/ou produto, neste último caso quando há o uso de fritas cerâmicas na mistura predefinida. Os produtos provenientes da dosadora de compostos são vendidos para clientes, conforme formulação determinada por estes, ou utilizados nos outros setores da empresa, como de fritas cerâmicas e de moagem e atomização. Este setor é composto por duas dosadoras, sendo uma manual e outra automática.

A manual é mais utilizada para produção de cargas menores, em virtude do tempo que leva para carregar os *big-bags*, que é mais longo. É representada por armações de ferro com silo de envase, que auxiliam no apoio dos *bags* com matéria-prima, alavanca manual e esteira com balança. Neste caso, há capacidade para nove *big-bags*.

A dosadora automática consiste em um conjunto de equipamentos, entre estes os silos de armazenamento da matéria-prima a ser utilizada, as correias transportadoras e, por fim, o silo de envase do produto. Há dezesseis silos de armazenamento.

Vale citar que a movimentação dos *big-bags*, transporte de matéria-prima por correias e envase geram emissão de material particulado, contribuindo para a alteração da qualidade interna do ar e posterior acúmulo no chão da fábrica. A limpeza do chão e equipamentos gera resíduos que são vendidos a valor simbólico a empresa terceira.

Há dois filtros manga neste setor, sendo um ligado a cada dosadora. Mesmo assim, em especial na dosadora manual, há uma alta geração de material particulado, em virtude de procedimentos sistemáticos manuais do operador e equipamento defasado. O material particulado coletado pelos filtros mangas é disposto em *big-bag* e reaproveitado no próprio setor.

Nesse setor ocorre também a formulação de aditivo, o qual é encaminhado junto com o *big-bag* de composto. O aditivo é constituído por uma mistura de produtos químicos.

Ressalta-se que é neste setor que são produzidos os compostos de engobe e esmalte, essenciais para o processo de revestimento cerâmico. Para a produção do composto de engobe e esmalte são realizados testes, em moinho e posterior atomizador, ambos menores, antes da dosagem feita neste setor para posterior comercialização.

#### 5.1.1.3 Fritas cerâmicas

O processo neste setor inicia-se com o transporte, através de empilhadeiras, de *big-bags* provenientes do setor de compostagem. O material presente no *big-bag* é despejado no misturador (de pás) a fim de homogeneizar as matérias-primas. Após esta etapa o material vai para o alimentador, o qual compreende um conjunto de equipamentos, tais como espirais transportadores, elevador de caneca (correia transportador) e silo vibratório. O alimentador é responsável por direcionar o material até o forno de fusão.

O forno trabalha com gás natural, ar comprimido e oxigênio líquido, a uma temperatura de 1400°C e 1500°C, dependendo da matéria-prima utilizada. À medida

que o composto entra no forno, este se torna líquido e escoar pela parte inferior até o tanque contendo água à temperatura ambiente. Este choque térmico entre líquido incandescente e água forma as fritas cerâmicas.

Além deste tanque que recebe as fritas em forma líquida, há mais dois tanques responsáveis por captar a água do tanque de resfriamento e permitir que ocorra o processo de decantação dos sólidos finos presentes nesta água, os quais são considerados resíduos e vendidos a empresa terceira.

Há uma placa isolante pra amenizar o transporte de calor dos fornos de fusão, uma vez que a sensação térmica no local é bastante alta.

Com relação às emissões atmosféricas, há um filtro manga no interior da fábrica para capturar particulados por meio de tubulações ligadas a cada misturador, e mais três filtros mangas na parte externa da fábrica, anexo a parede do galpão, sendo um para cada forno. Na parte superior de cada forno há uma chaminé responsável por direcionar emissões atmosféricas até as tubulações que encaminham até o respectivo filtro manga externo.

#### 5.1.1.4 Granilhas

As fritas são transportadas em *big-bags* pelas empilhadeiras, os quais são fixados no equipamento que consiste em silo de recebimento de fritas, correia transportadora, secador e silo de envase para *big-bag*. O secador é aquecido com gás natural, a uma temperatura em torno de 160°C.

Os *big-bags* com as fritas secas são novamente transportados por empilhadeiras até o silo do próximo equipamento, denominado granilheira. Há duas neste setor. Através do silo as fritas já secas são despejadas no moinho (de esferas), para diminuir a granulometria das fritas, e ao sair deste a correia transporta para uma peneira vibratória de duas malhas.

São nas peneiras que ocorre a geração de resíduos sólidos, uma vez que o material bom (produto final) é o que permanece entre ambas as malhas. O resíduo mais grosseiro, que se retém na parte superior da peneira, retorna automaticamente ao moinho, visando diminuir a granulometria para reaproveitamento. Já o material que passa pelas duas peneiras, considerado como fino, é reaproveitado como insumo nos compostos para produtos internos, geralmente usado para a produção de fritas novamente.

Os resíduos de varrição de chão e equipamentos, bem como de entupimento de silo e descarte são depositados em *big-bags* e dispostos junto com os resíduos capturados pelos filtros manga.

A cada granilheira, há filtro manga para captação de emissões particuladas. Estes sólidos são acondicionados em *big-bags* e reaproveitados no setor de composto.

#### 5.1.1.5 Moagem e Atomização

Este setor é representado pela produção de bases serigráficas, granilhas paletizadas e realização de testes, como de engobe e esmalte.

A base serigráfica é representada pela composição entre água, fritas e composto de matérias-primas, este formulado no setor de compostagem. São produzidos três tipos de base, a saber: transparente, mate e branca.

A primeira etapa neste setor consiste na introdução de *big-bags* provenientes da compostagem e de fritas no moinho, juntamente com água. Há sete moinhos que trabalham com esferas de alumina de três granulometrias em seu interior, a fim de diminuir a quantidade de poros entre as mesmas, contribuindo assim para o processo de formulação da base.

Uma amostra da mistura constante no interior do moinho é removida e levada até o laboratório de qualidade para verificar se a formulação encontra-se adequada. Liberado pelo setor de controle de qualidade, a mistura formada vai para a peneira vibratória e depois para a vasca. E neste momento é realizada a lavagem com água do moinho que foi liberado, sendo que o efluente gerado é direcionado para a ETE por meio de calhas de drenagem.

No equipamento constituído por peneiras vibratórias que selecionam o material a ser depositado na vasca, há também um imã. Este responsável por reter resíduos de ferro que possam conter na mistura e que devem ser removidos, uma vez que prejudicam a base a ser produzida.

As vascas permitem que o material formulado fique em movimento constante, contribuindo para o não “endurecimento” da massa produzida e decantação da mesma, até que seja liberado a próxima etapa do processo.

Da vasca, a massa formulada vai por meio de canalizações para um recipiente que contém peneira para retenção dos resíduos. O material é então

direcionado novamente até a bomba a ar comprimido que encaminha a base líquida até o atomizador. A entrada até este se dá por meio de bicos, que se representam como um chafariz, encaminhando o líquido até a porção superior do atomizador.

O atomizador é um equipamento que possui temperatura interna elevada para permitir que, quando aspergido, o material entre em contato com o calor proporcionado pelo maçarico (queimador) se torne sólido e decante. O referido equipamento trabalha com o consumo de gás natural.

A base decantada é carregada por meio de espiral que está localizada na parte inferior do atomizador e do filtro manga, o qual se encontra ao lado do atomizador (anexo). Esta base cai da espiral para uma canalização que succiona com o auxílio de ar comprimido até o micronizador. Este é constituído por peneira e moinho, o qual força a passagem da base produzida por meio da peneira.

Passado por estas etapas, a base é depositada nos silos de armazenamento do produto final, sendo envasada em sacas de rafia para expedição ou em *big-bags* para uso em outros setores.

Além do atomizador aqui em comento, há um atomizador menor neste setor que geralmente é utilizado para testes ou, às vezes, com baixa frequência, para cargas menores. Estes testes são realizados pois, dependendo da formulação da base, não é possível realizar análise de amostra pelo laboratório de controle de qualidade na etapa de moagem, e sim somente quando a base já estiver em estado sólido. Ao lado deste atomizador também há um filtro manga.

Neste mesmo setor, além das bases serigráficas, são produzidas as granilhas paletizadas, que são bases em formato esférico, sendo seu processo de fabricação similar ao de base serigráfica; o que diferencia é que após o processo de atomização, esta granilha passa por peneira vibratória de duas malhas. Há exaustor neste ponto para auxiliar no processo de coleta de material particulado que não foi coletado pelo filtro manga. Vale destacar que o material que permanece entre ambas as malhas é o produto final, que é embalado em *big-bags*. Já o material que passou pelas duas é descartado, uma vez que é muito fino.

Por fim, com a lavagem dos equipamentos, gera-se um efluente líquido, com boa parcela de resíduo sólido, que é depositado nas canaletas de drenagem. Esta quantidade de material sólido, juntamente com as características das matérias-primas utilizadas, é responsável pela sedimentação do material, ficando retido na drenagem, não se direcionando à ETE. Quando necessário, é realizada remoção do

lodo com o auxílio de pás, sendo depositados em *big-bags* e vendidos a valor simbólico.

#### 5.1.1.6 Corantes

Neste setor ocorre a produção de fumê e corantes.

O fumê é fabricado com a mistura de base serigráfica, quartzo, corantes já acabados (prontos) e sal, os quais passam por misturador (de pás) a fim de homogeneizá-los; permanecendo em torno de 30 a 40 min. É retirada uma amostra do misturador e é enviado ao laboratório de controle de qualidade e então liberado ou não para expedição ou estoque.

Com relação à produção de corantes, a compostagem também é feita manualmente, entretanto não pode exceder o peso de 250 kg, uma vez que o misturador do processo de corante só suporta esta quantidade. Este misturador foi fabricado com banho de *inox* em seu interior, para que não haja qualquer tipo de contaminação por ferro por exemplo, caso fosse constituído por este material. Vale destacar que o corante requer muito cuidado em sua fabricação para que não ocorra contaminação.

Há filtro manga ligado ao misturador para fumê, a fim de coletar o material particulado emitido no momento da mistura. O outro filtro manga do setor é responsável pela retenção de partículas sólidas provenientes dos equipamentos moinho martelo e misturador para corante. Os resíduos sólidos retidos nestes filtros são dispostos na caçamba de entulho do pátio, o qual é destinado ao aterro sanitário Santec Resíduos.

A próxima etapa ocorre no moinho martelo, com o intuito de diminuir a granulometria das partículas. Feito isso, despeja-se o material moído no silo carregador e respectivamente às caixinhas refratárias, com o auxílio de espiral carregador movido a pedal manual anexado no silo.

As caixinhas em comento encontram-se dispostas em fileiras no carro do forno, o qual possui capacidade em torno de 500 kg. Assim, o carro é inserido no forno de calcinação. Este é aquecido por meio de doze maçaricos (queimadores); estes trabalhando com consumo de gás natural, sendo que há motor elétrico para succioná-lo este. Em média, as caixinhas permanecem no forno de doze a quatorze horas. Assim que a temperatura chega no limite estabelecido (patamar), geralmente

entre 1200°C e 1300°C (dependendo do tipo de corante), o forno permanece em temperatura constante até dar o tempo desejado.

A descarga dos fornos se dá por meio da retirada do carro e resfriamento do mesmo, e posterior virada da caixinha, processo este que permite que o material queimado caia e seja despejado no silo descarregador.

Posteriormente, o material é encaminhado até o moinho. Há dois neste setor. Possui medida de controle nestes equipamentos para o impacto ocasionado pelo ruído, que é a vedação por meio de espuma revestida por chapas em ambos os lados dos moinhos.

No moinho, além do material e das esferas de alumina, é adicionado água, sendo que a quantidade também depende do tipo de corante. Esta etapa ocorre em torno de três a quatro horas. Próximo a este tempo é coletado uma amostra do fluido que passa por uma peneira. Se reter qualquer tipo de resíduo, significa que ainda não está pronto e precisa de mais tempo moendo.

Um equipamento elétrico, representado por vasca menor, com suporte para peneira e mangueira é posicionada abaixo da saída do moinho para que ocorra a retirada do material líquido e despejo em bandejas de *inox*.

Estas são encaminhadas para o secador com temperatura de até 200°C que permite a remoção de água ocasionada no processo de moagem. Este secador recebe calor, por meio de tubulações, da chaminé do forno de fritas cerâmicas, bem como de um maçarico (queimador). O material no secador permanece por três ou quatro dias, até não conter mais água, depois é removido e resfriado em repouso. As emissões atmosféricas deste processo são direcionadas através de exaustor até o ambiente.

O material retirado do secador sai em forma de torrão, por isso é necessário a passagem por misturador novamente. Assim, finaliza-se o corante. Vale citar que quando é fabricado corante base, este é utilizado para processo interno (pré mistura), e quando são produzidos outros corantes, estes são para clientes.

Nesse setor também ocorre a lavagem do chão, tendo os efluentes gerados direcionados à ETE.

A grande maioria dos materiais que se misturam no chão em virtude do manuseio não podem ser reaproveitados, tendo que ser descartados como resíduos

de varrição, uma vez que o corante é um produto sensível, não podendo ter contaminação.

Em outra divisão do setor de corante na fábrica, onde há as matérias-primas e insumos, a limpeza do chão é realizada com pó de cepilho umedecido em óleo diesel.

#### 5.1.1.7 Laboratório de controle de qualidade

No laboratório há frascos de produtos com fórmula padrão, sejam estes das matérias-primas compradas e utilizadas no processo produtivo, ou do produto acabado ou, até mesmo, do cliente. Todos possuem código interno.

Se alguma matéria-prima comprada encontrar-se fora do padrão determinado pela empresa, a mesma pode receber alguns dos fins, dependendo das características: retorna à indústria fornecedora; usa-se no processo de fabricação de fritas, uma vez que neste processo não há grande interferência do produto final pois há fusão, ou o próprio laboratório desenvolve uma nova formulação para que se chegue na matéria prima ideal para ser usada na produção da fábrica.

Após a formulação e fabricação dos produtos, estes são aplicados à base cerâmica e comparados ao padrão. Aplica-se o conjunto de produtos para analisar o piso final, que será o produto final fabricado por seus clientes.

Com relação à coleta realizada durante o processo para verificar a qualidade do produto, a amostra após análise é descartada diretamente nas canaletas ou nas pias do laboratório e, por conseguinte, na ETE.

#### 5.1.1.8 Laboratório de pesquisa e desenvolvimento

Neste setor é desenvolvida uma vasta variedade de produtos acabados, ou seja, o piso após queima, contendo esmaltação e decoração. Isso tanto para o mercado interno quanto para exportação.

Há uma parceria com os *designers* da empresa, a fim de trabalharem constantemente juntos, formulando novos produtos, cada vez mais inovadores.

Neste setor há a máquina de impressão digital, com escala laboratorial. Cita-se o uso de papel toalha para limpeza deste equipamento, gerando um resíduo sólido classe I (perigoso) em função da contaminação por tinta.

#### 5.1.1.9 Laboratório de pesquisa: processo industrial

O laboratório em questão é responsável pelo desenvolvimento de formulações dos produtos fabricados na empresa, ou seja, de engobe, esmalte, bases serigráficas, granilhas paletizadas, corantes, fritas e granilhas.

Neste setor é onde se estuda a substituição de matérias-primas utilizadas, a fim de reduzir os custos com compra destas e de venda do produto acabado, assim como substituir as matérias-primas que podem estar apresentando algum tipo de problema.

As formulações são adequadas a cada tipo de indústria cerâmica (cliente), se adaptando à temperatura trabalhada no forno desta e testando matérias-primas.

#### 5.1.1.10 Mini cerâmica

Este setor foi construído com o intuito de simular uma cerâmica a fim de facilitar o processo de inovação de produtos e de controle de qualidade, por meio da realização de ensaios de esmaltação diretamente na base cerâmica, visando a comprovação imediata da eficiência de tal produto fabricado.

Neste setor há prensa, que é usada para o desenvolvimento da base (massa composta por mistura de matérias-primas).

Há também um forno e uma estufa, ambos interligados, permitindo que o calor daquele seja transmitido até a estufa. Passam pelo forno os pisos desenvolvidos tanto pelo laboratório de pesquisa e desenvolvimento, quanto pelos testes realizados no laboratório de controle de qualidade entre produto padrão e produto fabricado.

#### 5.1.1.11 Almoxarifado

No almoxarifado é realizado compra de material para consumo tanto no setor produtivo quanto administrativo. Além da compra, há sistema para controle do estoque e de saída de material deste setor.

#### 5.1.1.12 Manutenção

O setor de manutenção é responsável pela manutenção de todos os equipamentos da fábrica. A manutenção ocorre de forma corretiva, não sendo preventiva e nem preditiva. Há manutenção preventiva em poucas situações, como no gerador e no compressor por exemplo. Com relação aos óleos, são utilizados para lubrificação dos equipamentos.

#### 5.1.1.13 Estação de Tratamento de Efluentes - ETE

Os efluentes gerados na área produtiva da fábrica são direcionados por meio de canalizações até a ETE, com exceção do efluente gerado no setor de fabricação de fritas cerâmicas. Visto que este efluente é diretamente enviado para o resfriamento e logo retorna ao processo, sem passar por qualquer tipo de tratamento químico.

A ETE da empresa tem como tipo de tratamento o físico-químico. É constituída por dois tanques de equalização. O primeiro é usado somente para o setor de corantes, visto que neste processo há utilização de alguns produtos perigosos. Já o segundo, com área maior, específico para efluentes gerados nos laboratórios e no setor de moagem e atomização.

O tratamento se inicia com a introdução de um produto químico a base de sulfato e policloreto de alumínio e cal hidratada. Adicionados ambos os materiais, aciona-se o agitador, para homogeneização do efluente com os produtos químicos.

Realizado tal procedimento, desliga-se o agitador e espera-se que os sólidos em suspensão sedimentaram. Isso ocorre em virtude dos processos de coagulação/floculação ocasionados pela adição dos produtos em comento.

A lâmina de água presente sobre o lodo sedimentado é bombeado até o tanque de estabilização. Neste, é adicionado cloro (hipoclorito de sódio). E o lodo também é bombeado, passando por um filtro prensa, sendo despejado em *big-bags* e encaminhado à empresa que compra a valor simbólico. Entretanto, não há remoção total do lodo decantado.

Cita-se que o produto químico utilizado no tratamento não apresenta eficiência, uma vez que ocorre a sedimentação das partículas sólidas sedimentáveis do produto.

## 5.2 TRATAMENTO DE EFLUENTE

O tratamento de efluente da empresa tem que ser melhorado para contribuir para o projeto de reciclagem interna da organização, como também ao tratamento em si.

Primeiramente vale destacar que o produto químico utilizado para tratar o efluente industrial, um composto a base de sulfato e policloreto de alumínio, não apresenta eficácia, uma vez que tem seu alumínio decantado no próprio recipiente. A empresa não percebeu este problema e continua dando continuidade ao uso deste coagulante. Uma amostra deste produto foi coletada para teste e após alguns dias em repouso, pôde-se perceber a decantação de sólidos (Figura 8).

Figura 8 – Coagulante atualmente utilizado pela empresa, apresentando problemas de sedimentação



Fonte: Da autora, 2013

Além disso, deve-se citar outra ineficiência identificada no tratamento. O produto adicionado não trabalha adequadamente no tratamento, uma vez que a densidade do efluente com lodo acumulado apresenta-se alta para ocorrer a reação como coagulante/floculante. Esta situação da densidade não ocorre somente com o produto já utilizado pela empresa, mas também com outros produtos químicos que foram testados para tratamento neste trabalho, melhor explicados no item 6.2.1.

Em virtude disso, o tanque deve ser totalmente esvaziado e limpo, para demonstrar a situação real que se terá futuramente, quando a empresa tiver

estrutura completa disponível para o projeto de reciclagem aqui desenvolvido.

Esta iniciativa se tornará processo industrial. À medida que o efluente quase completar o tanque de tratamento, será adicionado o coagulante e/ou floculante para tratamento físico-químico. Com o efluente tratado, a água clarificada na porção superior será direcionada ao tanque de estabilização para posterior reuso interno e o lodo sedimentado será bombeado até vasca de agitação, removendo-o totalmente do tanque. A empresa está comprando uma vasca com capacidade de 15 m<sup>3</sup> para auxiliar no projeto de reciclagem. O lodo será adicionado até esta vasca completar sua capacidade máxima, para então realizar o processo de atomização. A capacidade da vasca permitirá receber lodo do processo por uma semana, podendo este tempo variar de acordo com as peculiaridades do processo produtivo.

Retornando ao tratamento em si e visando estudar e contribuir para o processo futuro de reciclagem interna, foram coletadas novas amostras em diferentes momentos, no entanto, não mais do interior do tanque, mas sim da canalização presente antes da entrada do mesmo. Estes ensaios estão apresentados no item 6.2.2.

Na Figura 9 é possível visualizar as duas amostras de efluente coletadas, uma apresentando-se mais densa e a outra menos densa, perceptível visualmente como, por exemplo, pela tonalidade do fluído.

Figura 9 – Amostras de efluente *in natura* coletadas em duas situações distintas



Fonte: Da autora, 2013

### 5.2.1 Primeira coleta de amostra

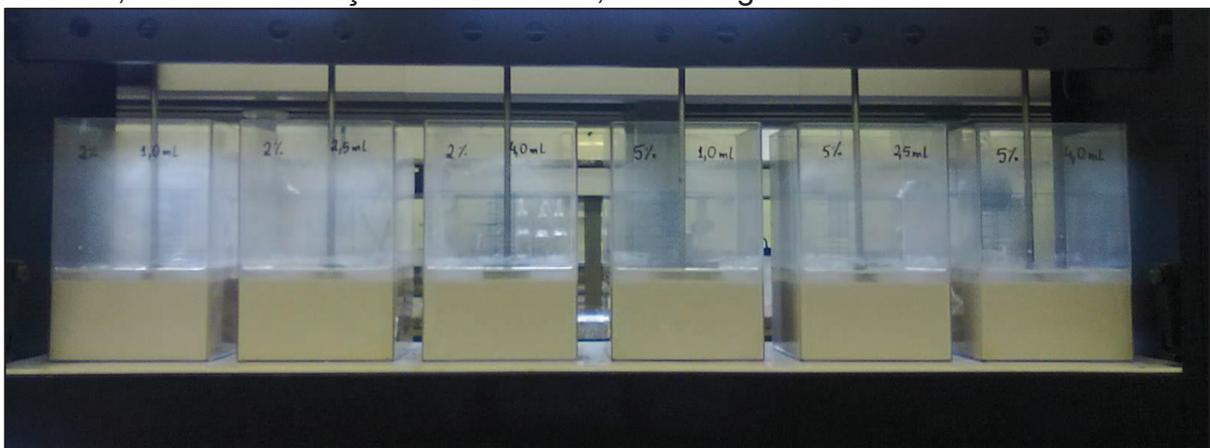
Inicialmente, foi medida a densidade do efluente, o qual apresentou  $\rho = 1,48 \text{ g/mL}$  e o pH que teve como resultados 8,87 em pHmetro digital e 9,0 em pHmetro de fita. A turbidez deste efluente não foi possível identificar, uma vez que o aparelho utilizado não permitiu a leitura, provavelmente em virtude de o material analisado apresentar turbidez superior ao limite do equipamento.

Feito isso, realizou-se ensaios em *jar-test* com diferentes produtos, concentrações e dosagens adicionadas, a fim de submeter o efluente à agitação para promover a homogeneização do mesmo com o produto. Por fim, paralisou-se a agitação no equipamento e foi verificada a sedimentação do lodo.

Contudo, os resultados de decantação não foram bons, situação esta que prevaleceu tanto com a adição de várias concentrações e dosagens de sulfato de alumínio quanto com a adição de polímeros. Tal verificação foi feita visualmente, por meio da espessura da lâmina d'água e, conseqüentemente, do lodo sedimentado. Tais afirmações podem ser confirmadas por meio das figuras e considerações abaixo.

A Figura 10 representa a sedimentação após 1 h do término da agitação do efluente com sulfato de alumínio a 2% e 5%, ou seja, não houve reação eficiente entre o efluente e o produto químico adicionado. As dosagens utilizadas e representadas na figura abaixo são 1,0 mL, 2,5 mL e 4,0 mL para ambas as concentrações.

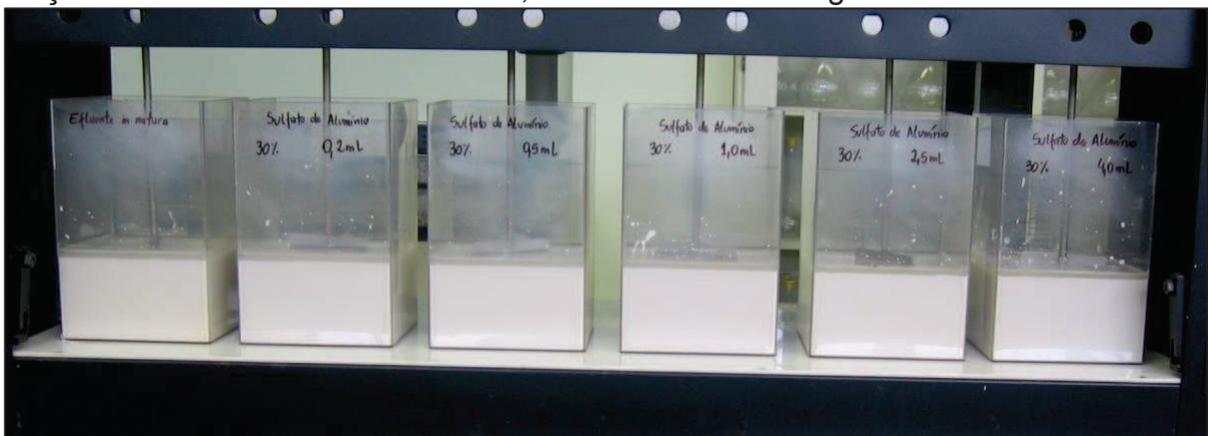
Figura 10 – Representação da ineficiência da adição de sulfato de alumínio no efluente, com concentrações de 2% e 5%, em dosagens distintas



Fonte: Da autora, 2013

A adição de sulfato de alumínio a 30% também não mostrou bons resultados. O primeiro jarro da Figura 11 a seguir é representado por efluente *in natura*. Com isso, pode-se perceber que, após 30 min do término da agitação, não houve diferença considerável de sedimentação entre os efluentes com adição de sulfato de alumínio a 30% quando comparado com o efluente *in natura*, independente das dosagens a que foram submetidos (0,2 mL, 0,5 mL, 1,0 mL, 2,5 mL e 4,0 mL).

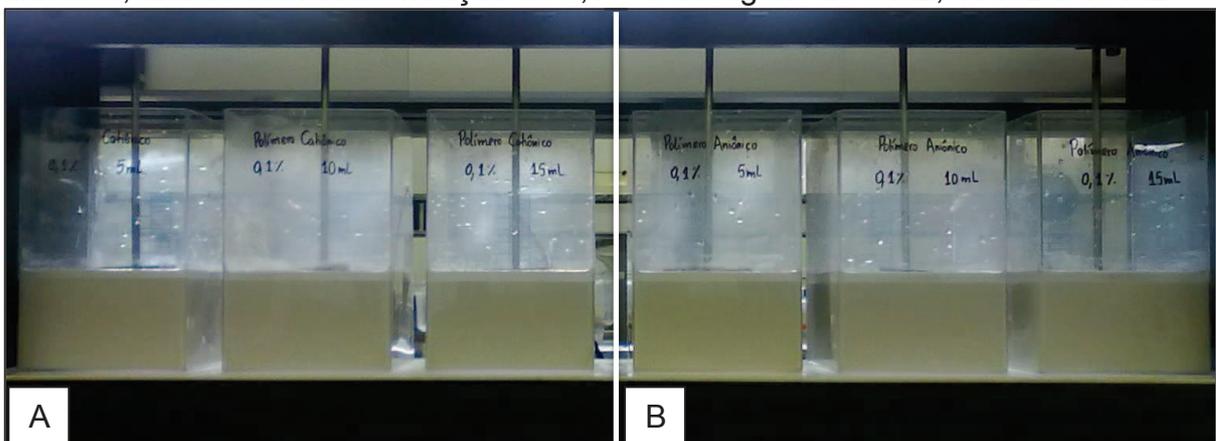
Figura 11 – Ilustração do tratamento e concomitante sedimentação do lodo após adição de sulfato de alumínio a 30%, com diferentes dosagens



Fonte: Da autora, 2013

O efluente tratado com polímeros pode ser observado na Figura 12. Utilizando polímeros catiônico e aniônico com concentração de 0,1% a dosagens de 5 mL, 10 mL e 15 mL, é perceptível visualizar que não houve sedimentação de lodo e nem diferença considerável entre os jarros para o tratamento e posterior reciclagem interna do lodo, isso analisando após 30 min da paralização do *jar-test*.

Figura 12 – Tratamento do efluente com adição de polímeros A: catiônico e B: aniônico, ambos com concentração de 0,1% e dosagens de 5 mL, 10 mL e 15 mL



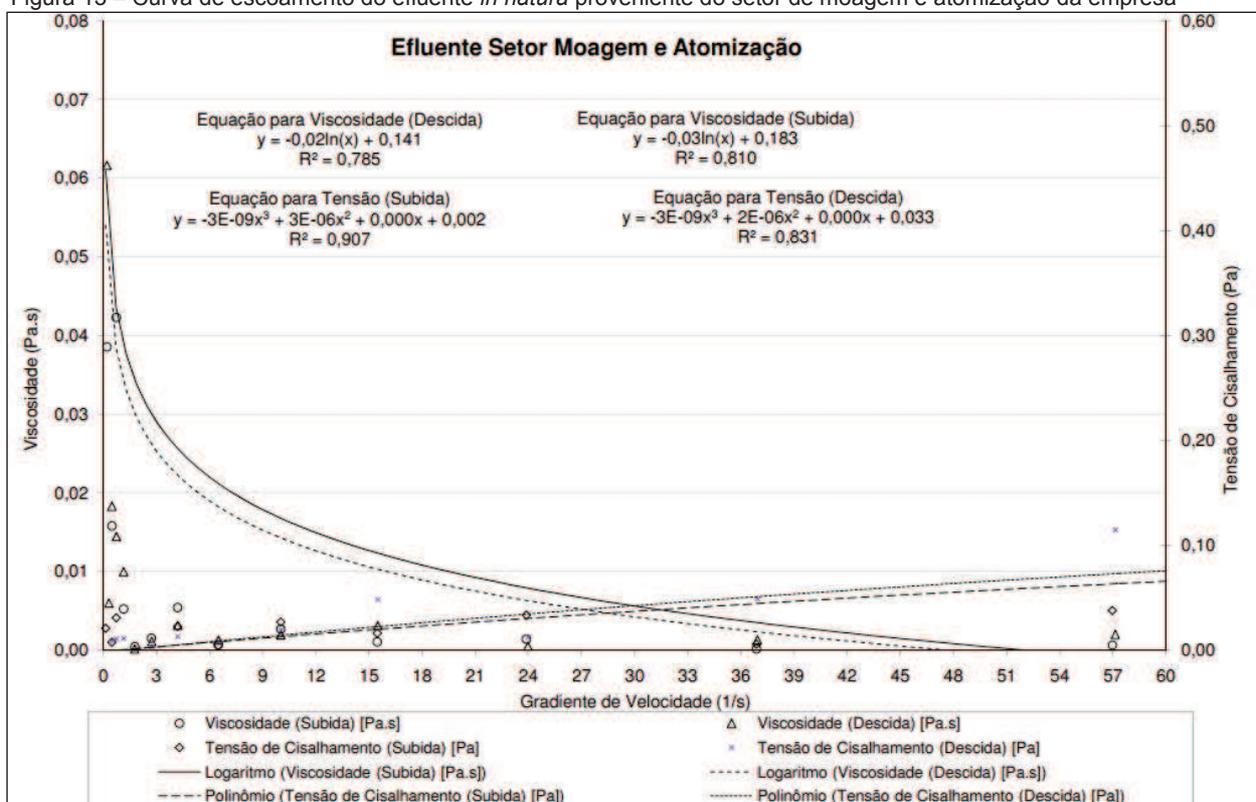
Fonte: Da autora, 2013

### 5.2.2 Segunda coleta de amostra

A amostra de efluente dos ensaios citados a seguir foi coletada em diferentes períodos e de processos distintos como em momentos de lavagem do chão do setor, de atomizador e de moinhos, mas todos do setor de moagem e atomização, no qual são produzidos corantes peletizados e bases serigráficas, assim como são feitos testes de engobe e esmalte. O efluente coletado foi disposto em baldes e levado até o laboratório da UNESC, onde foram realizados os experimentos referentes a tratamento, e ao SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de Santa Catarina, mais especificamente ao Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais (LDCM), onde se solicitou ensaio reológico.

A análise experimental em laboratório terceirizado foi realizada a fim de identificar a reologia do efluente *in natura* coletado, ao qual serão realizados diferentes tratamentos. Esta análise gerou o gráfico da Figura 13.

Figura 13 – Curva de escoamento do efluente *in natura* proveniente do setor de moagem e atomização da empresa



Fonte: LDCM/SENAI, 2013

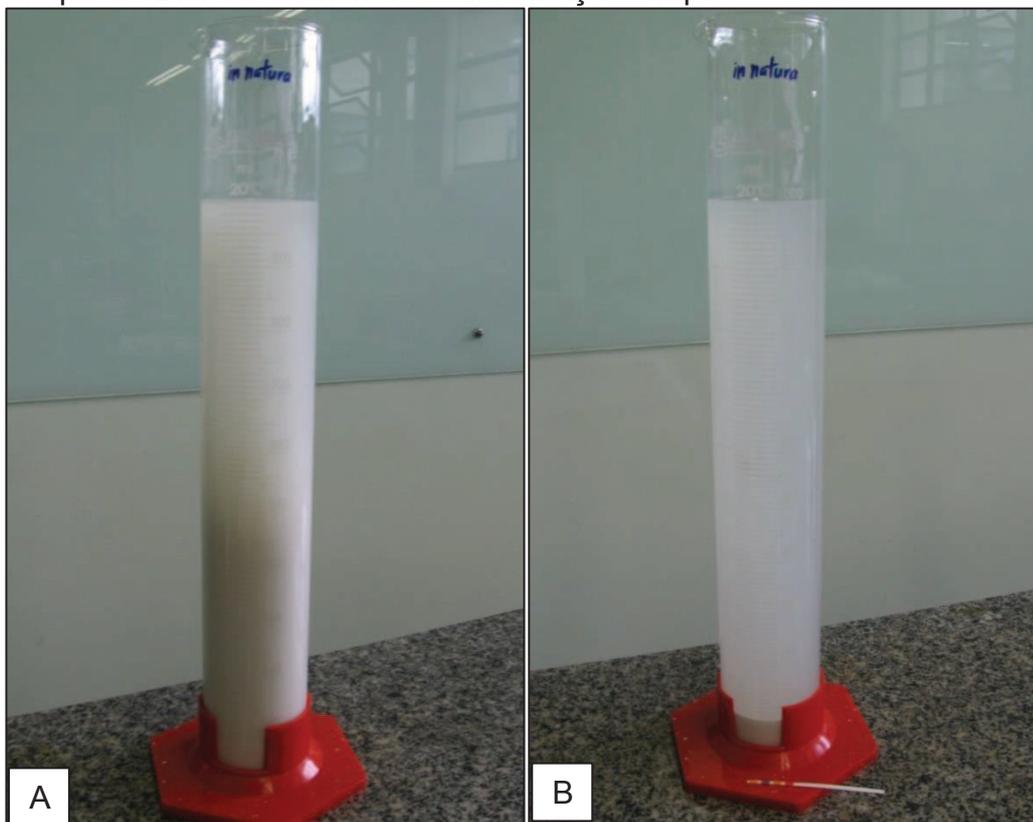
Analisando o gráfico acima elaborado pelo laboratório do SENAI, pode-se constatar que o fluido em questão (efluente *in natura*) tem características pseudoplásticas, ocorrendo uma diminuição da viscosidade em função do aumento do gradiente de velocidade; não sendo um fluido tixotrópico.

O fluido possui, conforme o gráfico, uma tensão limite de escoamento de 0,03 Pa, indicando que é necessário uma tensão inicial para que ocorra o escoamento, diferenciando-o de um fluido newtoniano, como a água por exemplo.

E, para dar início aos testes relacionados ao tratamento físico-químico, foram analisados pH, turbidez, densidade e tempo de escoamento do efluente *in natura*, os quais apresentaram resultados de 9,0, 1053 NTU, 1,26 g/mL e 10,60 s respectivamente.

No primeiro ensaio experimental em laboratório foi verificado o deslocamento das partículas sólidas (sedimentação do lodo) em função do tempo do efluente sem tratamento, ou seja, a sedimentação simples. Pode-se perceber que o efluente *in natura* com o tempo vai sedimentando as partículas mais pesadas. A Figura 13 representa esta afirmação.

Figura 13 – Efluente *in natura* após A: 30 minutos de sedimentação simples e B: 1 h e 30 min de sedimentação simples



Fonte: Da autora, 2013

É possível visualizar pela figura acima que há três fases na proveta, onde, aos 30 min o volume ficou próximo aos 500 mL, apresentando uma interface. Entretanto no intervalo de tempo de observação, de cerca de 1 h e 30 min após cessar a agitação, percebeu-se que não houve clarificação da água (Figura 13B) e a sedimentação do lodo foi bastante lenta, acarretando em um baixo volume de lodo e quantidade maior de sólidos totais no sobrenadante, quando comparados com os efluentes tratados com outros produtos, os quais serão explorados abaixo.

Os resultados obtidos por meio desta sedimentação simples, ou seja, sem adição de produtos, foram para a água pH 9,0 e turbidez aproximada de 286 NTU, e para o lodo densidade em torno de 1,43 g/mL e tempo de escoamento de 11,68 s. Apresentando um volume de lodo, em 1 h e 30 min após alimentação do efluente na proveta, de 70 mL aproximadamente.

A partir disso foram realizados testes experimentais com diferentes coagulantes/floculantes comercializados por fornecedores locais, com o propósito de analisar o comportamento destes no tratamento. Os parâmetros analisados nestes efluentes tratados foram os mesmos que no efluente *in natura*. A Figura 14 ilustra amostras dos produtos químicos utilizados neste estudo.

Figura 14 – Produtos químicos testados para o tratamento do efluente

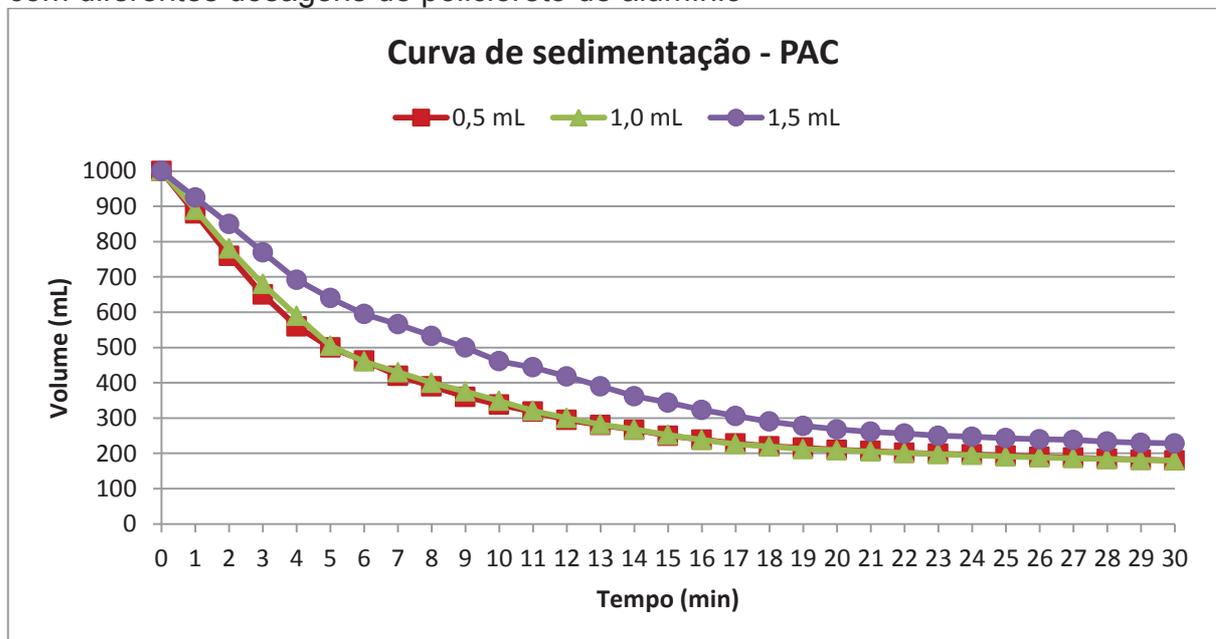


Fonte: Da autora, 2013

O primeiro teste de tratamento foi feito com um coagulante comercializado por uma empresa de produtos químicos da região, a qual é fornecedora do atual produto utilizado pela empresa na ETE. O coagulante é o policloreto de alumínio, bastante conhecido como PAC, este se encontra a uma concentração de 18%.

Após os 2 minutos de agitação em *jart-test*, o efluente em tratamento foi despejado em uma proveta graduada de 1 L, e imediatamente já sendo disparado o cronômetro para analisar o deslocamento da sedimentação em função do tempo, o qual pode ser visualizado por uma curva para cada dosagem predetermined, representadas pela Figura 15.

Figura 15 – Gráfico ilustrando curva de sedimentação do lodo do efluente tratado com diferentes dosagens de policloreto de alumínio



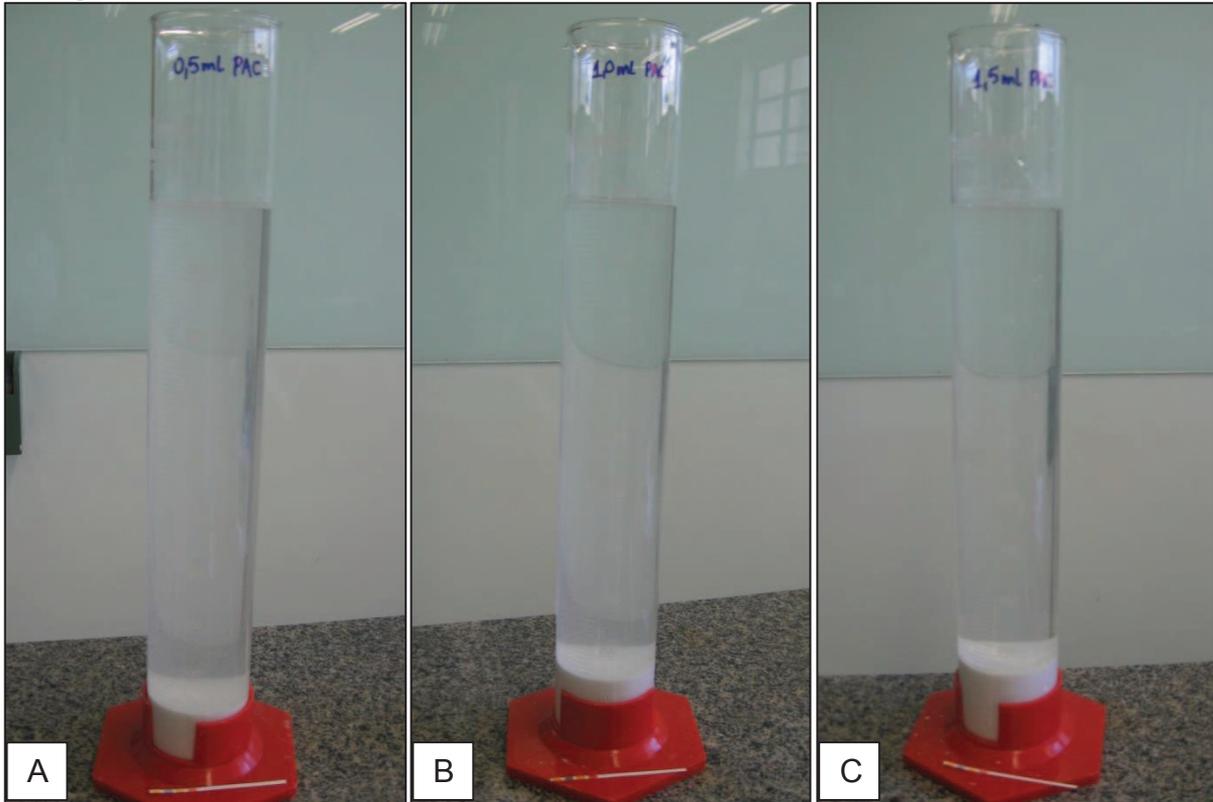
Fonte: Da autora, 2013

Pode-se constatar que à medida que se adiciona mais produto, consegue-se um tratamento mais eficiente no que diz respeito à quantidade de lodo gerada, que é maior, e clarificação da água, que tende a ficar mais transparente.

Analisando novamente o gráfico acima, percebe-se que os tratamentos com dosagens de 0,5 mL e 1,0 mL, apresentaram uma sedimentação mais rápida quando comparados com a adição de 1,5 mL, no entanto, geraram um volume menor de lodo, permitindo que partículas sólidas não fossem eficientemente removidas e permanecessem suspensas, o que acarretou na água menos clarificada do que com a dosagem maior de coagulante.

A Figura 16 ilustra as situações aqui em comento.

Figura 16 – Sedimentação do lodo em 1 h e 30 min após adição de PAC, com dosagens de A: 0,5 mL, B: 1,0 mL e C: 1,5 mL



Fonte: Da autora, 2013

Passado o tempo predeterminado de 1 h e 30 min após a adição do efluente em tratamento na proveta, verificou-se o pH e a turbidez da água e obteve-se os valores apresentados na Tabela 1. A água foi removida e comparou-se o volume de lodo sedimentado atual com o volume observado em 30 min, conforme dado utilizado para construção do gráfico. A densidade e o tempo de escoamento deste lodo também foram analisados. Todos os resultados destes parâmetros constam na tabela abaixo.

Tabela 1 – Resultados dos parâmetros analisados no tratamento com policloreto de alumínio

0,5 mL de PAC	
Parâmetro	Resultado
pH	8,0
Turbidez da água	38,8 NTU
Densidade do lodo	1,53 g/mL
Tempo de escoamento do lodo	11,74 s
Volume de lodo	120 mL
1,0 mL de PAC	
Parâmetro	Resultado

pH	7,5
Turbidez da água	21,7 NTU
Densidade do lodo	1,46 g/mL
Tempo de escoamento do lodo	11,56 s
Volume de lodo	190 mL
<b>1,5 mL de PAC</b>	
<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado</b>
pH	7,0
Turbidez da água	15,7 NTU
Densidade do lodo	1,46 g/mL
Tempo de escoamento do lodo	11,44 s
Volume de lodo	210 mL

Fonte: Da autora, 2013

Analisando os resultados obtidos, pode constatar que o tratamento removeu a turbidez do efluente em 96,32% com a adição de 0,5 mL de PAC, 97,94% com uso de 1,0 mL deste produto e 98,5% utilizando 1,5 mL do mesmo. Em todos os casos apresentando boa eficiência, no entanto, com a adição de mais produto químico foi possível obter um volume maior de lodo devido à remoção mais eficiente das partículas sólidas presentes na água, as quais se sedimentaram.

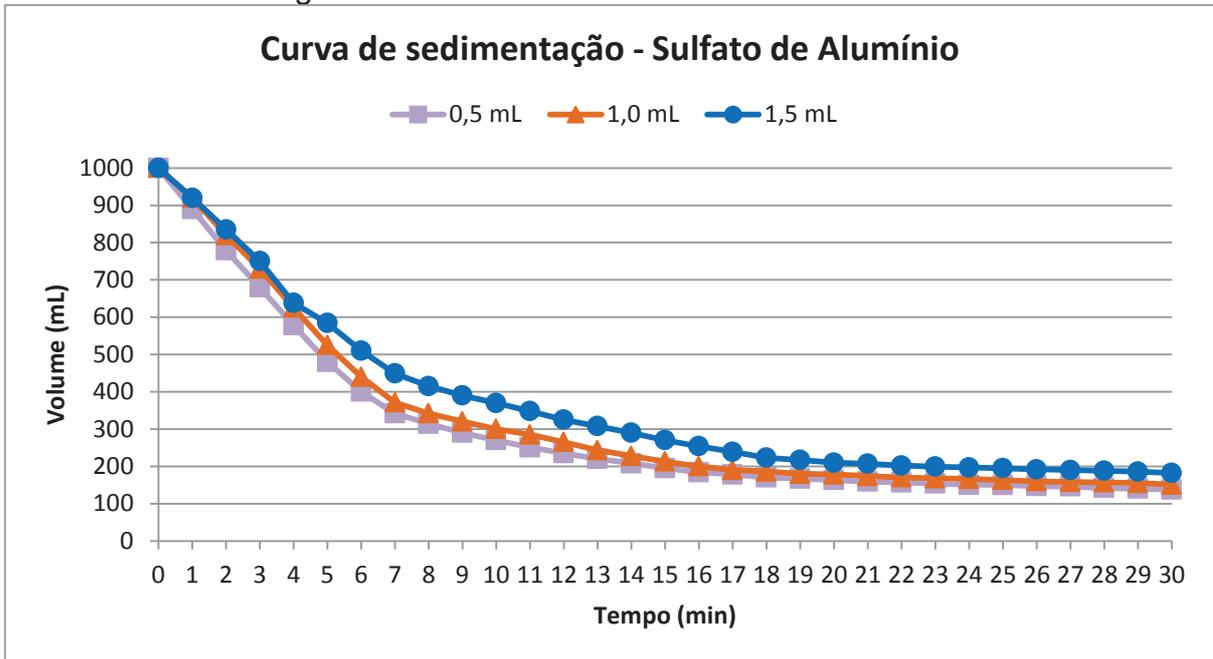
Vale destacar que o volume de lodo sedimentado presente do efluente da indústria de colorífico em questão, considerando os testes laboratoriais realizados, pode ser até de 21%, o qual será reciclado para posterior uso interno.

Além disso, é possível verificar que a adição de PAC acarreta na baixa do pH, melhorando a faixa do mesmo e se aproximando do pH neutro (7,0). Em todos os casos o valor de pH permaneceu dentro do limite estabelecido por legislações aplicáveis.

O segundo coagulante testado para tratamento do efluente cerâmico foi o sulfato de alumínio. Este foi adquirido pela empresa da região, a mesma que forneceu o PAC. O mesmo procedimento foi realizado, utilizando neste ensaio o sulfato de alumínio a uma concentração de 48%.

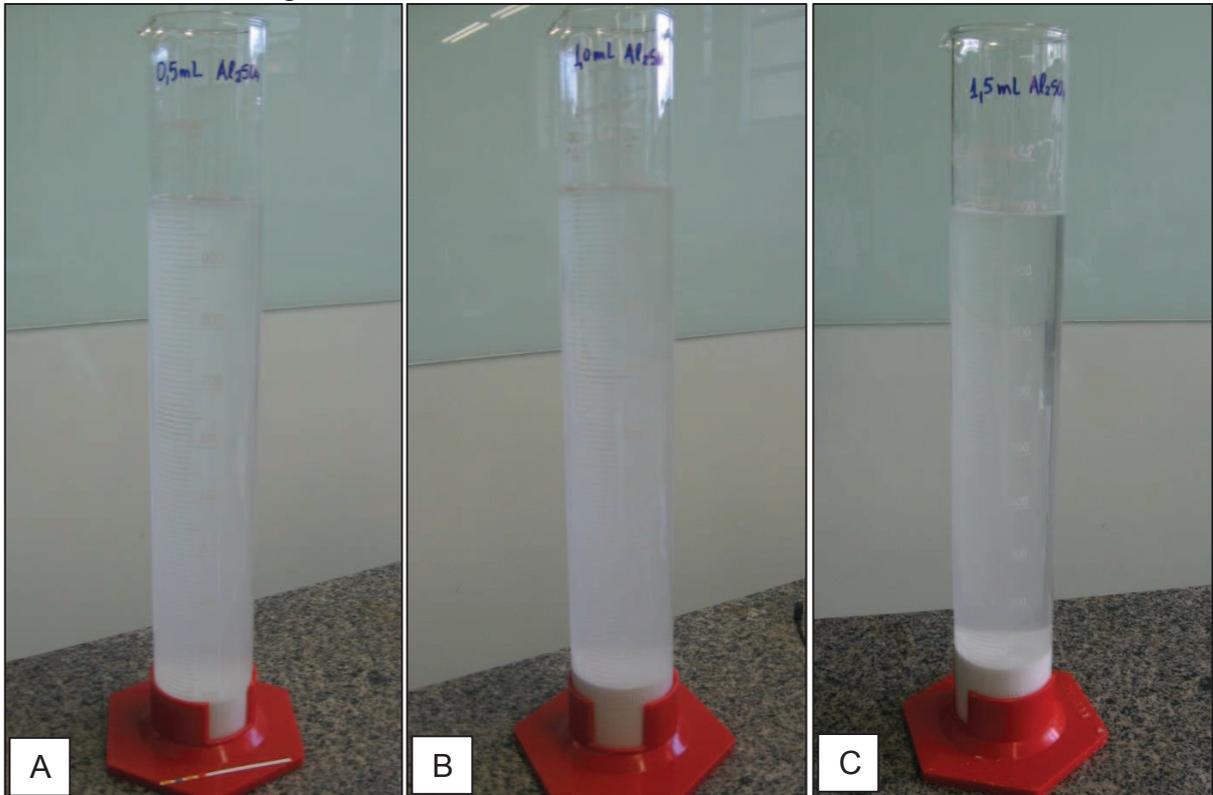
Neste caso, também, à medida que se elevou a dosagem aplicada ao efluente, ocorreu uma maior clarificação da água sobre o lodo e um volume maior deste, visto que houve uma remoção maior de sólidos suspensos. Estas afirmações podem ser constatadas por meio do gráfico da curva de sedimentação em 30 min (Figura 17) e da Figura 16, demonstrando a situação real.

Figura 17 – Gráfico ilustrando curva de sedimentação do lodo do efluente tratado com diferentes dosagens de sulfato de alumínio



Fonte: Da autora, 2013

Figura 18 – Sedimentação do lodo em 1 h e 30 min após adição de sulfato de alumínio, com dosagens de A: 0,5 mL, B: 1,0 mL e C: 1,5 mL



Fonte: Da autora, 2013

Neste caso a curva de sedimentação entre as três dosagens introduzidas no efluente mostraram-se semelhantes, sendo que a quantidade de produto adicionada não influencia no tempo de deslocamento das partículas sólidas (sedimentação), como ocorreu com a adição de PAC a 1,5 mL/L. O que diferencia é só a clarificação e o volume de lodo, os quais, inclusive, não obtiveram diferenças tão significativas nos resultados quando comparados com as três dosagens de PAC.

Com relação aos resultados após 1 h e 30 min da introdução do coagulante, foram obtidos os valores inseridos na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros analisados no tratamento com sulfato de alumínio

<b>0,5 mL de Sulfato de Alumínio</b>	
<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado</b>
pH	8,0
Turbidez da água	68,3 NTU
Densidade do lodo	1,54 g/mL
Tempo de escoamento do lodo	11,18 s
Volume de lodo	100 mL
<b>1,0 mL de Sulfato de Alumínio</b>	
<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado</b>
pH	7,0
Turbidez da água	29,6 NTU
Densidade do lodo	1,50 g/mL
Tempo de escoamento do lodo	11,06 s
Volume de lodo	110 mL
<b>1,5 mL de Sulfato de Alumínio</b>	
<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado</b>
pH	7,0
Turbidez da água	27,5 NTU
Densidade do lodo	1,49 g/mL
Tempo de escoamento do lodo	11,56 s
Volume de lodo	130 mL

Fonte: Da autora, 2013

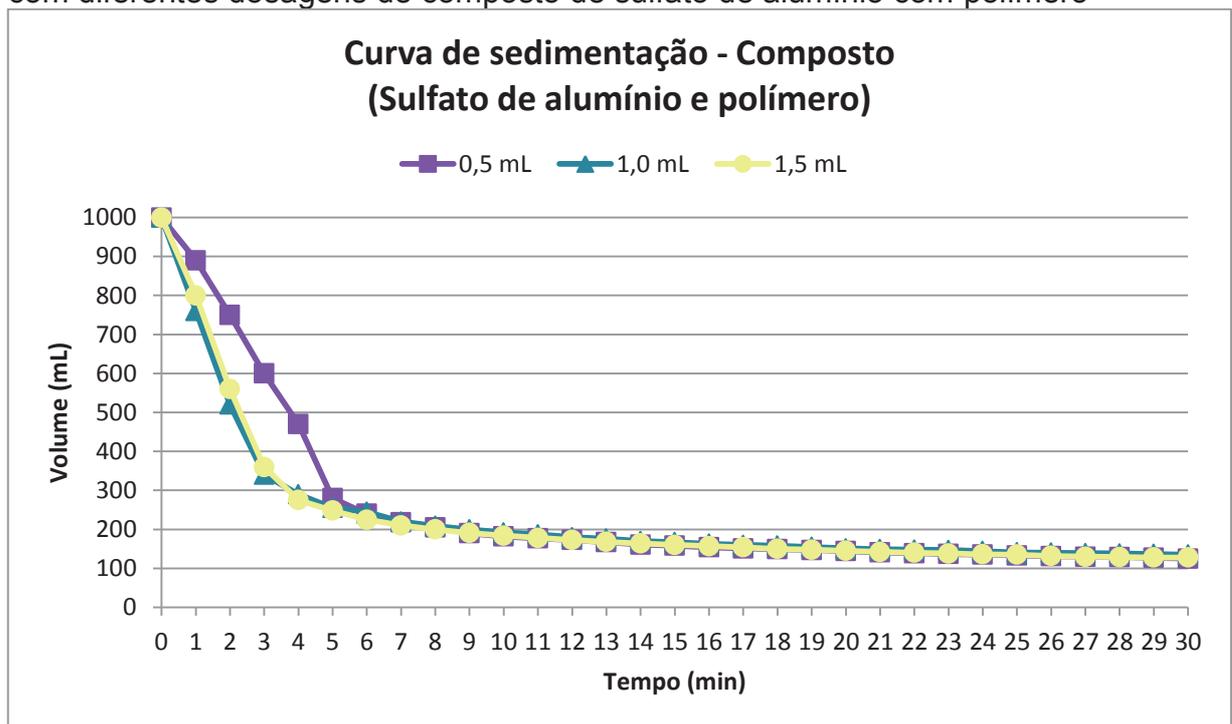
Analisando os valores obtidos nos experimentos, averiguou-se que os ensaios realizados com adição das três diferentes dosagens apresentam remoção de 93,51%, 97,19% e 97,39% à medida que se adicionava mais sulfato de alumínio.

O coagulante sulfato de alumínio, como o PAC, influenciou no pH, melhorando por meio da baixa, uma vez que se comporta como um acidificante, seguindo os padrões estabelecidos pelas legislações pertinentes.

Com o sulfato de alumínio pode-se obter entre 10 e 13% de lodo no efluente gerado, um volume menor de material a ser atomizado e transformado em insumo para a produção de novos produtos internos da organização, quando comparado com uso de PAC para tratamento do efluente industrial. Este percentual de lodo indica que foram perdidas partículas sólidas entre a água, que não poderão se transformar em material de insumo.

Outro produto químico testado foi um composto fabricado também por uma empresa local, a base de sulfato de alumínio com polímero não iônico.

Figura 19 – Gráfico ilustrando curva de sedimentação do lodo do efluente tratado com diferentes dosagens de composto de sulfato de alumínio com polímero



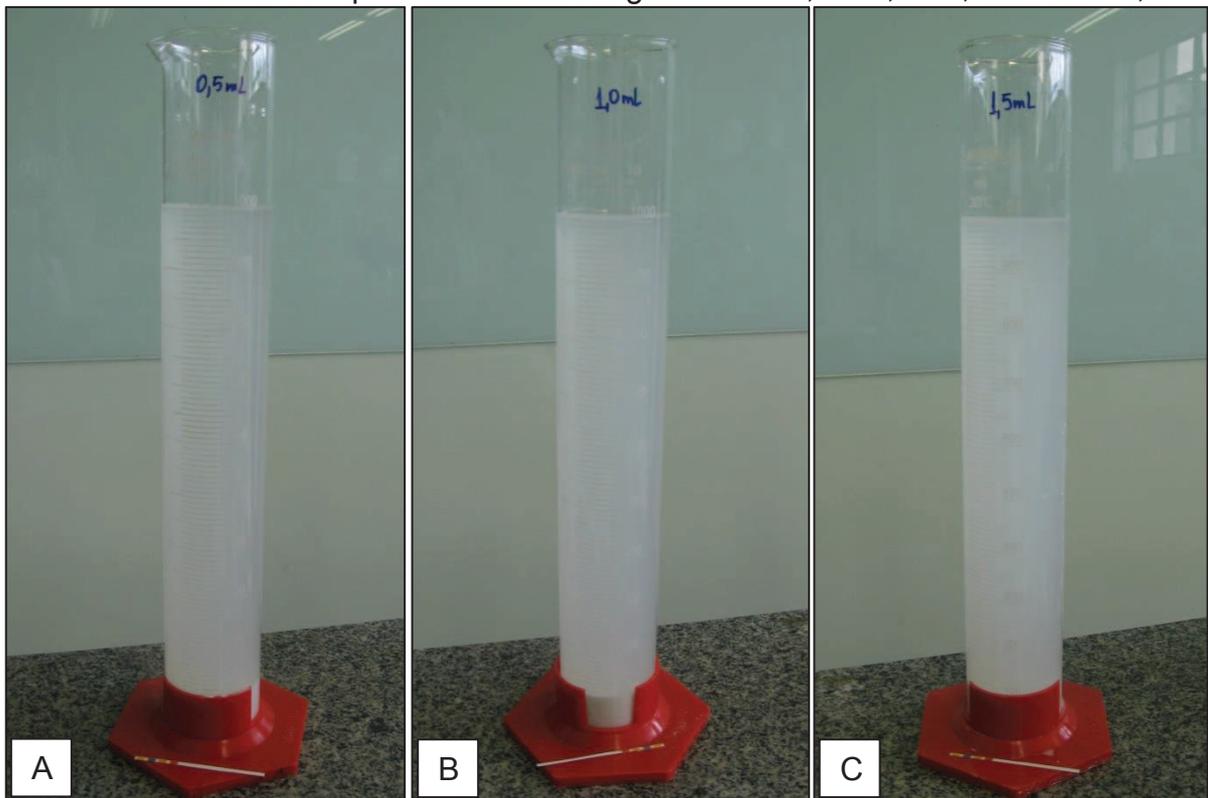
Fonte: Da autora, 2013

Avaliando as curvas de sedimentação, pode-se constatar que, independente da dosagem adicionada, a sedimentação em função do tempo é bem similar. Vale destacar que a curva referente à dosagem de 0,5 mL encontra-se diferenciada em seu início, entretanto, deve-se levar em consideração a grande dificuldade encontrada em realizar a leitura nos primeiros minutos, em virtude da

interface formada. Além disso, cita-se que em todos os testes alcançou-se a estabilidade de sedimentação logo no início, quando comparadas com os demais produtos testados experimentalmente neste estudo.

E para ilustrar melhor os experimentos de tratamento utilizando o composto a base de sulfato de alumínio com polímero não iônico, tem-se a Figura 20.

Figura 20 – Sedimentação do lodo em 1 h e 30 min após adição do composto de sulfato de alumínio com polímero com dosagens de A: 0,5 mL, B: 1,0 mL e C: 1,5 mL



Fonte: Da autora, 2013

Com a adição deste composto comercializado, percebe-se que à medida que se adiciona uma quantidade maior de produto químico, a água tende a ficar mais esbranquiçada, aumentando a turbidez da mesma, sendo que isso pode ser comprovado não só pela figura acima, como também pelos resultados demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos parâmetros analisados no tratamento com composto a base de sulfato de alumínio e polímero não iônico

0,5 mL de sulfato de alumínio com polímero não iônico	
Parâmetro	Resultado
pH	8,5

Turbidez da água	205 NTU
Densidade do lodo	1,36 g/mL
Tempo de escoamento do lodo	11,62 s
Volume de lodo	90 mL
<b>1,0 mL de sulfato de alumínio com polímero não iônico</b>	
<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado</b>
pH	8,5
Turbidez da água	207 NTU
Densidade do lodo	1,38 g/mL
Tempo de escoamento do lodo	12,06 s
Volume de lodo	95 mL
<b>1,5 mL de sulfato de alumínio com polímero não iônico</b>	
<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado</b>
pH	8,5
Turbidez da água	241 NTU
Densidade do lodo	1,37 g/mL
Tempo de escoamento do lodo	11,88 s
Volume de lodo	90 mL

Fonte: Da autora, 2013

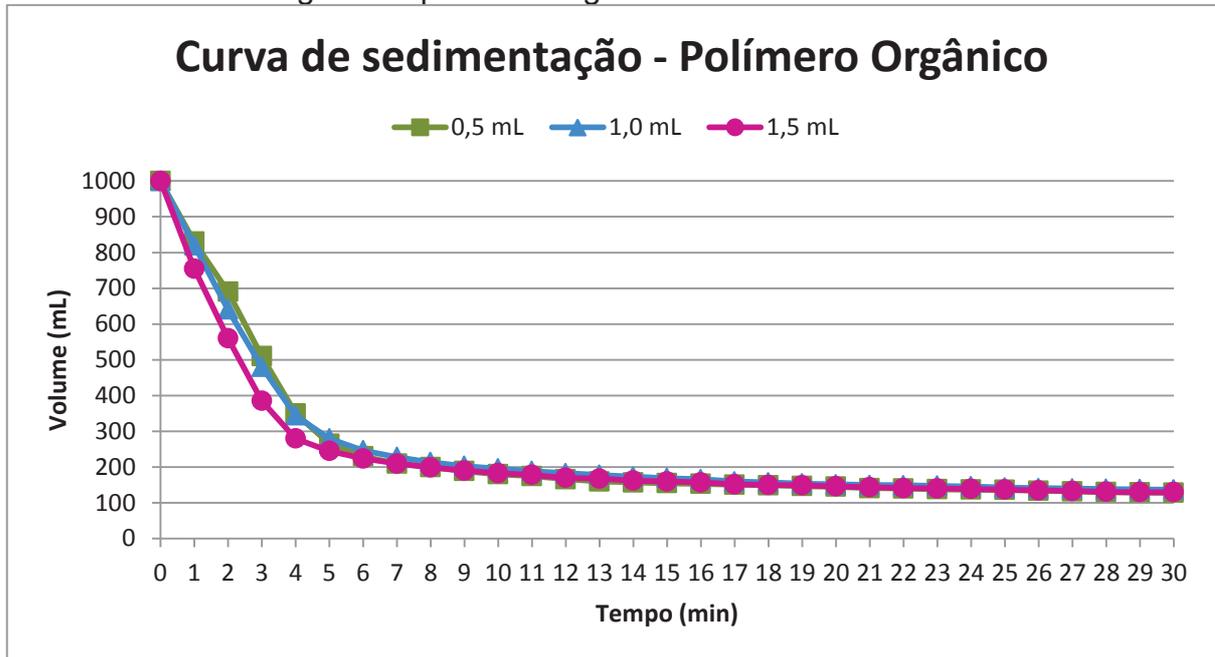
Nos três ensaios com o composto, independente da dosagem, não houve sedimentação com eficiência, ou seja, o volume de lodo não foi superior a 9,5%. A água sobre este também não apresentou bons resultados com relação à turbidez, apresentando eficiência de sedimentação entre 77% e 81%, sendo menos eficiente que os coagulantes testados anteriormente.

Neste caso, se comparar a turbidez da água sobre o lodo gerado por meio do processo de sedimentação simples, que foi equivalente a 286 NTU, percebe-se que a remoção variou entre 15 e 28%.

Este composto a base de sulfato de alumínio e polímero não iônico não influenciou significativamente no pH, uma vez que este variou de 9 (efluente *in natura*) para 8,5 com as dosagens aplicadas.

Visando testar o uso de um polímero orgânico em lodo cerâmico, o qual é composto essencialmente por materiais inorgânicos, foram realizados ensaios com as mesmas dosagens utilizadas nos coagulantes, tratando com Veta Organic, um polímero orgânico catiônico disponível no laboratório da Universidade. Este produto encontrava-se concentrado e foi utilizado com as mesmas dosagens dos produtos anteriores, já predeterminados.

Figura 21 – Gráfico ilustrando curva de sedimentação do lodo do efluente tratado com diferentes dosagens de polímero orgânico



Fonte: Da autora, 2013

Com relação aos ensaios anteriores, pode-se perceber que o tempo de sedimentação ocorre de maneira mais rápida, um tanto similar ao composto a base de sulfato de alumínio e polímero não iônico, se estabilizando nos primeiros minutos (Figura 21), entretanto, não removendo adequadamente os sólidos em suspensão, visto que a turbidez encontra-se alta (Tabela 4).

Tabela 4 – Resultados dos parâmetros analisados no tratamento com polímero orgânico

0,5 mL de Veta Organic	
Parâmetro	Resultado
pH	9,0
Turbidez da água	315 NTU
Densidade do lodo	1,63 g/mL
Tempo de escoamento do lodo	11,52 s
Volume de lodo	88 mL
1,0 mL de Veta Organic	
Parâmetro	Resultado
pH	8,0
Turbidez da água	229 NTU
Densidade do lodo	1,59 g/mL
Tempo de escoamento do lodo	12,14 s
Volume de lodo	92 mL

1,5 mL de Veta Organic	
Parâmetro	Resultado
pH	8,0
Turbidez da água	150 NTU
Densidade do lodo	1,51 g/mL
Tempo de escoamento do lodo	11,94 s
Volume de lodo	98 mL

Fonte: Da autora, 2013

É possível averiguar também que o polímero orgânico faz com que o efluente eleve um pouco o seu pH. Em relação ao lodo sedimentado após 1 h e 30 min da disposição do efluente na proveta, verifica-se que o volume de lodo não varia consideravelmente quando tem suas dosagens alteradas, permanecendo com percentual de volume de lodo inferior a 10%.

À medida que foi sendo adicionado mais produto, a turbidez foi tendendo a diminuir. No entanto, apesar de a turbidez ter minimizado com a dosagem de 1,5 mL, aparentemente a água sobre o lodo ficou com uma coloração mais rosada, conforme pode ser observado na Figura 22.

Figura 22 – Tratamento de efluente com polímero orgânico, apresentando coloração rosada



Fonte: Da autora, 2013

As remoções de turbidez variaram entre 70% e 86%, considerando as três dosagens aplicadas de polímero orgânico.

Em todos os experimentos realizados, no intervalo de observação de 30 min, a sedimentação já encontrava estabilidade com relação ao valor de volume de lodo no fundo da proveta, isso pode ser observado nos gráficos aqui expostos. Ou seja, em apenas 30 min é possível realizar o tratamento e, se preferível, início do esvaziamento do tanque para reaproveitamento da água e reciclagem do lodo.

O tempo de escoamento dos lodos analisados se assemelhou bastante, já a densidade teve algumas variações, nada muito extraordinário. Vale destacar que uma dificuldade encontrada, e que talvez tenha interferido no seu real valor, foi a remoção da água sobre o lodo sedimentado em todos os experimentos, fato este que pode ter alterado um pouco os resultados de tempo de escoamento e, principalmente, densidade. Devido a esta ocorrência, os resultados de tempo de escoamento e densidade não foram explorados.

### 5.3 ATOMIZAÇÃO DO LODO CERÂMICO

O processo de reciclagem consiste em transformar um resíduo em um novo material (insumo ou produto), neste caso transformar fisicamente o lodo cerâmico em um insumo sólido para a produção de novos produtos. O equipamento responsável por este processo é a atomizador, também conhecido como *spray dryer* (secador por aspersão), o qual converte um fluído em um material em estado sólido.

A empresa possui dois atomizadores, sendo o menor utilizado geralmente para o desenvolvimento de testes piloto, como foi caso do processo de reciclagem interna aqui abordado.

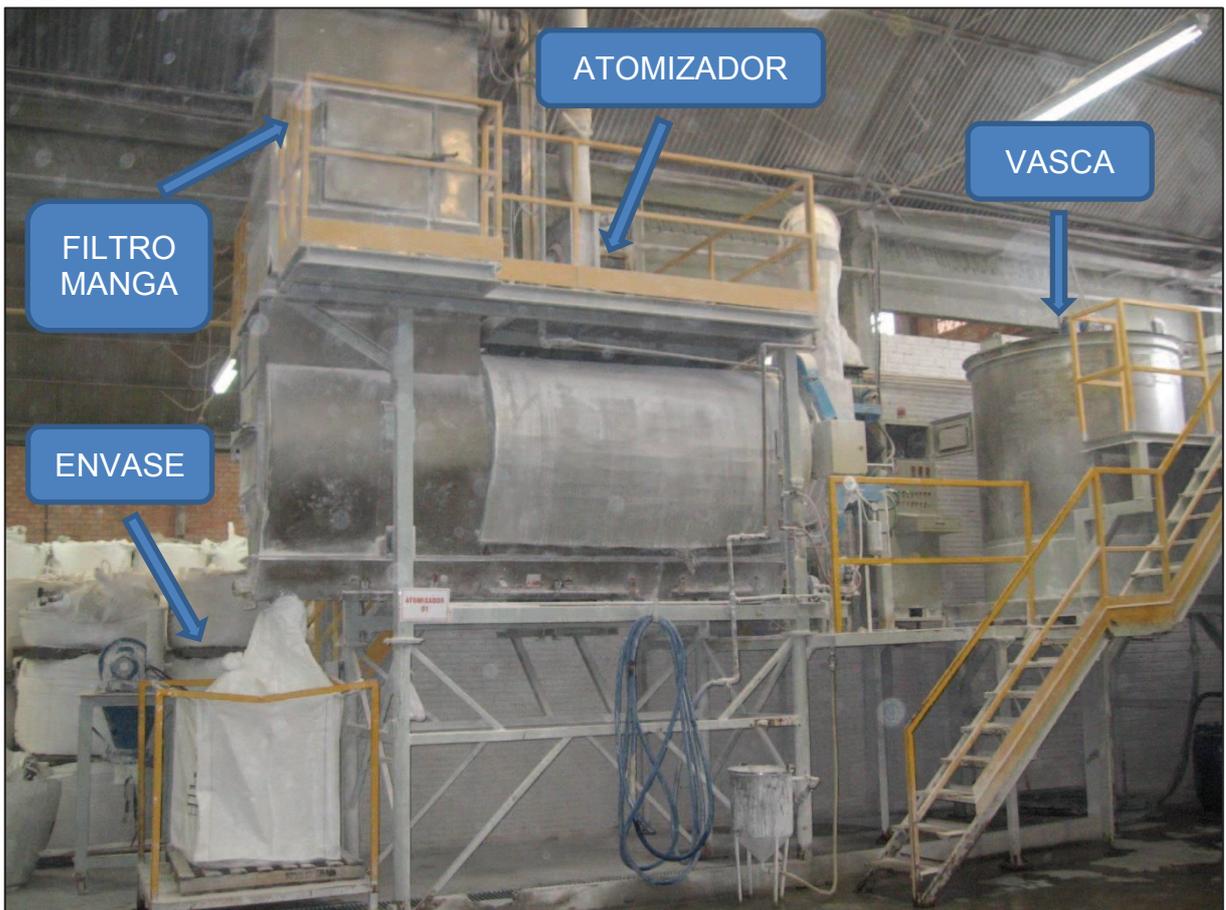
O equipamento trabalha com gás natural e ar ambiente, possuindo em seu interior uma temperatura elevada, a qual é proporcionada por queimador, para possibilitar que o fluído aspergido em contato com este ar quente se transforme em sólido. Vale citar que anexo ao atomizador há filtro manga específico para captação de material particulado gerado neste processo. Automaticamente as partículas sólidas capturadas pelo filtro são direcionadas ao envase também, não sendo perdidas e, conseqüentemente, não gerando resíduos sólidos.

O lodo cerâmico, para ser introduzido ao atomizador, foi coletado do tanque da ETE e disposto em uma vasca com agitação, uma vez que sem a submissão a um gradiente de velocidade o lodo tende a aumentar a viscosidade, dificultando o escoamento.

O lodo a ser atomizado apresentou densidade de 1,49 g/mL e tempo de escoamento de 19 s, estando dentro da faixa que o equipamento trabalha, entretanto, em virtude destes resultados, apresentando um alto percentual de umidade.

Na Figura 23 é possível visualizar o processo aqui em comento, representado pelas etapas consecutivas e seus respectivos equipamentos.

Figura 23 – Etapas do processo de transformação do lodo cerâmico em insumo em estado sólido



Fonte: Da autora, 2013

Depois de atomizado, o pó cerâmico foi armazenado em *big-bags* para posterior uso no setor de compostagem, a fim de misturar este insumo com outras matérias-primas e, conseqüentemente, formular um produto.

O processo de atomização de, aproximadamente, 3000 L levou em torno de 8 h para ser completado, o que ocasionou em 2315 kg de lodo atomizado (insumo). Vale lembrar que o atomizador usado foi o específico para teste piloto ou também utilizado para produção de cargas menores, o qual apresenta um processo mais lento.

Como o sistema de direcionamento de efluentes para o tanque, em que foi coletado o lodo, recebe efluentes dos laboratórios, pode ser que haja algum tipo de contaminação por corantes provenientes de descargas nas pias. Portanto, não se recomenda o uso do insumo aqui produzido em formulações de base ou de esmalte, pois estes requerem uma característica mais nobre.

#### 5.4 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS UTILIZANDO LODO ATOMIZADO

Em função de o lodo gerado ser em pequena quantidade, não é necessário e nem viável desenvolver uma formulação nova de engobe ou frita cerâmica especialmente para uso deste lodo cerâmico atomizado. Por isso, o lodo foi diluído (acréscimo de percentuais menores) na formulação destes, simplesmente com o intuito de dar um fim ambientalmente adequado, sem custos com a disposição em aterro sanitário, assim como gerando menos impactos ambientais e, até mesmo, praticando um dos níveis de produção mais limpa.

##### 5.4.1 Desenvolvimento de engobe

Após selecionado um engobe bastante comercializado, ou seja, que fosse produzido frequentemente pela empresa, analisou-se a formulação do mesmo, diminuindo proporcionalmente o percentual de cada matéria-prima utilizada e acrescentando a quantidade lodo cerâmico atomizado a ser testado.

Os primeiros experimentos foram realizados simultaneamente com um acréscimo de 5% e 1% de lodo atomizado na formulação. Após todo o processo de pesagem de matérias-primas e moagem, identificou-se o tempo de escoamento que apresentou valor de 44 s e, em seguida, verificou-se a densidade dos materiais teste, os quais tiveram como resultado 1,80 g/mL e 1,81 g/mL.

Como este material precisa apresentar a mesma densidade do padrão, que é 1,79 g/mL, adicionou-se um pouco de água para se assemelhar a densidade

padrão. Regulada a densidade do engobe formulado, o material foi aplicado em base cerâmica por meio de *binel* com abertura de 0,3 mm, ao lado da aplicação do padrão, e levado à queima.

Somente depois do processo de queima, é possível verificar se é possível desenvolver em escala industrial o engobe formulado. Na placa queimada, passa-se esmalte sobre o engobe para melhorar a visualização, visto que na indústria de revestimento cerâmicos serão aplicados outros produtos sobre o engobe e estes podem apresentar alterações na coloração e em outras características se o engobe que foi disposto anteriormente não apresentar boa qualidade. Assim, o produto final poderá apresentar alterações. A pincelada de azul de metileno auxiliou na identificação de que o engobe com 5% do insumo lodo atomizado ficou mais fundente.

Como percebeu-se que o engobe com a formulação de 1% de insumo reciclado ficou melhor que o de 5%, entretanto, não ficou com a qualidade aprovada para produção em escala industrial, realizou-se outro teste. Este com percentual de 0,5% do insumo fabricado, sendo o mesmo procedimento realizado.

Após o processo de queima foi possível aprovar o engobe com uso de 0,5% de lodo reciclado para produção em escala industrial em virtude da coloração verificada nos locais de aplicação de esmalte e azul de metileno.

#### **5.4.1 Desenvolvimento de frita cerâmica**

A frita cerâmica predeterminada foi a de tipologia opaca para utilização em engobe, uma vez que como o efluente provém do setor de fabricação de bases e esmaltes e é onde o zircônio é bastante utilizado. Este é considerado como um opacificante cerâmico, o qual dá o aspecto de opacidade.

Esta frita é comumente produzida para consumo interno, não sendo comercializada.

Se o lodo atomizado fosse usado em fritas mate ou transparente (brilhante), a probabilidade de apresentar problemas após a queima, não passando pela inspeção de qualidade, seria maior, quando comparadas com o uso em frita opaca.

A frita opaca, também conhecida como branca, como o próprio nome já diz, confere opacidade ao engobe a ser produzido, sendo, portanto, a sua principal característica.

Após produzidas as fritas no mini forno teste e passadas por um período de secagem, formulou-se os esmaltes com 2% e 4% de insumo reciclado, bem como o padrão, aplicando-os na base cerâmica que foi enviada ao forno.

Realizada a queima, pôde-se constatar visualmente, com o auxílio dos técnicos da empresa, que a frita com acréscimo de até 4% de lodo atomizado foi aprovada, podendo ser utilizada para escala de produção industrial.

## 5.5 RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO DE RECICLAGEM INTERNA

A empresa não tem por hábito esvaziar o tanque de tratamento e sedimentação, acarretando, portanto, no acúmulo de lodo. O lodo presente neste apresenta-se bastante denso e concentrado, visto que não é removido totalmente. E é em virtude desta densidade e concentração elevada que os produtos químicos não agem como coagulantes e/ou floculantes, ou seja, não tratam com eficiência o efluente. Isso pode ser comprovado pelos ensaios realizados que apresentaram sedimentação similar entre o efluente *in natura* e o efluente com adição de produtos. Portanto, para contribuir ainda mais com o projeto de reciclagem interna aqui tratado, recomenda-se a limpeza total do tanque após a construção de nova vasca de 15 m<sup>3</sup> que a empresa está providenciando para auxiliar neste projeto.

Cita-se a nova vasca, pois é mais viável ambiental e economicamente utilizar este lodo cerâmico sedimentado como insumo para a fabricação de produtos por meio da atomização e introdução de lodo atomizado na formulação de novos produtos do que remover e dar destino ambientalmente adequado. Até porque são, aproximadamente, 20 m<sup>3</sup> de lodo sedimentado atualmente, o que dificulta a remoção, visto que há apenas um único filtro prensa presente na empresa, que também é utilizado para o outro tanque da ETE, específico para efluente proveniente no setor de corantes. Além disso, a remoção também é dificultada pela reologia do fluido, que tende a aumentar a viscosidade à medida que não há gradiente de velocidade, ou seja, quando não há agitação no tanque.

Em contato com uma empresa que possui LAO para transporte e coleta de resíduos, o custo para limpeza e destinação adequada aos 20 m<sup>3</sup> aproximados

de lodo sedimentado seria de, aproximadamente, R\$ 9800,00 caso o resíduo fosse caracterizado como classe I (perigoso) e cerca de R\$ 6000,00 se fosse classe II.

Assim, com o tanque limpo, sugere-se esperar encher e, à medida que estiver quase cheio, realizar nova coleta de amostra de efluente e testar com os dois produtos identificados neste estudo como os mais adequados. Assim sendo, após realização de ensaio em laboratório, poderá se fazer um ensaio piloto na própria ETE, caracterizando-se como um ensaio mais real.

Contudo, após obtenção da vasca e limpeza do tanque da ETE, a empresa pretende colocar este projeto em prática. Assim, à medida que o tanque estiver com um volume suficiente e viável para tratamento, realiza-se o tratamento, removendo a água clarificada para o tanque de estabilização ao lado, para posterior reuso, e direcionando o lodo sedimentado, após agitação, para a vasca. Realizado dois ou três ciclos de tratamento e remoção do lodo, a vasca estará cheia e poder-se-á realizar o processo de atomização do lodo.

Sugere-se, também, como continuação ao desenvolvimento da recomendação dada acima, o estudo para introdução do lodo acumulado nas canaletas no interior dos setores de moagem e atomização e laboratórios. Este resíduo sólido é bastante concentrado por matérias-primas, por isso e em função de sua reologia, fica retido facilmente nas calhas, não indo para a ETE. Este é retirado com o auxílio de pás e despejado em *big-bags*. Acredita-se que este lodo mais concentrado possa ser adicionado junto com o lodo decantado da ETE e atomizado, por isso é importante a realização de estudo mais aprofundado.

Considerando que o tempo de escoamento e a densidade são essenciais para o adequado funcionamento do atomizador, estes devem estar em até 30 s e, aproximadamente, 1,45 e 1,75 g/mL respectivamente, conforme informações obtidas com o mestre/supervisor do setor de moagem e atomização da empresa.

Além disso, para melhorar o projeto, já que se tem o intuito de tornar este estudo um processo da empresa, esta deve providenciar o desvio dos efluentes de testes procedimentais gerados nas pias dos laboratórios para o tanque designado para efluentes do setor de corantes da indústria, não sendo mais direcionados até o tanque em estudo. Esta modificação contribuirá para que não haja contaminação por pigmentos no lodo a ser reciclado.

Outra melhoria seria providenciar troca de grades das canaletas de drenagem no interior da fábrica por meio da implantação de grades com

espaçamentos menores para evitar que materiais sólidos grosseiros caiam nestas e sejam direcionados à ETE; assim como construir nova calha para coleta da água da chuva, não direcionando mais esta para o tanque de tratamento, pois assim se tem um volume maior de efluente a ser tratado. O ideal é que as águas pluviais sejam encaminhadas diretamente ao tanque de estabilização.

Por fim, recomenda-se uma caracterização do lodo, a fim de classificá-lo como classe I ou classe II de acordo com a NBR 10004/2004, uma vez que a empresa deve ter todos os seus resíduos identificados, conforme exigência de legislações aplicáveis e condicionantes da LAO.

Caso o lodo cerâmico seja considerado como resíduo classe I, o custo para destinação a aterro industrial para resíduos perigosos é bem maior quando comparado com o custo para disposição em aterro sanitário industrial para resíduos classe II, como o Santec Resíduos.

Considerando que a produtividade mensal da frita com tipologia opaca para engobe, que foi reformulada com acréscimo de 4%, é de 100 t, a redução de custo anual desta frita com o uso do lodo reciclado é de R\$ 23.040,00 por ano. Já o uso de 0,5% do insumo reciclado em engobe para porcelanato acarretará numa economia anual de R\$ 4.650,00, visto que a produtividade mensal deste produto é de 50 t. Por fim, resulta-se em uma economia anual de R\$ 27.690,00, além de ser considerada como um projeto de produção mais limpa, podendo esta iniciativa ser convertida em *marketing* ambiental para a empresa.

Após atomizado os aproximados 20 m<sup>3</sup> de lodo cerâmico, sugere-se a realização de caracterização química do material a fim de auxiliar na determinação do percentual do insumo reciclado a ser introduzido na formulação do produto, bem como na minimização do percentual de determinadas matérias-primas.

## 6 CONCLUSÃO

A preocupação com relação à geração de resíduos sólidos, assim como efluentes líquidos e emissões de poluentes atmosféricos, e, conseqüentemente, a alteração da qualidade dos recursos naturais, vêm recebendo destaque nos últimos anos, principalmente, por meio de órgãos fiscalizadores.

Diante do diagnóstico ambiental elaborado por meio de *check list*, essencial para a implementação de um sistema de gestão ambiental, uma vez que demonstra a situação da empresa com relação ao meio ambiente, foi possível identificar as não conformidades com relação a legislações aplicáveis e condicionantes da LAO. A partir disso, tornou-se possível a recomendação de melhorias a serem desenvolvidas, bem como de adequações às não conformidades.

Vale destacar que a empresa não atende em sua totalidade as principais legislações aplicáveis e nem as condicionantes da LAO. Em virtude disso, é de extrema necessidade o desenvolvimento de ações que visem alterar esta situação problemática, uma vez que o não cumprimento das condicionantes exigidas na LAO pode acarretar na anulação ou não concessão da licença, assim como sanções civis, administrativas e penais.

E visando contribuir ainda mais com o diagnóstico, foram analisados todos os setores da organização, com descrição do processo produtivo e identificação da estrutura organizacional, visto que esta é de suma importância para a atribuição de responsabilidades para o futuro sistema de gestão ambiental.

Com relação ao estudo referente à reciclagem interna de lodo cerâmico, o resíduo proveniente da ETE após tratamento e, conseqüentemente, sedimentação, tornou-se possível e viável à empresa, conforme resultados obtidos nesse trabalho.

Perante os ensaios laboratoriais realizados, considerando o tratamento mais eficiente com relação à clarificação da água e com maior volume de lodo sedimentado, pode-se afirmar que o produto químico mais adequado para o tratamento do efluente industrial do colorifício é o PAC, comercializado por uma empresa local.

O processo teste de atomização do lodo sedimentado demonstrou que é possível desenvolver reciclagem interna em uma indústria de colorifício cerâmico somente pelo processo de atomização, não necessariamente passando pelas etapas de filtro prensa e moagem, comumente desenvolvidas em indústrias

cerâmicas. Este projeto diminui custos com utilização destes equipamentos, assim como minimiza o período de processamento, ou seja, transformação do resíduo em insumo.

Por fim, foram realizados ensaios na formulação de engobe e frita cerâmica com percentuais deste insumo já produzido, comprovando o uso de lodo reciclado em produtos fabricados pela indústria em questão, sem alterações na qualidade dos mesmos.

Vale destacar que o projeto de lodo, além de ser uma oportunidade de melhoria e cumprimento a legislações aplicáveis, inclusive atendimento das condicionantes da LAO da empresa, é considerado como um projeto de nível dois de P+L.

Conclui-se também que há minimização no uso de matérias-primas utilizadas (recursos naturais), cessamento dos custos com a destinação ambientalmente adequada em aterro sanitário industrial do lodo cerâmico e redução de custos com a fabricação dos produtos formulados com o lodo reciclado. E, além de contribuir com a conservação do meio ambiente, não degradando o solo, a água e o ar, colabora, mesmo que de maneira não muito significativa, para o aumento da vida útil de aterros sanitários.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO – ANP. Resolução nº 20, de 18 de junho de 2009. Estabelece os requisitos necessários à autorização para o exercício da atividade de coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado e a sua regulação. Bem como, revoga as Portarias ANP nºs 125 e 127, de 30 de julho de 1999. **D.O.U.**, Brasília, DF, 19 jun. 2009. Disponível em: [http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2009/junho/ranp%2020%20-%202009.xml](http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2009/junho/ranp%2020%20-%202009.xml). Acesso em: 09 out. 2013.
- AISSE, Miguel Mansur; COHIM, Eduardo; KIPERSTOK, Asher. Reúso urbano e rural. *In*: SANTOS, Maria de Lourdes Florencio dos; BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier; AISSE, Miguel Mansur (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 111-154. ISBN 8570221525.
- ANFACER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES. Disponível em: <http://www.anfacer.org.br/site/>. Acesso em: 10 ago. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABCERAM. Disponível em: <http://www.abceram.org.br/site/>. Acesso em: 20 ago. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11.174**: armazenamento de resíduos classes II – não inertes e III – inertes. Rio de Janeiro: 1990. 7 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12.235**: armazenamento de resíduos sólidos perigosos. Rio de Janeiro: 1992. 14 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 10.004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro: 2004. 71 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 14.001**: sistemas de gestão ambiental – requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: 2004. 27 p.
- ASSUMPÇÃO, Luiz Fernando Joly. **Sistema de gestão ambiental**: manual prático para implementação de SGA e certificação ISO 14.001/2004. 2. ed. Curitiba: Jaruá, 2007. 279 p. ISBN 9788536215853.
- BABBITT, Harold E.; DOLAND, James J.; CLEASBY, John L. **Abastecimento de água**. São Paulo: Edgard Blücher; Brasília: INL, 1973. p. 405-432.
- BALTAR, Carlos Adolpho Magalhães. Capítulo 13 – Processos de agregação. *In*: SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina Alves; BRAGA, Paulo Fernando Almeida. **Tratamento de minérios**: práticas laboratoriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. p. 557-594. ISBN 978-85-61121-02-0.

BARBIERI, José Carlos. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. São Paulo: Saraiva, 2004. 328 p. ISBN 8502046616.

BARRA, Guilherme. **Apostila de processos 4: parte 1 – fundamentos de reologia de materiais poliméricos**. Disponível em: <http://emc5744.barra.prof.ufsc.br/Reologia%20parte%201.pdf>. Acesso em: 26 out. 2013.

BENNETT, C. O.; MYERS, J. E. **Fenômenos de Transporte: quantidade de movimento, calor e massa**. McGraw-Hill do Brasil: São Paulo, 1978. 812 p.

BRAGA, Benedito; *et al.* **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p. ISBN 978-85-7605-041-4.

BRASIL. Decreto nº 2.657, de 03 de julho de 1998. Promulga a Convenção nº 170 da OIT, relativa à segurança na utilização de produtos químicos no trabalho, assinada em Genebra, em 25 de junho de 1990. **D.O.U.**, Brasília, DF, 1998. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D2657.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2657.htm). Acesso em: 15 out. 2013.

BRASIL. Decreto nº 3.665/2000. Dá nova redação ao Regulamento para a Fiscalização de Produtos Controlados (R-105). Este decreto revoga o Decreto 2.998, de 23/03/1999. **D.O.U.**, Brasília, DF, 21 nov. 2000. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/d3665.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d3665.htm). Acesso em: 16 out. 2013.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **D.O.U.**, Brasília, DF, 09 jan. 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/l9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/l9433.htm). Acesso em: 07 out. 2013.

BRASIL. Lei nº 9.748, de 30 de novembro de 1994. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. **D.O.U.**, Brasília, DF, 16 dez. 1998. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/1998-2000/L9748.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/1998-2000/L9748.htm). Acesso em: 21 out. 2013.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27/04/1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. **D.O.U.**, Brasília, DF, 28 abr. 1999. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9795.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm). Acesso em: 05 out. 2013.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12/02/1998; e dá outras providências. **D.O.U.**, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 26 out. 2013.

BRIDA, Flavio de. **Estudo das fontes de perdas do esmalte cerâmico e possíveis formas de reutilização**. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação de Tecnologia em Cerâmica. Criciúma: UNESC, 2008. 57 f.

CABRAL JUNIOR, Marsis; *et al.* Indústria de coloríficos no Brasil: situação atual e perspectivas futuras. **Cerâmica Industrial**. v. 15. n. 1. 2010. p. 13-18.

CALAES, Gilberto Dias. **Projeto Estal: projeto de assistência técnica ao setor de energia. Produto 53 – análise síntese da transformação mineral no Brasil. Relatório Técnico 79 – análise síntese da transformação mineral no país. Volume 4 - Anexo III – cadeias de transformação de recursos minerais não-metálicos**. MME – Ministério de Minas e Energia, 2009. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano\\_duo\\_decenal/a\\_transformacao\\_mineral\\_no\\_brasil/P53\\_RT79\\_Analise\\_Sxntese\\_da\\_Transformaxo\\_Mineral\\_no\\_Paxs\\_Anexo\\_III.pdf](http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_transformacao_mineral_no_brasil/P53_RT79_Analise_Sxntese_da_Transformaxo_Mineral_no_Paxs_Anexo_III.pdf). Acesso em: 21 set. 2013.

CAMPOS, Antônio Rodrigues de; LUZ, Adão Benvindo da; BRAGA, Paulo Fernando A. Capítulo 8 – Separação em meio denso. *In*: SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina Alves; BRAGA, Paulo Fernando Almeida. **Tratamento de minérios: práticas laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. p. 327-363. ISBN 978-85-61121-02-0.

CASAGRANDE, Marcos Cardoso; *et al.* Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor cerâmico. **Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 1/2, p. 34-42, 2008.

COELHO, J. M.; BOSCHI, A. **Projeto Estal: projeto de assistência técnica ao setor de energia. Produto 43 – cadeia de coloríficos. Relatório Técnico 70 – perfil de coloríficos**. MME – Ministério de Minas e Energia, 2009. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano\\_duo\\_decenal/a\\_transformacao\\_mineral\\_no\\_brasil/P43\\_RT70\\_Perfil\\_de\\_Colorifxcios.pdf](http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_transformacao_mineral_no_brasil/P43_RT70_Perfil_de_Colorifxcios.pdf). Acesso em: 03 ago 2013.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – CONSEMA. Resolução nº 002, de 25 de fevereiro de 2010. Define e estabelece critérios de funcionamento das atividades de coleta, armazenamento e destinação das embalagens plásticas de óleo lubrificantes usadas no Estado de Santa Catarina. **D.O.E.**, Florianópolis, SC, 2010. Disponível em: [http://www.famcri.sc.gov.br/legislacao/resol\\_consema\\_2006\\_2.pdf](http://www.famcri.sc.gov.br/legislacao/resol_consema_2006_2.pdf). Acesso em: 23 set. 2013.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. Resolução nº 126, de 29 de junho de 2011. Estabelecer diretrizes para o cadastro de usuários de recursos hídricos e para a integração das bases de dados referentes aos usos de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. **D.O.U.**, Brasília, DF. Disponível em: [http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=14](http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=14). Acesso em: 17 out. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 03, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. **D.O.U.**, Brasília, DF, 22 ago. 1990. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>. Acesso em: 25 set. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 275, de 25 de abril de 2001. Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. **D.O.U.**, Brasília, DF, 19 jun. 2001. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res01/res27501.html>. Acesso em: 25 out. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. **D.O.U.**, Brasília, DF, 29 out. 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=335>. Acesso em: 22 set. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 362, de 23/06/2005. Estabelece novas diretrizes para o recolhimento e destinação de óleo lubrificante usado ou contaminado. **D.O.U.** Brasília, DF, 27 jun. 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res36205.xml>. Acesso em: 26 out. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 401, de novembro de 2008. Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências. **D.O.U.**, Brasília, DF, 05 nov. 2008. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=589>. Acesso em: 27 set. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 416 de 30 de Setembro de 2009. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. **D.O.U.**, Brasília, DF, 01 out. 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>. Acesso em: 23 set. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 430, de 13 maio de 2011. Dispõe sobre as condições a padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **D.O.U.**, Brasília, DF, 16 mai. 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 03 out. 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 436, de 22 de dezembro de 2011. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007. **D.O.U.**, Brasília, DF, 26 dez. 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=660>. Acesso em: 22 set. 2013.

CONSTANTINO, Alberto de Oliveira; ROSA, Sergio Eduardo Silveira da; CORRÊA, Abidack Raposo. **Panorama do setor de revestimentos cerâmicos**: área industrial. BNDES, 2006. 22 p. Disponível em: [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/rs\\_rev\\_ceramicos.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/rs_rev_ceramicos.pdf). Acesso em: 29 set. 2013.

DI BERNARDO, Luiz; DI BERNARDO Angela; CENTURIONE FILHO, Paulo Luiz. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: RiMa, 2002. 237 p. ISBN 85-86552-31-3.

DONAIRE, Denis. **Gestão ambiental na empresa**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 169 p. ISBN 85-224-1260-X.

FRANÇA, Fernando A. **Instrumentação e medidas**: grandezas mecânicas. Campinas: UNICAMP, 2007. 249 p.

FRANÇA, Sílvia Cristina Alves; CASQUEIRA, Rui de Góes. Parte VI – Desaguamento: Capítulo 23 – Ensaio de sedimentação. *In*: SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina Alves; BRAGA, Paulo Fernando Almeida. **Tratamento de minérios**: práticas laboratoriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. p. 391-408. ISBN 978-85-61121-02-0.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA – FATMA. **Instrução Normativa nº 13**. Captação de água subterrânea. Disponível em: [http://www.fatma.sc.gov.br/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=32&Itemid=83](http://www.fatma.sc.gov.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=32&Itemid=83). Acesso em: 22 out. 2013.

GASI, Tânia Mara Tavares; FERREIRA, Edson. Produção mais limpa. *In*: VILELA JÚNIOR, Alcir; DEMAJOROVIC, Jacques. **Modelos e ferramentas de gestão ambiental**: desafios e perspectivas para as organizações. São Paulo: SENAC, 2006. 396 p. ISBN 8573594977.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Portaria nº 85, de 17 de outubro de 1996. Dispõe sobre a criação e adoção de um Programa Interno de Autofiscalização da Correta Manutenção da Frota quanto a Emissão de Fumaça Preta a toda Empresa que possuir frota própria de transporte de carga ou de passageiro. **D.O.U.**, Brasília, DF. Disponível em: [http://www.cntdespoluir.org.br/Documents/PDFs\\_Legislacao/9portaria\\_ibama-85-96.pdf](http://www.cntdespoluir.org.br/Documents/PDFs_Legislacao/9portaria_ibama-85-96.pdf). Acesso em: 15 out. 2013.

MIRANDA, Luis Alcides Schiavo; MONTEGGIA, Luiz Olinto. **Abastecimento de água**: sistemas e processos de tratamento de águas de abastecimento. Porto Alegre: 2007. 148 p.

MONDO, Tiago Savi. **Estudo para reaproveitamento de rejeito cerâmico na produção de esmaltes**. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação de Tecnologia em Cerâmica. Criciúma: UNESC, 2008. 69 f.

MOREIRA, Maria Suely. **Estratégia e implantação de sistema de gestão ambiental**: modelo ISO 14000. Belo Horizonte: DG, 2001. 286 p. ISBN 8586948314.

NAIME, Roberto. **Diagnóstico ambiental e sistemas de gestão ambiental**: incluindo a atualização da série ISO 9000 e as novas NBR 14001/2004 e NBR ISO 19011/2002. Novo Hamburgo: Feevale, 2005. 164 p. ISBN 8586661813.

NANDI, Vitor de Souza; *et al.* Caracterização de resíduo sólido de ETE da indústria cerâmica de revestimento. **Cerâmica Industrial**, v. 17, n. 2, p. 32-35, 2012.

NASCIMENTO, Christine Rabello. Parte VII – Escoamento de fluídos: Capítulo 25 - Ensaio em reômetro rotacional tipo cilindros coaxiais. *In*: SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina Alves; BRAGA, Paulo Fernando Almeida. **Tratamento de minérios**: práticas laboratoriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. p. 423-447. ISBN 978-85-61121-02-0.

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 4. ed. Aracaju: J. Andrade, 2004. 298 p.

OLIVEIRA, Alexandre Maximiano de. **Reutilização de sobras de esmalte viabilizando a redução de custo e formulando engobes**. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação de Tecnologia em Cerâmica. Criciúma: UNESC, 2005.

OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes de; HOTZA, Dachamir. **Tecnologia de fabricação de revestimento cerâmicos**. Florianópolis: UFSC, 2011. 118 p. ISBN 9788532805829.

OLIVEIRA, Maria Cecília de; MAGANHA, Martha Faria Bérnils. **Cerâmica branca e de revestimento**: guia técnico ambiental da indústria – série P+L. São Paulo: CETESB/FIESP, 2008. 84 p. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao\\_limpa/documentos/ceramica.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/documentos/ceramica.pdf). Acesso em: 01 set. 2013.

PINTO, Marcelo Antônio Teixeira; FORESTI, Eugênio; MARQUES JÚNIOR, José. Reúso das águas residuárias: uma análise crítica. *In*: SANTOS, Maria de Lourdes Florencio dos; BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier; AISSE, Miguel Mansur (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 393-403. ISBN 8570221525.

POSSA, Mario Valente; LIMA, José Renato Baptista de. **Comportamento reológico de polpas de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2000. 37 p.

POSSA, Mario Valente; NASCIMENTO, Christine Rabello. Capítulo 14 – Reologia no tratamento de minérios. *In*: SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina Alves; BRAGA, Paulo Fernando Almeida. **Tratamento de minérios**: práticas laboratoriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. p. 595-634. ISBN 978-85-61121-02-0.

PRACIDELLI, Sebastião. Estudo dos esmaltes cerâmicos e engobes. **Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 1/2, p. 8-20, 2008.

RAVAGLIOLI; ZANNINI. **Reologia cerâmica aplicada**. Bologna: Società Ceramica Italiana/Faenza Editrice, s.d. 284 p.

RICHTER, Carlos A.; AZEVEDO NETTO, José M. de. **Tratamento de água: tecnologia avançada**. São Paulo: Edgard Blücher, 1991. 332 p. ISBN 85-212-0053-6.

SAMPAIO, João Alves; SILVA, Fernanda Arruda Nogueira Gomes da. Parte I – Introdução: Capítulo 2 - Determinação das densidades de sólidos e de polpa. *In*: SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina Alves; BRAGA, Paulo Fernando Almeida. **Tratamento de minérios: práticas laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. p. 35-51. ISBN 978-85-61121-02-0.

SANTA CATARINA. Decreto nº 4.778, de 11 de outubro de 2006. Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos, de domínio do Estado, de que trata a Lei Estadual nº 9.748, de 30 de novembro de 1994, e estabelece outras providências. **D.O.E.**, Florianópolis, SC, 2006. Disponível em: <http://server03.pge.sc.gov.br/LegislacaoEstadual/2006/004778-005-0-2006-002.htm>. Acesso em: 21 out. 2013.

SANTA CATARINA. Lei nº 11.347, de 17 de janeiro de 2000. Dispõe sobre a coleta, o recolhimento e o destino final de resíduos sólidos potencialmente perigosos que menciona, e adota outras providências. **D.O.E.**, Florianópolis, SC, 2000. Disponível em: [http://200.192.66.20/alesc/docs/2000/11347\\_2000\\_lei.doc](http://200.192.66.20/alesc/docs/2000/11347_2000_lei.doc). Acesso em: 26 out. 2013.

SANTA CATARINA. Lei nº 14.496, de 7 de agosto de 2008. Dispõe sobre a coleta, o recolhimento e o destino final das embalagens plásticas de óleos lubrificantes e adota outras providências. **D.O.E.**, Florianópolis, SC, 2008. Disponível em: [http://200.192.66.20/alesc/docs/2008/14496\\_2008\\_lei.doc](http://200.192.66.20/alesc/docs/2008/14496_2008_lei.doc). Acesso em: 21 out. 2013.

SANTA CATARINA. Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. **D.O.E.**, Florianópolis, SC, 2009. Disponível em: [http://www.famcri.sc.gov.br/legislacao/leiestadual\\_14675.pdf](http://www.famcri.sc.gov.br/legislacao/leiestadual_14675.pdf). Acesso em: 05 out. 2013.

SANTA CATARINA. Lei nº 15.251, de 03 de agosto de 2010. É vedado o ingresso, no Estado de Santa Catarina, de resíduos sólidos com características radioativas e de resíduos orgânicos que apresentem riscos fitossanitários, tais como a disseminação de febre aftosa ou outras zoonoses. **D.O.E.**, Florianópolis, SC, 04 ago. 2010. Disponível em: [http://200.192.66.20/alesc/docs/2010/15251\\_2010\\_lei\\_promulgada.doc](http://200.192.66.20/alesc/docs/2010/15251_2010_lei_promulgada.doc). Acesso em: 25 set. 2013.

SANTA CATARINA. Lei nº 15.442, de 18 de janeiro de 2011. Altera a ementa e os arts. 1º, 2º, 3º e 4º da Lei nº 15.251, de 2010. **D.O.E.**, Florianópolis, SC, 18 jan. 2011. Disponível em: [http://200.192.66.20/alesc/docs/2010/15251\\_2010\\_lei\\_promulgada.doc](http://200.192.66.20/alesc/docs/2010/15251_2010_lei_promulgada.doc). Acesso em: 25 set. 2013.

SEIFFERT, Mari Elizabete Bernardini. **ISO 14001 sistemas de gestão ambiental: implantação objetiva e econômica**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 258 p. ISBN 9788522447701.

TROES VELHO, Pedro Luiz; BERNARDIN, Adriano Michael. Reaproveitamento de lodo de ETE para produção industrial de engobes. **Cerâmica Industrial**, v. 16, n. 2, p. 20-23, 2011.

VIANNA, Marcos Rocha. **Casas de química para estações de tratamento de água**. 2. ed. Belo Horizonte: Imprimatur Artes, 2001. 190 p.

**APÊNDICE A** – *Ckeck list* de diagnóstico ambiental  
(publicação não autorizada – 43 f.)