

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC**

**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**EDUARDO BÚRIGO PADOIN**

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO GERADO POR ETE DO  
PROCESSO DE ANODIZAÇÃO DO ALUMÍNIO EM CERÂMICA  
VERMELHA**

**CRICIÚMA, JUNHO DE 2011**

**EDUARDO BÚRIGO PADOIN**

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO GERADO POR ETE DO  
PROCESSO DE ANODIZAÇÃO DO ALUMÍNIO EM CERÂMICA  
VERMELHA**

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

Orientador: Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin

**CRICIÚMA, JUNHO DE 2011**

**EDUARDO BÚRIGO PADOIN**

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO GERADO POR ETE DO  
PROCESSO DE ANODIZAÇÃO DO ALUMÍNIO EM CERÂMICA  
VERMELHA**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em tratamento e destino final de resíduos sólidos.

Criciúma, 21 de junho de 2011

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Adriano Michael Bernardin - Dr. – (UNESC) - Orientador

Prof. Elídio Angioetto – Dr. - (UNESC)

Prof. Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffmann – MSc. – (UNESC)

**Dedico este trabalho aos meus pais que me deram esta oportunidade e todo o apoio para concluir minha faculdade.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida e por iluminar meus caminhos no decorrer dela.

Aos meus pais e irmão por todo carinho e amor recebido.

Ao meu orientador Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin, pela atenção, tranquilidade e conhecimentos passados durante esse período.

O meu reconhecimento todo especial, a todos os professores do curso de Engenharia Ambiental da UNESC e UNIVALI que contribuíram para minha formação acadêmica.

Aos meus amigos e colegas que fiz durante o tempo de faculdade, foram pessoas que me ajudaram a ser um engenheiro ambiental.

Aos meus amigos que estão sempre do meu lado. Em especial ao Fernando Bettiol e Cléber Zavarize que me deram toda ajuda possível para que conseguisse desenvolver este trabalho.

Não posso deixar de agradecer a todo pessoal do SINDICER de Morro da Fumaça, em especial ao Sergio Pagnan, Paulo Fernandes e Wagner Benedet que apoiaram meu projeto e disponibilizaram laboratório, equipamentos e ajuda necessária para o desenvolvimento do trabalho.

Muito Obrigado a Todos!

**"Para realizar grandes conquistas, devemos não apenas agir, mas também sonhar; não apenas planejar, mas também acreditar."**

**Anatole France**

## RESUMO

O presente trabalho estudou a possibilidade de introdução de uma produção mais limpa na indústria de cerâmica vermelha, através de um processo de reciclagem externa com a utilização de uma nova matéria-prima. Neste estudo utilizou-se o resíduo proveniente da estação de tratamento do processo de anodização de alumínio, sendo este, um resíduo com pouca aplicação tornando-se um problema ambiental para as empresas beneficiadoras de alumínio. O reaproveitamento tem como finalidade a redução da demanda por matéria-prima (argila), dos custos de produção do tijolo e telha, a diminuição de rejeitos que são enviados a aterros e, conseqüentemente, a diminuição de um considerável impacto ambiental.

Foram realizados ensaios de caracterização do resíduo e das massas, onde foram contempladas, além dos principais ensaios físicos de cunho cerâmico, as análises químicas dos principais óxidos. Após testes preliminares, foram formulados e queimados em laboratório corpos-de-prova com a mistura do lodo com as massas padrões de produção de argila e telha, em percentuais de 5, 10 e 15% em massa. Com base nos resultados, eles demonstraram que a adição do resíduo cerâmica para telhas não alterou a densidade aparente. Com relação às propriedades tecnológicas de queima, a adição do lodo elevou os valores de absorção de água e retração linear e diminuiu a resistência mecânica. Como houve variação dessas características nas formulações com lodo conforme a amostra padrão das massas, definiu-se para testes posteriores em escala industrial a dosagem de 10% de lodo para ambas as massas, em razão dos valores se encontrarem próximos ao padrão e se manterem acima do limite recomendado pela ABNT.

**Palavras-chave:** Anodização. Massa cerâmica. Resíduo. Telha. Tijolo.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma do processo produtivo da cerâmica vermelha.....	29
Figura 2 – Estoque de argila a céu aberto.....	31
Figura 3 – Silo de alimentação de argila.....	33
Figura 4 – Correia transportadora.....	33
Figura 5 – Vista parcial do hogeneizador.....	34
Figura 6 – Vista frontal do laminador.....	34
Figura 7 – Vista frontal da “maromba” destinada à produção de telhas.....	35
Figura 8 – Vista frontal do conjunto “maromba” e cortador destinado à produção de tijolos.....	35
Figura 9 – Vista parcial do sistema de corte para telhas.....	36
Figura 10 – Vista lateral da prensa.....	37
Figura 11 – Secagem de tijolo pelo método natural.....	38
Figura 12 – Vista frontal de estufa para a secagem de peças cerâmicas.....	38
Figura 13 – Queima de lenha em fornos de olaria.....	39
Figura 14 – Vista frontal de forno intermitente tipo “paulistinha”.....	40
Figura 15 – Vista lateral de forno contínuo.....	40
Figura 16 – Estocagem interna.....	41
Figura 17 – Plano de Cromaticidade.....	46
Figura 18 – Estufa laboratorial.....	48
Figura 19 – Triturador de martelos.....	51
Figura 20 – Procedimento de umidificação e mistura.....	51
Figura 21 – Prensa hidráulica manual.....	52
Figura 22 – Forno laboratorial.....	53
Figura 23 – Máquina universal de ensaios.....	56
Figura 24 – Difratograma do resíduo in natura.....	59
Figura 25 – Curva normal de distribuição do tamanho de partículas do resíduo.	60
Figura 26 – Curva normal de distribuição do tamanho de partículas da massa de tijolo.....	61
Figura 27 – Curva normal de distribuição do tamanho de partículas da massa de telha.....	62

Figura 28 – Traçado gráfico da retração de secagem das formulações com massa de tijolo.....	63
Figura 29 – Traçado gráfico da retração de secagem das formulações com massa de telha.....	63
Figura 30 – Traçado gráfico da retração de queima das formulações com massa de tijolo.....	64
Figura 31 – Traçado gráfico da retração de queima das formulações com massa de telha.....	65
Figura 32 – Traçado gráfico da retração total das formulações com massa de tijolo.....	66
Figura 33 – Traçado gráfico da retração total das formulações com massa de telha.....	66
Figura 34 – Traçado gráfico da perda ao fogo das formulações com massa de tijolo.....	67
Figura 35 – Traçado gráfico da perda ao fogo das formulações com massa de telha.....	68
Figura 36 – Traçado gráfico da absorção d'água das formulações com massa de tijolo.....	68
Figura 37 – Traçado gráfico da absorção d'água das formulações com massa de telha.....	69
Figura 38 – Traçado gráfico de resistência média à flexão das formulações com massa de tijolo.....	70
Figura 39 – Traçado gráfico de resistência média à flexão das formulações com massa de telha.....	70
Figura 40 – Traçado gráfico para a variação de tonalidade nas formulações com massa de tijolo.....	71
Figura 41 – Traçado gráfico para a variação de tonalidade nas formulações com massa de telha.....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Formulações das composições referentes à incorporação de resíduo de anodização às massas de telha e tijolo.....	50
Tabela 2 – Análise química das matérias-primas.....	58
Tabela 3 – Resumo do custo operacional mensal para a produção de 400.000 telhas (indústria cerâmica CEMAPA).....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA – Absorção de água

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

DRX – Difração de Raios X

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

EUA – Estados Unidos da America

FATMA – Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina

FRX – Fluorescência de Raios X

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

NBR – Norma Brasileira

NRM - Norma Reguladora da Mineração

P+L – Produção mais Limpa

PF – Perda ao Fogo

PIB – Produto Interno Bruto

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

SINDICER – Sindicato dos Ceramistas

SP – São Paulo

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1 Objetivos</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2 Justificativa e importância do estudo</b> .....	<b>16</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1 Produção mais Limpa</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2 Reciclagem</b> .....	<b>19</b>
<b>2.3 Cerâmica vermelha</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3.1 Histórico da cerâmica</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3.2 Processo Produtivo</b> .....	<b>27</b>
<b>2.3.2.1 Extração e preparo da matéria prima</b> .....	<b>30</b>
<b>2.3.2.2 Preparação da massa cerâmica</b> .....	<b>32</b>
<b>2.3.2.3 Conformação mecânica</b> .....	<b>34</b>
<b>2.3.2.4 Processamento térmico</b> .....	<b>37</b>
<b>2.3.2.5 Inspeção, estocagem e expedição</b> .....	<b>41</b>
<b>2.3.3 Cerâmica e Meio Ambiente</b> .....	<b>41</b>
<b>2.4 Resíduo do processo de anodização</b> .....	<b>43</b>
<b>2.4.1 Descrição geral do processo de anodização</b> .....	<b>43</b>
<b>2.4.2 Formação do lodo</b> .....	<b>43</b>
<b>2.5 Análises de matérias-primas</b> .....	<b>44</b>
<b>2.5.1 Análise química</b> .....	<b>44</b>
<b>2.5.2 Análise mineralógica</b> .....	<b>45</b>
<b>2.5.3 Análise física</b> .....	<b>45</b>
<b>2.5.4 Análise de variação da tonalidade</b> .....	<b>45</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>47</b>
<b>3.1 Resíduo da estação de tratamento de efluentes (ETE)</b> .....	<b>47</b>
<b>3.1.1 Umidade</b> .....	<b>47</b>
<b>3.1.2 Composição química</b> .....	<b>48</b>
<b>3.1.3 Composição mineralógica</b> .....	<b>48</b>
<b>3.1.4 Caracterização física</b> .....	<b>49</b>
<b>3.2 Massa de tijolo e de telha</b> .....	<b>49</b>

3.2.1 Umidade .....	49
3.2.2 Composição química .....	49
3.2.3 Tamanho de partículas .....	49
3.3 Formulações .....	50
3.3.1 Preparação dos corpos-de-prova das matérias-primas e das formulações cerâmicas .....	50
3.3.1.1 Mistura.....	50
3.3.1.2 Prensagem das massas.....	52
3.3.1.3 Secagem das peças .....	53
3.3.1.4 Queima das peças .....	53
3.3.2 Análise das formulações .....	53
3.3.2.1 Retração linear de secagem .....	54
3.3.2.2 Retração linear de queima.....	54
3.3.2.3 Retração total .....	54
3.3.2.4 Perda ao fogo .....	55
3.3.2.5 Absorção de água .....	55
3.3.2.6 Resistência mecânica à flexão.....	56
3.3.2.7 Cor de queima .....	56
3.3.3 Avaliação técnica, econômica e ambiental .....	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	58
4.1 Caracterização das matérias-primas .....	58
4.1.1 Umidade .....	58
4.1.2 Análise química do resíduo, massa de tijolo e massa de telha .....	58
4.1.3 Análise mineralógica do resíduo, massa de tijolo e massa de telha .....	59
4.1.4 Distribuição de tamanho de partícula do resíduo, massa de tijolo e massa de telha.....	60
4.2 Caracterização das Formulações .....	62
4.2.1 Retração linear de secagem .....	62
4.2.2 Retração linear de queima.....	64
4.2.3 Retração total .....	65
4.2.4 Perda ao fogo .....	67
4.2.5 Absorção d'água .....	68
4.2.6 Resistência mecânica à compressão .....	69
4.2.7 Cor de queima .....	71

<b>4.3 Avaliação técnica, econômica e ambiental .....</b>	<b>72</b>
<b>4.3.1 Avaliação técnica .....</b>	<b>72</b>
<b>4.3.2 Avaliação econômica .....</b>	<b>73</b>
<b>4.3.3 Avaliação Ambiental .....</b>	<b>74</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>76</b>
<b>5.1 Sugestões para trabalhos futuros .....</b>	<b>76</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO(S).....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXO A – Classificação do resíduo da ETE do processo de anodização de alumínio.....</b>	<b>83</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As questões ambientais mundiais estão cada vez mais em discussão, o crescente descaso ao meio ambiente vem chamando a atenção de todos principalmente nos últimos anos. O aumento constante da conscientização de preservação ambiental da sociedade gerou um crescimento das cobranças por melhorias ambientais e uma maior rigidez das legislações, fazendo com que as indústrias busquem novas metodologias e tecnologias que visem à preservação do meio ambiente.

Devido a isto, surgiram diversas técnicas com o objetivo de minimizar os problemas ambientais, dentre as quais podemos citar a Produção mais Limpa, conhecida também pela sigla P+L. Um conceito internacionalmente reconhecido como uma abordagem moderna e eficaz de se analisar e gerenciar os recursos de produção, dentro de uma visão preventiva e pró-ativa quanto à geração de resíduos e desperdícios (DOMINGUES, 2007 apud DA SILVA et all, 2008).

O setor industrial cerâmico estrutural é a base econômica de algumas cidades do sul do estado de Santa Catarina, mas sua tecnologia pouco avançada, a deficiência de fiscalização por parte de órgãos ambientais e a falta de incentivos ambientais as pequenas e médias empresas tornaram este setor um vilão do meio ambiente. Por este motivo, o presente trabalho visou à introdução de uma Produção mais Limpa na cerâmica vermelha, através de um processo de reciclagem externa.

Os resíduos são uma ameaça real ao meio ambiente, e ao próprio homem. Nas indústrias estes sempre foram considerados como um empecilho, pois nem sempre são reaproveitados, ou a eles é dado um destino ecologicamente correto, pois é um grande desafio dar fim a estes subprodutos. Com a maior restrição da legislação ambiental, referente ao tratamento e disposição final de resíduos, e os elevados custos com tratamento e disposição final, estão levando as indústrias a buscarem alternativas de recuperação e reaproveitamento desses resíduos.

A crescente produção de resíduos em conjunto com o risco de extinção das matérias-primas levou a necessidade de pesquisas na área de reaproveitamento de resíduos. A utilização de resíduos na cerâmica vermelha surge como opção viável, uma vez que possui alta produtividade e características técnicas capazes de incorporar uma variedade de elementos no seu processo produtivo. O uso de

resíduos industriais incorporados às massas argilosas como matéria-prima alternativa, contribui para minimização dos impactos ambientais, além de diminuir os custos com aterros ou destino apropriado.

Desta forma, o desenvolvimento deste trabalho teve como objetivo a utilização de resíduos industriais na produção cerâmica estrutural, diminuindo assim o consumo de matéria-prima natural, protegendo-se o meio ambiente de novas agressões. Neste estudo foi utilizado o lodo gerado na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) do processo de anodização de alumínio na fabricação de telhas e tijolos.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Estudar a possibilidade de implementação de Produção Mais Limpa na indústria de cerâmica vermelha por meio da reciclagem externa, inserindo resíduos provenientes de ETE do processo de anodização de alumínio como matéria-prima.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Abaixo estão descritos os objetivos específicos deste trabalho:

- buscar novas alternativas de matérias-primas de baixo custo para aplicação em massas de telhas cerâmicas;
- reduzir o consumo de argila na indústria de cerâmica vermelha;
- diminuir o impacto ambiental causado pela extração de argilas;
- contribuir para solucionar o problema ambiental gerado pelo volume de resíduo resultante a anodização de alumínio;
- apresentar os benefícios ambientais e econômicos obtidos com a implementação da Produção Mais Limpa através da reciclagem externa.

## 1.2 Justificativa e importância do estudo

A cerâmica vermelha possui grande importância na base econômica de algumas cidades do sul de Santa Catarina, como por exemplo, a de Morro da Fumaça. Porém, quando relacionado a questões ambientais, esse setor industrial sempre foi considerado como uma atividade problemática, principalmente por utilizar a exploração mineral, atividade causadora de modificações no meio ambiente.

Desde sua instalação em Santa Catarina a atividade industrial da cerâmica vermelha vem causando consideráveis alterações ambientais nos municípios onde se situa devido à extração sem planejamento da matéria-prima, associada a processos produtivos pouco desenvolvidos e à falta de fiscalização por parte dos órgãos ambientais. Desta forma, o presente trabalho objetiva desenvolver um estudo propondo uma alternativa que vise à Produção Mais Limpa neste setor industrial.

Como os argilominerais são a principal matéria-prima para a indústria cerâmica por serem responsáveis pelas características típicas dos produtos obtidos com esta atividade, como telhas e tijolos, a probabilidade de escassez desta matéria-prima em um futuro próximo é ocasionada pela crescente demanda por este recurso natural não renovável e pela extração muitas vezes feita sem um plano racional que busque o aproveitamento das reservas para uma exploração em longo prazo.

Neste sentido este trabalho baseia-se no estudo de uma proposta para a aplicação de reciclagem externa, pela utilização do resíduo gerado pela estação de tratamento de efluentes do processo de anodização de uma indústria de alumínio como uma nova matéria-prima a ser incorporada a massa bruta de cerâmica vermelha, visando uma menor demanda por argila e também disponibilizar um destino final adequado a este resíduo. A Produção mais Limpa através da reciclagem externa é deste modo, uma estratégia para a competitividade e continuidade desse setor industrial no mercado da construção civil.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Produção mais Limpa

A evolução das atividades industriais após a segunda guerra mundial, aliada ao crescimento populacional desorganizado, foram os grandes responsáveis pelo aumento da degradação ambiental no mundo. Motivados por isso, a partir da década de 1970 começaram a surgir os primeiros movimentos da ecologia profunda, promovendo uma urgente adoção de novos paradigmas para o desenvolvimento socioeconômico, buscando a sustentabilidade ecológica, tendo como um marco histórico a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo no ano de 1972, com o lema “Uma Terra Só” (MORIN, 1994 apud NUNES JUNIOR, 2002).

A partir dessa época surgiram diversas técnicas com o objetivo de minimizar estes problemas, dentre as quais pode ser citada a Produção mais Limpa.

Araújo (2004) cita que no ano de 1989 o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) desenvolveu o conceito de Produção Mais Limpa, como uma estratégia inovadora de prevenção ambiental a processos, produtos e serviços, de modo que visem o aumento da eficiência da produção e a redução dos riscos para o homem e o meio ambiente.

Ainda segundo o mesmo autor, a P+L foi introduzida no Brasil pela instalação do Centro Nacional de Tecnologias Limpas, na Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul, no ano de 1995. O seu conceito é definido por:

Produção mais Limpa é a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômicos (CNTL, 2003, p.7).

Para Henriques e Quelhas (2007) se define Produção mais Limpa como um sistema circular que utiliza menos materiais e recursos. Estes autores ressaltam o conceito como um programa do princípio de prevenção e precaução, por tratar das questões ambientais direcionadas a um produto de uma forma geral, abrangendo

todo o seguimento que o envolve, abordando que os problemas ambientais ocorrem conforme a demanda pelo recurso aumenta.

As definições de Produção Mais Limpa são vistas por especialistas como um avanço nas estratégias ambientais industriais, por ser uma metodologia que busca resolver o problema desde a fonte geradora e não somente depois da geração do resíduo, como é comum em técnicas de fim de tubo, utilizadas normalmente para solucionar questões ambientais em indústrias. Dessa forma, evita-se o desperdício, tornando o processo mais eficiente e barato (MAROUN, 2003, apud HENRIQUES e QUELHAS, 2007).

Colaborando com Maroun (2003), Nunes Junior (2002, p.6) ressalta que:

A produção limpa chega como uma inovação nas estratégias das empresas, mudando a maneira de pensar e agir, tendo como objetivo aumentar a eficiência na utilização de matérias-primas, água e energia e a minimização dos resíduos gerados, obtendo um ganho econômico e ambiental. As tecnologias ambientais normalmente atuam no tratamento dos resíduos e emissões, sendo os problemas atacados no final do processo de produção. Esta técnica é chamada de técnica de fim de tubo, acarretando despesas adicionais para a empresa e uma série de problemas, como a produção de lodo no tratamento de efluentes.

A metodologia de Produção Mais Limpa considera a variável ambiental em todos os níveis da empresa. Mas isto não significa dizer que em sua implantação todo o sistema já instalado tenha que ser substituído ou descartado. Modificações e/ou instalações em alguns pontos críticos do empreendimento definidos em pré-avaliações, muitas vezes são soluções suficientes para indústrias já implantadas (DO VALLE, 1996, apud ARAÚJO, 2004).

Segundo CETESB (2008) a implantação de P+L traz benefícios significativos para todos envolvidos, desde um único indivíduo até mesmo ao planeta Terra. Mas o maior beneficiado é a própria empresa, pois a implantação desta pode significar redução de custos de produção; aumento de eficiência e competitividade; diminuição dos riscos de acidentes ambientais; melhoria das condições de saúde e de segurança do trabalhador; melhoria da imagem da empresa junto a consumidores, fornecedores, poder público, mercado e comunidades; ampliação de suas perspectivas de atuação no mercado interno e externo; maior acesso a linhas de financiamento; melhoria do relacionamento com os órgãos ambientais e a sociedade, entre outros.

## 2.2 Reciclagem

A geração de resíduos sólidos é um fenômeno inevitável que ocorre diariamente, ocasionando danos muitas vezes irreversíveis ao meio ambiente. O aumento da quantidade de resíduos reflete a velocidade com que se retiram recursos da natureza sem repor, consumindo parte deles e transformando a outra parte em sobras com características prejudiciais, superando a capacidade de absorção e reposição da natureza (STRAUCH, 2008).

Segundo Navarro (2001), análises e cálculos de ambientalistas baseados no crescimento populacional, no consumo e produção de bens e nas reservas conhecidas de matérias-primas estimam para a metade do século XXI uma escassez para a maioria das reservas utilizadas com maior frequência pelo homem para obtenção de matérias-primas.

A crescente idéia de preservação dos recursos naturais e a questão de saúde pública indicam que a gestão integrada de resíduos sólidos e processos de tecnologia limpa são caminhos ambientalmente saudáveis, economicamente viáveis e tendem a ser cada vez mais demandados pela sociedade (SILVA, 2011).

A reutilização de materiais descartados como fonte de matéria-prima na indústria é conhecida como reciclagem. É um método utilizado para o abastecimento das indústrias consumidoras de matérias-prima, que visa à preservação do meio ambiente (MILANEZ, 2003), sendo um dos aspectos da Produção Mais Limpa.

Conforme Castro (2007) as práticas de reciclagem são classificadas em dois tipos:

- Reciclagem interna: quando os resíduos gerados durante o processo produtivo são utilizados dentro da própria empresa;
- Reciclagem externa: é a doação ou venda dos resíduos provenientes do processo produtivo para a utilização em outra empresa.

Para a CNTL (2007) a reciclagem de resíduos fora da empresa só deve ser implantada após as tentativas de redução na fonte e reciclagem interna. Normalmente, é mais vantajoso fechar os circuitos dentro da própria empresa; mas, se isto momentaneamente não for viável técnica e economicamente, então se deve buscar a reciclagem externa.

Mais do que uma esperança de lucro, a reciclagem deve ser visada como parte integrada de uma política ambiental de gerenciamento de resíduos, onde os

maiores ganhos decorrerão da redução de impactos ambientais e melhorias das condições de saúde pública (MILANEZ, 2003).

Existe um consenso mundial descrevendo que resíduos classificados como potencialmente agressivos não podem ter como forma de tratamento e destinação final a reciclagem. Para a garantia da segurança ambiental em tais procedimentos, alguns países já criaram normas obrigando testes nos resíduos utilizados como matéria-prima (USEPA, 1993, apud ANDREOLI, 2006). No Brasil não existem normas específicas, mas para a avaliação do resíduo pode ser utilizada a NBR 10004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas/ABNT.

A ABNT NBR 10004, (2004) classifica os resíduos conforme periculosidade em perigosos (classe I) e não perigoso (classe II), porém os resíduos não perigosos podem ser classificados em não-inertes (classe II A) e inertes (classe II B).

Conforme Andreoli (2006), a prática da reciclagem na construção civil surgiu de forma efetiva na década de 1980 em países industrializados, com a finalidade de adequar ambientalmente o destino final de resíduos que por procedimentos simples de segurança não forneceria riscos ao meio ambiente. Essa técnica vem se materializando como uma prática sustentável, minimizando riscos de impactos ambientais e reduzindo custos de produção no setor.

O mesmo autor ainda cita que a indústria de construção civil se enquadra no conjunto de atividades que possuem facilidade no reaproveitamento ou utilização dos próprios resíduos sólidos gerados no seu processo produtivo ou os gerados em outros setores industriais, que até então eram considerados materiais inúteis e problemáticos. A utilização de resíduos tem se mostrado como uma atividade tecnicamente promissora na absorção de novos materiais na construção civil, pois a reciclagem é uma prática ambientalmente correta, que visa diminuir o consumo de recursos naturais, transformar resíduos em recursos e assim reduzir os custos e danos ambientais decorrentes de práticas inadequadas de disposição final.

No Brasil a reutilização de resíduos na indústria de construção civil ainda se encontra na fase de pesquisa, diferente dos países industrializados, como EUA e alguns países europeus e asiáticos, onde essa prática é habitual. Podem-se destacar como causas disto a falta de tecnologia adequada e de integração da pesquisa brasileira com a internacional (MENEZES et al 2002, apud ANDREOLI, 2006).

Reportagem da revista ANICER, Lei de Resíduos (2011) comenta que a lei brasileira incentiva a utilização de insumos de menor agressividade ao meio ambiente e de maior sustentabilidade, estimula o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis, e propicia que as atividades produtivas alcancem eficiência e sustentabilidade, incentivando as boas práticas socioambientais.

A indústria cerâmica tem ganhado destaque em pesquisas com incorporação de resíduos, devido a sua grande facilidade de aceitar novos materiais como componentes de sua matéria-prima. Isto se deve a natureza de suas massas argilosas ser heterogêneas, aceitando diversos tipos de resíduos, mesmo em quantidades significativas (OLIVEIRA 2004, apud ANDREOLI, 2006).

A incorporação de resíduos nos processos cerâmicos implica sempre na obtenção de três vantagens: a reciclagem e inertização dos resíduos freqüentemente poluentes e de difícil eliminação, economia de matérias-primas e conseqüente aumento da vida útil das jazidas e redução de custos (CHIODI FILHO, 2001).

O crescente número de Estações de Tratamento de Efluentes e conseqüentemente o aumento do resíduo gerado tem levado ao desenvolvimento de novos processos, de modo a atender aos requisitos ambientais, de segurança e saúde pública. Este lodo tem feito parte de muitos estudos para sua incorporação na indústria cerâmica, um exemplo pode ser dado por Moreira et al (2001, apud ANDREOLI, 2006), que desenvolveram uma metodologia para utilização de lodo têxtil, chegando à conclusão que é possível obter materiais de construção com boas propriedades mecânicas usando esse tipo de resíduo.

Silva, (2011) cita o estímulo ao uso de resíduos por meio de premiações, destacando o primeiro lugar de Alexandre Schweickardt no IX Prêmio Alcoa de Inovação em Alumínio no ano de 2010. Ele descobriu uma alternativa econômica viável para o acúmulo de lodo provindo da ETE de uma indústria de alumínio, introduzindo-o como matéria-prima na fabricação de tijolos.

Outro prêmio citado na revista é o Prêmio Internacional de Sustentabilidade “*Green Talents 2010*”. Conquistado pela engenheira de materiais Janaína Junkes, da Universidade Federal de Santa Catarina, por ter desenvolvido um método que utiliza quatro diferentes tipos de rejeitos para a produção cerâmica.

## 2.3 Cerâmica vermelha

### 2.3.1 Histórico da cerâmica

Segundo Araújo (2000, p.108), “dá-se o nome de cerâmica à “pedra” artificial obtida por meio da moldagem, secagem e cozedura de argila ou mistura contendo argila”.

Estudiosos afirmam que a cerâmica é a mais antiga das indústrias, pois ela nasceu no momento em que o homem começou a utilizar-se da argila endurecida pelo fogo, antes do período cristão. Estudos arqueológicos indicam a ocorrência de utensílios cerâmicos a partir do período Pré-Neolítico (25.000 a.C.) e de materiais de construção, como tijolos, telhas e blocos, por volta de 5.000 a 6.000 a.C. (SEBRAE, 2008).

Para a ANFACER (2011) a cerâmica passou a substituir a pedra trabalhada, a madeira e mesmo os utensílios domésticos feitos muitas vezes de frutos. As primeiras cerâmicas que se tem notícia são da Pré-História: vasos de argila, sem asa, que tinham cor de argila natural ou eram escurecidas por óxidos de ferro.

O registro das cerâmicas mais antigas é o de algumas peças encontradas no Japão: arqueólogos estimam que sejam peças do final do período Neolítico ou da pedra polida, e que esta atividade começou neste país e espalhou-se pela Europa, tendo grande evolução na China e no Egito, onde em tumbas de faraós do Antigo Egito datadas em 5.000 a.C., foram encontrados vários vasos de cerâmica contendo vinho, óleos e perfumes para fins religiosos (ANFACER, 2011).

Conforme Facincani (2002), os primeiros tijolos queimados datam de 3.000 a.C., cuja aplicação estava voltada a revestimentos externos de grandes construções monumentais e muros de proteção, apesar da técnica ter se desenvolvido séculos antes, especialmente na queima de utensílios domésticos. E entre 1.600 e 1.100 a.C. foram encontrados alguns exemplares de tijolos queimados, nas áreas onde se encontrava a Babilônia; neste mesmo local a própria Bíblia registra o uso de tijolos na construção da Torre de Babel. Este mesmo autor cita que a partir de 700 a.C. já são encontrados tijolos queimados em muitas obras e monumentos de grande importância.

SEBRAE (2008) informa que há registros da utilização da cerâmica por volta de 430 a.C., quando foram encontrados vestígios da utilização de telhas na Grécia, China e Japão, e em torno de 280 a.C. na Roma antiga houve a utilização de argila cozida para construção de telhados, assim como para fabricação de divindades, objetos ornamentais e artefatos utilitários.

Facincani (2002) ainda ressalta a importância de destacar como as construções em cerâmica vermelha acompanharam o desenvolvimento de muitas civilizações, dando formas diversas e sugestivas às particulares imposições arquitetônicas.

No Brasil a atividade cerâmica começou antes mesmo da colonização portuguesa. Segundo SEBRAE (2008), existia no país a atividade de fabricação de cerâmicas, representada por potes, baixelas e outros artefatos cerâmicos.

Segundo ANFACER (2011):

A cerâmica no Brasil teve sua origem na cultura indígena, estudos arqueológicos indicam a presença de uma cerâmica mais simples, que ocorreu na região amazônica por volta de 5.000 anos atrás, o índio conseguiu criar uma cerâmica de valor, que dá a impressão de superação dos estágios primitivos da Idade da Pedra e do Bronze. Os índios aborígenes já tinham firmado a cultura do trabalho em barro quando Cabral aqui aportou, por isso, os colonizadores portugueses, instalando as primeiras olarias nada de novo trouxeram, mas estruturaram e concentraram a mão-de-obra.

A indústria Cerâmica possui um papel importante na economia do país, onde representa 1% na participação do PIB, movimentando anualmente cerca de 6,4 bilhões dólares em toda a cadeia produtiva. A abundância de matérias-primas, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas introduzidas nos equipamentos industriais proporcionou à indústria cerâmica brasileira uma rápida evolução e a expansão da qualidade dos produtos, atingindo níveis mundiais, possibilitando a abertura do mercado externo (ABCERAM, 2011).

O setor cerâmico brasileiro é bastante diversificado e pode ser dividido nos seguintes segmentos: Cerâmica Vermelha, Cerâmica de Revestimento, Materiais Refratários, Louça Sanitária, Isoladores Elétricos de Porcelana, Louça de Mesa, Cerâmica Artística (decorativa e utilitária), Cerâmica Técnica e Isolantes Térmicos. Além disso, existem fabricantes de matérias-primas sintéticas para cerâmica (como alumina calcinada, alumina eletrofundida, carbetos de silício e

outras), Colorifícios (vidrados e pigmentos), gesso, equipamentos e alguns produtos químicos auxiliares (ABCERAM, 2011).

Entende-se por cerâmica vermelha ou de alvenaria aquela que produz materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil e também de uso doméstico e adorno. Pertencem a esse grupo as olarias e fábricas de louças de argila.

Os relatos do desenvolvimento da cerâmica vermelha no Brasil são que no ano de 1575 há indícios do uso de telhas na formação da vila que viria a ser a cidade de São Paulo, SP, devido à chegada de Tomé de Sousa ao país no ano de 1549, estimulando a produção de material de construção para o desenvolvimento de cidades mais bem planejadas e elaboradas. Em 1893 na cidade de São Paulo imigrantes franceses, naturais de Marselha, fundaram a primeira grande fábrica de produtos cerâmicos do Brasil, onde fabricavam as telhas que são conhecidas até hoje por “francesas” ou “marselhesas” devido a essa origem (SEBRAE, 2008).

Segundo o Anuário Brasileiro de Cerâmica, no Brasil existem cerca 11 mil unidades produtoras de cerâmica vermelha, caracterizadas pelo uso intensivo de mãos de obra e por suas plantas serem constituídas por microempresas familiares e com atividades artesanais, conhecidas como olarias. Outra parte considerável é composta por empresas de pequeno e médio porte, utilizando em sua grande maioria tecnologia ultrapassada, tanto em equipamento, quanto em processo (ANDREOLI, 2006).

Segundo Abreu et al (2000, apud ANDREOLI, 2006), a localização destas cerâmicas é determinada pela localização da jazida (devido o grande número de matéria-prima processada) e a proximidade de grandes centros consumidores em função da massa e do volume dos produtos.

No estado de Santa Catarina a cerâmica foi introduzida pelos imigrantes europeus, chegando ao litoral com os açorianos e no interior com os alemães e italianos. Na vinda dos imigrantes vieram muitos oleiros, porém, por motivos de sobrevivência, eles dedicaram-se à agricultura e só mais tarde, quando já estavam estabelecidos é que passaram a cultivar a sua profissão, surgindo as primeiras olarias (SPADER, 2009).

A primeira produção foi iniciada em 1919 na cidade de Imbituba pelo carioca Henrique Lage, que montou no município uma fábrica de louças que abastecia os próprios navios que faziam a rota Rio – Imbituba - Porto Alegre. Por ser

um grande admirador da cerâmica italiana, Lage trouxe da Itália técnicos para ajudá-lo no desenvolvimento de novos produtos, e em 1925 a fábrica passou a produzir azulejos (GOULARTI FILHO, 2007).

O mesmo autor ainda ressalta que após a instalação da primeira cerâmica do Estado em Imbituba, as três próximas também foram montadas em cidades do sul entre os anos de 1947 a 1954, em Criciúma, Urussanga e Cocal do Sul respectivamente. A produção da cerâmica catarinense não se baseava só em azulejos, pois nos anos 1960 havia também na região sul pequenas fábricas de ladrilhos, localizadas em Criciúma, Morro da Fumaça e Içara.

Na região sul do Estado a atividade cerâmica, com destaque para a cerâmica vermelha ou de alvenaria, foi implantada por colonizadores italianos. Os conhecimentos das técnicas de produção trazidos da Europa, junto à abundância de matéria-prima encontrada na região, determinaram a expansão da produção ceramista em alguns municípios, como por exemplo, o de Morro da Fumaça, que se destaca ainda hoje por ser um dos principais pólos cerâmicos do Estado (SANTA CATARINA, 1990).

Um grande favorecimento para o desenvolvimento dessa atividade cerâmica no sul do Estado é a ocorrência de argilas apresentando variáveis teores de impurezas, como disseminações de quartzo, micas, pirita, matéria orgânica, fragmentos de rochas, hidróxidos de ferro e outros (PROGESC, 1995).

O sul de Santa Catarina registra uma das maiores concentrações de produção cerâmica, e com o aumento deste setor os problemas ambientais se agravam; porém a cerâmica estrutural é considerada pela FATMA, conforme o item 10.40.10 da resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA nº. 01/06 – uma atividade de médio potencial poluidor. O Sindicato da Indústria de Cerâmica Vermelha da Região Sul – SINDCER – atua nos municípios de Morro da Fumaça, Sangão, Jaguaruna, Treze de Maio, Cocal do Sul, Criciúma e Içara; totalizam 220 empresas, com 5.000 funcionários e uma produção mensal 80.000.000 (oitenta milhões) de tijolos e de 20.000.000 (vinte milhões) de telhas ao mês (PEREIRA, 2010, pag.3).

O município de Morro da Fumaça tem a cerâmica vermelha como marco inicial de suas atividades industriais; por muito tempo foram elas que impulsionaram a economia e conseqüentemente o desenvolvimento da cidade. Isso se deve ao expressivo volume de argila encontrado no município, sendo que de um total de 8.400 hectares de terra, 1/3 apresenta o solo glei húmico (argila), principal solo utilizado na produção de tijolos e telhas (MACCARI, 2005).

A primeira olaria do município foi fundada em 1832, por Olívio Cechinel, com um processo inicial de fabricação de tijolos auxiliados por bois. Posteriormente foram trocados por um motor movido a carvão mineral, aumentando sua produção de três mil para dez mil tijolos diariamente (MACCARI, 2005).

Atualmente são encontradas cerca de sessenta e uma olarias em Morro da Fumaça, no geral empresas de pequeno e médio porte, que geram cerca de 2.100 empregos diretos e 3.300 indiretos, com faturamento bruto mensal estimado em 1,5 milhões de reais. Estas indústrias destinam-se basicamente à produção de tijolos, telhas e lajotas (TEIXERA, 2007).

Maccari (2005) cita que as olarias, em sua maioria, são indústrias de tecnologias pouco desenvolvidas. Esse setor não conseguiu acompanhar a evolução tecnológica por ser formado muitas vezes por empresas familiares, onde os conhecimentos e as técnicas são passados informalmente de geração em geração.

O fraco desenvolvimento tecnológico aliado à inexistência de mão-de-obra qualificada com formação específica faz com que o proprietário deste setor assuma diversificadas funções dentro da empresa, como observa Vilar (1988, p.18):

[...] na cerâmica vermelha, raros são os empresários que fazem apropriação de custos ou que planejam a manutenção e, como é possível produzir materiais cerâmicos utilizando técnicas conhecidas, sem qualquer tipo de esforço adicional, não há porque se preocupar em investir na melhoria tecnológica do processo.

A diversidade de funções dentro das olarias estende-se aos operários, em geral pessoas com níveis de escolaridade baixos, não possibilitando a eles uma especialização do seu trabalho para assim atender às necessidades de produção.

Para tentar resolver este problema do setor cerâmico vermelha, Teixeira (2007) reforça que desde 2006 o SINDICER vem tentando despertar o interesse dos industriais na qualificação profissional por meio de um curso elaborado pelo Governo Federal já existente na região, para assim mudar este quadro informal dos trabalhadores.

Outra constatação lembrada pelo informe do Estado de Santa Catarina (1990) é que esse setor industrial é uns dos primeiros a sentir os efeitos de uma crise econômica, pois com a retração do mercado gerada pela crise faz com que a grande massa de mão-de-obra busque alternativas de sobrevivência em outros setores, com destaque a agricultura.

Devido às exigências do mercado e ao aparecimento de materiais alternativos, as empresas do setor, salvo algumas exceções, passam por uma fase onde a evolução é decisiva para a própria sobrevivência, e para que essa evolução ocorra é necessária a resolução de problemas que vão desde a extração de matéria-prima até a comercialização do produto final.

### 2.3.2 Processo Produtivo

A principal matéria-prima utilizada na cerâmica vermelha é a argila. A palavra argila é normalmente empregada para designar um material natural de textura terrosa e partículas finas que adquire, quando umedecido, certa plasticidade, tornando-se fácil de ser moldado. Posteriormente esta característica é perdida nos processos de secagem e queima, adquirindo resistência mecânica no produto acabado. Mineralogicamente, as argilas utilizadas na cerâmica vermelha são consideradas um resíduo ou refugio geológico, uma vez que são produtos da decomposição de rochas. Conforme Santos (1989) trata-se de uma mistura de argilominerais com uma variedade de impurezas orgânicas e inorgânicas.

Quimicamente, dá-se o nome de argila ao conjunto de minerais compostos principalmente de silicatos de alumínio hidratado ( $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), denominado caulim ou caulinita. O caulim origina-se, principalmente, da decomposição dos feldspatos pela ação do anidrido carbônico (SEBRAE, 2008).

Tecnicamente a argila corresponde à fração de solo ou sedimento composta de partículas coloidais de diâmetro inferior a 2  $\mu\text{m}$ . Do ponto de vista mineralógico, constituem-se em grande parte de argilominerais, contendo normalmente e em caráter subordinado, outros materiais e minerais associados, tais como: quartzo, feldspatos, micas, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, carbonatos, pirita, hematita, matéria orgânica, e outras impurezas. Os argilominerais são silicatos hidratados de alumínio, contendo outros elementos como magnésio, ferro, cálcio, potássio e sódio. Como resultado da natureza coloidal dos argilominerais, as argilas em presença de água adquirem plasticidade, propriedade que permite a conformação dos produtos estruturais cerâmicos (ANDREOLI, 2006, p.293).

Facincani (2002) aborda as argilas como responsáveis pelas características típicas dos materiais para cerâmica vermelha, como coesão, a plasticidade, a trabalhadade e a resistência mecânica a seco e após queima. A cor

vermelha característica desses materiais se deve aos altos teores de óxidos ou hidróxidos de ferro presentes na matéria-prima.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1995, apud ANDREOLI, 2006), e de acordo com Facincani (2002), o comportamento na moldagem, secagem e queima da massa argilosa utilizada para a produção de cerâmica está diretamente ligado aos diversos minerais presentes na composição da argila.

Pode-se dizer que as propriedades das argilas estão diretamente ligadas ao local de onde são extraídas. Geologicamente, a exploração de argila empregada a este setor industrial em Santa Catarina se desenvolve predominantemente em sedimentação quaternária, em especial nas planícies aluvionares de drenagens principais, depósitos que normalmente não apresentam continuidade lateral, possuem espessuras relativamente pequenas e são de baixa possança. As demais extrações ocorrem sobre sedimentos da bacia do Paraná e na alteração de rochas (SANTA CATARINA, 1990).

Segundo Maccari (2005), quanto ao local de extração as argilas são classificadas em argilas de várzeas, extraídas às margens de rios, e argilas de morro. Outra classificação ocorre na prática industrial como gordas e magras, conforme suas quantidades de colóides. Por essa razão, as argilas gordas são muito plásticas, e, devido à alumina, deformam-se muito mais durante a sinterização. As argilas magras devido ao excesso de sílica são mais porosas e menos plásticas (FALCÃO BAUER, 1988, apud ANDREOLI, 2006).

Conforme Teixeira (2007) 95% da argila extraída no município de Morro da Fumaça, com destinação à cerâmica estrutural, é em várzea e o restante em morros.

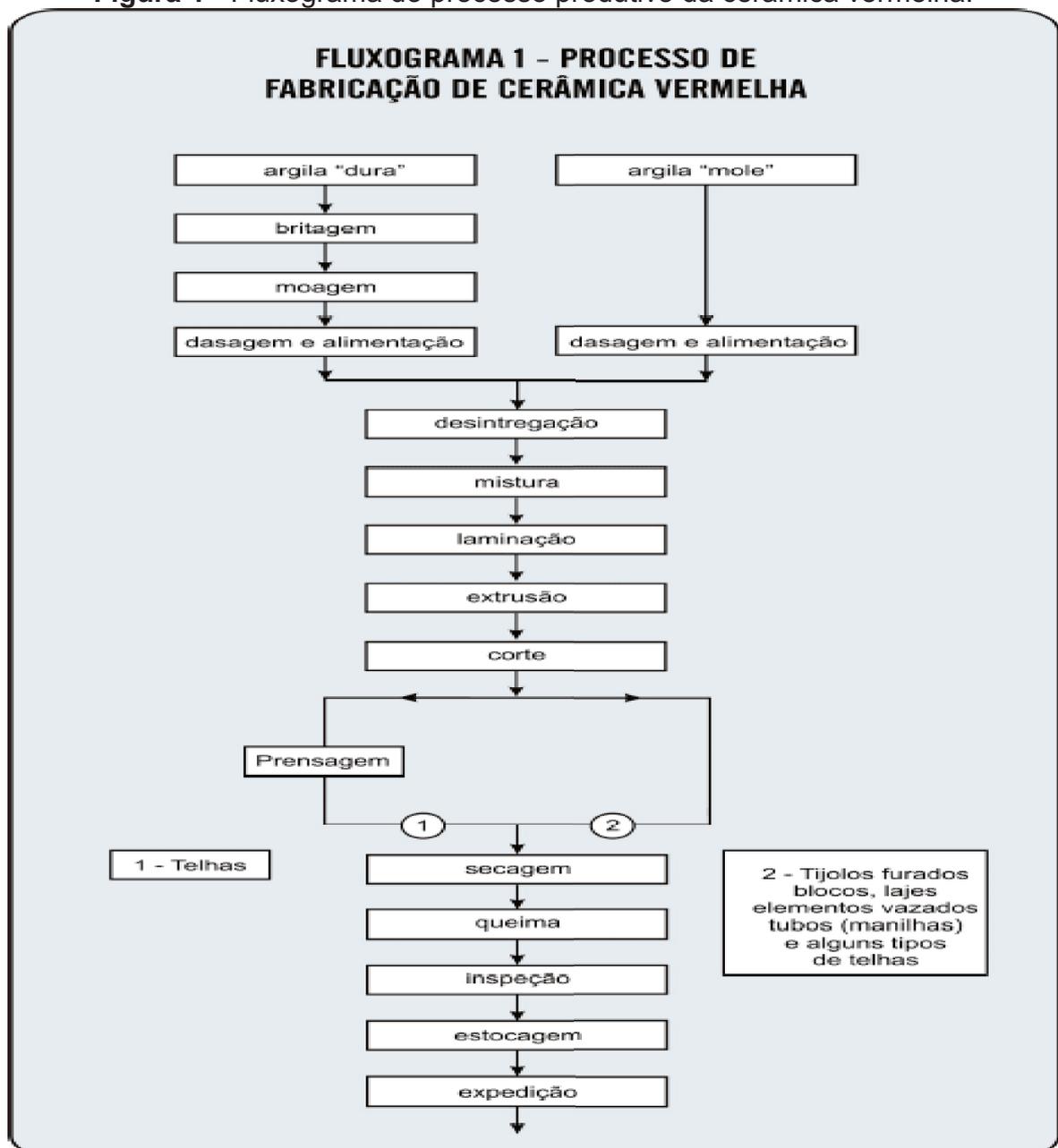
Andreoli (2006, p.294) conclui que as argilas para cerâmica vermelha devem possuir as seguintes características:

- permitir moldagem adequada e fácil desagregação;
- apresentar partículas finas e distribuição de partículas conveniente entre os argilominerais e os inertes (a fim de garantir o controle das dimensões finais do produto);
- apresentar razoável teor de matéria orgânica, que juntamente com a distribuição adequada, confere boa plasticidade e necessária resistência mecânica para evitar deformações durante o manuseio das peças cruas (também denominadas verdes)

- não conter ou apresentar baixo teor de carbonatos, sulfatos e sulfetos.

O processo produtivo cerâmico compreende várias etapas, que podem incluir desde a exploração da matéria-prima, preparação da massa bruta, passando pela homogeneização, destorroamento, desaeração, extrusão, corte, moldagem e secagem do material até sua queima. Na Figura 1 apresenta-se um fluxograma ilustrativo de todas as etapas do processamento e produção de cerâmica vermelha.

**Figura 1 - Fluxograma do processo produtivo da cerâmica vermelha.**



(Fonte: ABCERAM, 2011)

### 2.3.2.1 Extração e preparo da matéria prima

Grande parte da extração da matéria-prima destinada à produção de telhas e tijolos é feita pelas próprias empresas produtoras. Comumente essas são empresas que carecem de investimentos em modernização tecnológica, sendo necessário o aprimoramento do sistema de produção envolvendo a pesquisa mineral, a lavra e o beneficiamento. Também existem os que operam em desacordo com as normalizações, colocando em risco tanto o controle e a recuperação ambiental das áreas mineradas, quanto o próprio abastecimento do empreendimento (CABRAL JUNIOR et al, 2005).

A extração mineral deve ter como objetivo encontrar uma matéria-prima de alta qualidade. Para que isso ocorra são necessárias pesquisas e conhecimento da jazida. Uma boa estratégia para o empresário é pesquisar a vizinhança da sua área de lavra (MÁS, s.d.).

Toda extração começa pela legalização da jazida no Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, o qual exige o projeto do uso racional do subsolo. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA – ou a Fundação do Meio Ambiente do Estado – FATMA – exige o projeto de recuperação do solo. Deve ser planejada uma frente de extração para minimizar a agressão ambiental (MÁS, s.d.).

Para a extração de argila o método freqüentemente utilizado é o de lavra a céu aberto, onde muitas vezes esse método é praticado sem um plano de extração, que o DNPM define esta prática como “lavra ambiciosa”, sujeita à paralisação. A Norma Reguladora da Mineração NRM 02 (DNPM, 2001) impõe o seguinte para lavra a céu aberto:

Toda mineração deve estar sob supervisão de um profissional habilitado, com livros e mapas em dia, com sistema de estocagem de solo vegetal, estéreis e produtos. Toda mineração deve ser projetada. Existem documentos de apresentação semestral obrigatória. Existe um relatório anual. Existe uma altura máxima e um ângulo máximo das bancadas e taludes. Quando houver trabalhadores sob riscos de desabamento, os serviços acima e abaixo do talude devem ser paralisados. As áreas onde ocorrem deslizamentos devem ser interditadas. Devem existir acessos seguros. A geometria da cava e plantas geológicas devem ser atualizadas semestralmente. Deve existir um arquivo de plantas, com os limites das concessões, os perímetros das cavas, as faixas de segurança, as cotas, as áreas revegetadas, as áreas de riscos. Devem ser adotados procedimentos para a estabilidade dos taludes. Blocos desgarrados e trincas no topo de um banco, estruturas com taludes em sentido contrário, percolação de água

através de fraturas, são consideradas situações de riscos de desabamento. Após fortes chuvas, as frentes de trabalho devem ser inspecionadas.

Todas as técnicas de extração são eficientes quando conduzidas corretamente. Caso contrário, a condução de forma agressiva, sem controle e ação planejada, pode acarretar sérias modificações no equilíbrio ambiental do ecossistema.

Após a extração, transporte e estocagem, a matéria-prima deve ser beneficiada. A pré-elaboração ou preparação consiste em uma série de operações muito diferentes entre si, aptas a conduzir a matéria-prima, ou várias matérias-primas, do estado em que se encontram. O beneficiamento compreende processos de depuração ou purificação, divisão, homogeneização e obtenção da umidade adequada da matéria-prima (FACINCANI, 2002).

Conforme Más (s.d.), entende-se por depuração ou purificação a eliminação de impurezas que possam prejudicar o material, perturbar o processo mecânico posterior dando origem a uma secagem anormal e as que agem quimicamente de modo prejudicial, diminuindo a qualidade do produto final.

Empresas de maior estrutura estocam, a céu aberto, argilas por longos períodos de tempo, como mostra a Figura 2, para assim obter características adequadas ao seu processamento. Essa prática, conhecida por descanso ou apodrecimento, aproveita os processos de intemperismo para alterações químicas e descompactações da matéria-prima, benéficos ao processo produtivo, além de garantir a produção em épocas de muitas chuvas (SANTA CATARINA, 1990).

**Figura 2** – Estoque de argila a céu aberto, Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

### 2.3.2.2 Preparação da massa cerâmica

Para Verçosa, (1987), a preparação serve para se obter uma massa de argila com plasticidade uniforme e livre de torrões, a fim de formar em sua extrusão peças uniformes e livres de bolhas de ar. Entretanto, podem-se misturar argilas de diferentes características físico-químicas na busca da melhor qualidade de seu produto e com menor custo industrial.

O processo produtivo para a cerâmica vermelha em sua maioria prevê a fabricação de peças a partir da composição de duas ou mais argilas com características diferentes. Sendo assim, a dosagem da matéria-prima e dos aditivos é uma das etapas fundamentais do processo, que devem seguir com rigor as formulações de massa, previamente estabelecidas.

Na cerâmica vermelha o interesse recai na preparação de massas plásticas, principalmente para extrusão. A formulação da massa é feita com base na composição química das matérias-primas, na composição mineralógica, nos seus comportamentos físicos e físico-químicos. Para se formular uma massa recorre-se à análise química, mineralógica e ensaios físicos da matéria-prima, como também a testes de cor de queima, contração linear, resíduos em peneira, resistência à flexão ou compressão, dilatação térmica linear e absorção de água. Para garantir as propriedades finais do corpo cerâmico é fundamental o beneficiamento adequado da matéria-prima e a correção das suas propriedades físico-químicas. Isto se faz necessário para viabilizar sua conformação e seu manuseio a verde (ANDREOLI, 2006, p.321).

Nas olarias, as argilas são dosadas de acordo com a composição requerida e os tipos de argilas utilizadas, sem que os oleiros efetuem testes físicos de propriedades cerâmicas (SANTA CATARINA, 1990). As dosagens são feitas por volumes, caçambadas da pá carregadeira, e controladas pelo operador. Para que haja uma dosagem confiável é necessário que as matérias-primas individuais estejam em lotes separados (MÁS, s.d., p.35).

Argilas consideradas como duras passam por um desintegrador que efetua processos de britagem e moagem antes de ser incorporada à massa. Após as dosagens, a mistura de argila é descarregada em silos, chamados de “caixão alimentador” (Figura 3) manualmente ou por meio de carregadeiras hidráulicas.

**Figura 3** - Silo de alimentação de argila, chamado de "caixão alimentador", Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

Em seguida, com auxílio de uma correia transportadora (Figura 4), a massa segue para o homogeneizador (Figura 5), equipamento mecânico com dois eixos longitudinais e pás retas distribuídas ao longo dos eixos, que fazem a mistura, e um sistema de gotejamento de água na sua parte superior, umidificando e homogeneizando a massa.

**Figura 4** - Correia transportadora, Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

**Figura 5** - Vista parcial do homogeneizador, Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

Após a homogeneização da massa, em algumas empresas do setor, a argila passa pelo laminador (Figura 6), equipamento composto por rolos cilíndricos, com abertura entre 20 mm e 40 mm, que além de triturar por esmagamento as pedras ou torrões ainda não desfeitos, produz uma massa mais pastosa.

**Figura 6** - Vista frontal do laminador, Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

### **2.3.2.3 Conformação mecânica**

A mistura de argila devidamente homogeneizada e com umidade entre 18 e 30% segue para a etapa de conformação, onde é dada a característica geométrica

ao produto requerido. Os equipamentos utilizados nessa etapa são a extrusora, o cortador e a prensa, conforme o caso.

**Figura 7** - Vista frontal da “maromba” destinada à produção de telhas, Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

A extrusora, também denominada maromba (Figura 7 e Figura 8), tem como finalidade a compactação e a desaeração da massa. Consiste em um equipamento que faz passar uma coluna da massa compactada por meio de um dispositivo propulsor através de um bocal com o formato desejado. O mecanismo propulsor pode ser de cilindros, de pistão ou de hélices (ANDREOLI, 2006).

**Figura 8** - Vista frontal do conjunto maromba e cortador destinado à produção de tijolos, Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

A argila maciça compactada sai da “maromba”, segue pela correia transportadora e passa por um sistema de corte. No caso dos tijolos o sistema de corte é um fio de arame especial para corte unido a um sistema que vai para cima e para baixo simultaneamente, como pode ser visto na Figura 8. Para as telhas é um aparelho giratório acoplado a pás cortantes (Figura 9), cortando a argila maciça em tamanhos uniformes, na quantidade necessária para preencher o molde.

**Figura 9** - Vista parcial do sistema de corte para telhas, Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

No caso da fabricação de tijolos, a conformação termina na saída da maromba, com o cortador que define o comprimento do tijolo, pois a largura e os detalhes internos são definidos pela boquilha da maromba, que funciona como matriz (SANTA CATARINA, 1990).

Na conformação de telhas, após o corte dos cilindros de argila maciça projetados cuidadosamente para o retorno mínimo de massa, pela correia transportadora o bastão passa pela aplicação de um líquido desmoldante. Em seguida são encaminhados pela mesma até os funcionários que os colocam nas prensas (Figura 10), onde sofrem uma modelagem no formato da peça e logo após são acondicionadas em vagonetas ou prateleiras.

**Figura 10** - Vista lateral da prensa, Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

#### **2.3.2.4 Processamento térmico**

A etapa do processamento térmico é composta de duas operações: secagem e queima.

As peças chegam à etapa de secagem contendo grande volume de água, proveniente da preparação da massa. Esta consiste na redução da umidade das peças até uma umidade residual de 1 a 2%, que deve ser feita de forma lenta e gradual de modo a evitar tensões. Essa etapa é influenciada por diversos fatores, entre eles a temperatura, a umidade relativa do ar, a velocidade e a direção de aplicação do ar, a distribuição de tamanho de partículas da massa, a forma e dimensão das peças e o método de conformação (ANDREOLI, 2006).

Já no formato de tijolo ou telha, a massa segue para a secagem, que pode ocorrer pelo método natural, onde as peças acondicionadas nas prateleiras ou vagonetas permanecem em lugares cobertos, expostas ao calor do ambiente por até seis semanas, como mostra a Figura 11. Algumas indústrias posicionam as prateleiras ou vagonetas próximas às paredes dos fornos, para assim aumentar a temperatura ambiente (SANTA CATARINA, 1990).

**Figura 11** – Secagem de tijolo pelo método natural, Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

Outro método é a secagem forçada em secadores controlados, comumente estufas (Figura 12) aquecidas por fonte geradora de calor ou mesmo pela recuperação do calor do resfriamento dos fornos. As peças são aquecidas com calor úmido, a uma temperatura que pode variar entre 50°C e 150°C, e gradativamente diminui-se a temperatura ambiente (ANDREOLI, 2006).

**Figura 12** - Vista frontal de estufa para a secagem de peças cerâmicas, Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

Algumas empresas utilizam os dois métodos, primeiramente deixando as peças secar ao natural e depois as colocam em estufas, para assim evitar as tensões.

A segunda operação, dentro da etapa do processamento térmico, é realizada por fornos a uma temperatura de queima em torno de 800 graus centígrados.

Segundo Andreoli (2006), a queima é a etapa de maior importância na fabricação dos materiais cerâmicos, pois é nela que são determinadas as propriedades finais dos produtos, sendo realizada em fornos industriais de grandes capacidades e que utilizam diferentes tipos de combustíveis, tais como lenha, pó de serra, gás natural e outros. Esta etapa, além da temperatura alcançada, é influenciada pela velocidade de aquecimento, resfriamento, atmosfera ambiente, tipo de forno e combustível usado (Figura 13). Os defeitos provenientes das etapas anteriores se manifestam nessa etapa.

O mesmo autor ainda ressalta que um dos cuidados na queima é a uniformidade da distribuição de calor no forno, evitando que peças adquiram propriedades diferentes após queima. Outro cuidado deve ser o de obter temperaturas ideais, o que depende especificamente da composição da massa.

**Figura 13** - Queima de lenha em fornos de olaria, Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

Os fornos usados na cerâmica estrutural são classificados como: intermitentes e contínuos.

Os fornos intermitentes são fornos de câmara individuais, nos quais as peças a serem queimadas ficam em posição fixa durante todo ciclo (Figura 14). O combustível é queimado fora do forno sobre grelhas, e o calor é conduzido desde o teto por convecção para baixo, atravessando as pilhas de peças cerâmicas,

enquanto os fumos são eliminados pelas chaminés interligadas por dutos inferiores. O ciclo dura de quatro a cinco dias e geralmente a queima não é uniforme nesses fornos, o que dá diferentes características às peças, conforme o local em que são posicionadas dentro dos fornos, (SANTA CATARINA, 1990).

**Figura 14** - Vista frontal de forno intermitente tipo “paulistinha”, Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

Por sua vez nos fornos contínuos a queima geralmente utiliza gás natural como combustível, sendo realizada dentro do forno, e o produto a ser queimado movimenta-se continuamente durante todo o processo (Figura 15). São fornos mais avançados em termos de tecnologia, pela alta produção e padronização da peças.

**Figura 15** - Vista lateral de forno contínuo em cerâmica, Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

### 2.3.2.5 Inspeção, estocagem e expedição

A inspeção na maioria das fábricas é feita manualmente pelos próprios funcionários responsáveis pelo descarregamento dos fornos. A estocagem é feita dentro dos domínios internos e externos da empresa até a expedição (Figura 16). A expedição comumente é feita por transporte rodoviário utilizando-se caminhões e carretas.

**Figura 16** - Estocagem interna em olaria, Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

### 2.3.3 Cerâmica e Meio Ambiente

A indústria de cerâmica vermelha sempre foi considerada pela sociedade como uma inimiga do meio ambiente, ou seja, causadora de impactos ambientais. Isto ocorre porque há anos essa atividade vem deixando marcas na paisagem e na qualidade do ambiente do local onde se situam as olarias.

Conforme a Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA 01/06, no item 10.40.10, as atividades de fabricação de telhas, tijolos e outros artigos de argila cozida sem esmaltação são classificadas como empreendimentos de potencial poluidor médio para ar e pequeno para água e solo.

“As olarias são empresas de pequeno porte e não poderiam ser classificadas como indústrias potencialmente poluidoras se consideradas

individualmente, e sim em função da carga emitida pelo conjunto dessas atividades que se concentram em uma determinada área” (ECP, 1982).

São exemplos de impactos ambientais provocados pelas indústrias de cerâmica vermelha o lançamento de emissões atmosféricas sem nenhum tratamento prévio; áreas destinadas à extração de argila para a fabricação dos produtos serem degradadas sem nenhum plano de recuperação; resíduos sólidos gerados e descartados de forma incorreta; deficiência na informação e na sensibilização para com a saúde ambiental bem como a falta de gerenciamento empresarial na questão ambiental (CASAGRANDE, 2010).

Atualmente, por questões de ordem ambiental, econômica e social, um número crescente de cerâmicas vem se preocupando em buscar soluções para preservar o meio ambiente. A indústria moderna vem tomando consciência e assumindo sua responsabilidade ambiental, através da inclusão, no seu planejamento estratégico, do conceito de que todos nós temos que agir, de modo a minimizar e prevenir impactos ambientais negativos sobre o meio ambiente. A crescente introdução de práticas de prevenção à poluição e a busca de tecnologias mais limpas em diversos setores indústrias, vêm demonstrado que a filosofia de prevenção à poluição não somente é uma ferramenta efetiva para um gerenciamento ambiental mais eficiente como também traz uma série de benefícios econômicos (VILHENA, 2000).

A sociedade vai exigir cada vez mais que os produtos consumidos por ela sejam ecologicamente corretos, portanto as empresa devem estar de acordo com os novos regulamentos ambientais, que vão determinar o futuro da produção dos vários setores industriais. Isto é, a indústria cerâmica terá que se adequar ambientalmente, conhecendo as leis e normas que regulamentam o setor, pois os problemas ambientais refletem diretamente na sociedade pelo mau uso dos ecossistemas (Intervalo Cerâmico, 2010).

Há uma maior preocupação neste setor industrial com minimização e controle da poluição do ar ocasionada pelas emissões atmosféricas provindas dos fornos utilizados na queima das peças, pois os lançamentos de poluição no ar podem alterar os fatores ambientais, o que prejudica os seres vivos; este é considerado o impacto ambiental mais relevante da atividade.

O impacto ambiental ocasionado pela extração da matéria-prima também vem chamando atenção; a extração sem nenhum plano de recuperação deixou

muitas marcas visíveis na paisagem. Com a intenção de diminuir o consumo de argila, a incorporação de resíduos à massa vem ganhando espaço. A iniciativa tem sido cada vez mais estimulada em todo o mundo, pois além de contribuir com o meio ambiente, a utilização dos resíduos pode trazer melhorias ao produto (SILVA, 2011).

## **2.4 Resíduo do processo de anodização**

### **2.4.1 Descrição geral do processo de anodização**

A anodização de alumínio é uma técnica comumente usada para proteger a superfície do metal contra a ação de agentes oxidantes externos, eliminar irregularidades superficiais e produzir efeitos de cor. Consiste na formação de uma camada homogênea e com elevada dureza e resistência à corrosão, denominada camada anódica, na superfície do alumínio (PEREIRA, 2008).

Segundo Silveira (2010), anodização é um processo de oxidação forçada obtido pela eletrólise de uma solução de ácido sulfúrico, por meio de uma corrente contínua, aplicado ao alumínio e suas ligas. Proporciona à superfície do metal alta resistência à abrasão, corrosão e intempéries.

### **2.4.2 Formação do lodo**

As indústrias de anodização de alumínio necessitam grandes quantidades de água e conseqüentemente geram grandes quantidades de efluentes líquidos concentrados ou diluídos, que, segundo as legislações ambientais, não devem ser lançados diretamente no meio ambiente; estes devem passar por um tratamento até que o efluente obedeça aos limites impostos (SILVEIRA, 2010).

Pereira (2008) descreve que o tipo de tratamento utilizado para esse efluente é o físico-químico, recomendado na remoção de poluentes inorgânicos, metais pesados, óleos e graxas, sólidos sedimentáveis, e sólidos em suspensão, sendo baseado no princípio de coagulação-floculação. Este tratamento depende de um rigoroso controle de pH, temperatura, concentração de íons de alumínio, agitação e teor de impurezas.

Silveira (2010, p.4) descreve o processo de tratamento do efluente da anodização:

O tratamento começa com a neutralização dos efluentes básicos e ácidos até atingirem pH entre 7 e 8. A neutralização dependerá do nível de sulfato no efluente. Se o nível de sulfato é elevado, utiliza-se cal tendo como precipitado  $\text{Ca}(\text{SO}_4)$ , caso contrário utiliza-se soda cáustica permitindo obter um resíduo (lodo) mais puro. Nesta etapa resulta uma suspensão coloidal rica em hidróxido de alumínio e com elevado conteúdo de água. Para reduzir ao máximo o conteúdo de água adiciona-se um agente coagulante que provoca a floculação do meio. Os flocos formados são constituídos praticamente por hidroxissulfatos de alumínio. Após a floculação do efluente, faz-se a separação por decantação e a filtração em filtro prensa.

No filtro-prensa ocorre a desidratação do lodo através da estrutura do equipamento, sendo que o resíduo vai se aglomerando e dificulta a passagem da água, aumentando a pressão do bombeamento até ser necessário abrir o filtro, e fazer a descarga do lodo. O lodo coletado é posto em recipiente para transporte e levado para local adequado (PEREIRA, 2008).

## **2.5 Análises físico-químicas de matérias-primas cerâmicas**

### **2.5.1 Análise química**

A análise química é realizada pela espectrometria de fluorescência de raios X (FRX), uma técnica analítica, geralmente não destrutiva, usada para identificar e determinar as concentrações dos elementos presentes nos sólidos, nos pós e nos líquidos, capaz de medir qualitativamente, quantitativamente e semiquantitativamente todos os elementos desde o berílio (numero atômico 4) ao urânio (numero atômico 92), além de traços de elementos comumente abaixo de um PPM (REED, 1995 apud ANDREOLI, 2006).

Conforme MONTEDO et all (2000, apud ANDREOLI, 2006) o conhecimento da composição química da matéria-prima é de plena importância para verificação da:

- Influência sobre o comportamento dos materiais em função da temperatura;
- Influência dos elementos químicos sobre a resistência mecânica;
- Possibilidade de formação de eflorescência na superfície do material;
- Lixiviação dos resíduos cerâmicos.

### **2.5.2 Análise mineralógica**

Para a área cerâmica, a técnica de difração de raios X (DRX) “permite a identificação de minerais em geral, argilominerais e a caracterização de matérias-primas cerâmicas” (LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE MINERAIS E ROCHAS, 2011).

A aplicação desta técnica é baseada no fato de que o padrão de difração é único para cada substância cristalina, e consiste em expor uma amostra de um material ou substância aos raios X, originando uma luz difratada pelos planos das células unitárias de uma estrutura cristalina. Esta é uma técnica que pode determinar qualitativa e quantitativamente informações sobre a estrutura cristalina presente em uma amostra sólida (BRACEWELL at all, 1970 apud ANDREOLI, 2006).

### **2.5.3 Análise física**

O estudo físico na área de cerâmica é realizado através de uma análise de tamanhos de partículas, que fornece a distribuição percentual em massa ou volume dos tamanhos das partículas que constituem o material. Ou seja, permite identificar o tamanho e a distribuição das partículas, e junto com a composição mineralógica permite caracterizar a textura e a composição do mineral de interesse que se encontra em forma particulada (BROCCHI, s.d.).

### **2.5.4 Análise de variação da tonalidade**

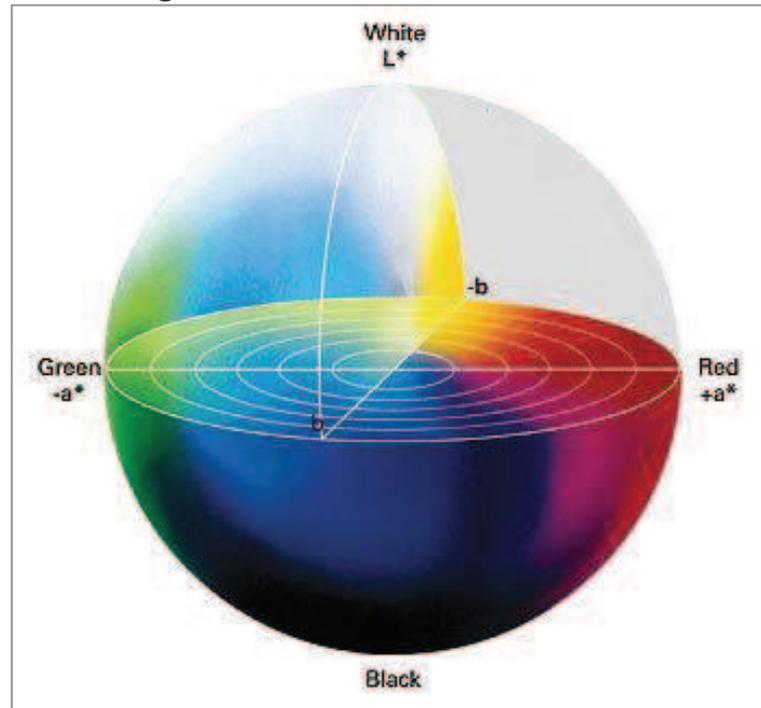
A cor é de grande importância para os produtos industriais cerâmicos, pois ela agrega valores estéticos e econômicos ao produto.

Colorimetria é a ciência da medida de cores que estuda e quantifica como o sistema visual humano percebe a cor, na tentativa do desenvolvimento de valores numéricos da cor. Os números compreendidos nas especificações são funções contínuas dos parâmetros físicos que definem a energia espectral radiante do estímulo (GÊNESIS INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS QUÍMICOS, 2011).

Segundo Salvador (2009), as cores são definidas em 3 coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  orientadas no espaço a  $90^\circ$  entre si, formando assim um “espaço de cor”. A coordenada  $L^*$  é uma indicação de “claro” e “escuro”, e não existe uma

cromaticidade nessa direção. A coordenada  $a^*$  é uma indicação da cromaticidade na direção do verde (-) e do vermelho (+). A coordenada  $b^*$  é uma indicação da cromaticidade na direção do azul (-) e do amarelo (+), como mostra a Figura 17.

**Figura 17 – Plano de Cromaticidade.**



(Fonte: NEWSPAPER & TECHNOLOGY, 2011)

Define-se a partir destes parâmetros a diferença de cor  $\Delta E^*$  como o vetor soma das três diferenças de cor componentes conforme a Equação 1 (SALVADOR, 200):

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

onde:

$\Delta E^*$ = Diferença de cor da amostra em relação ao padrão (Judd)

$\Delta L^*$ = Diferença de luminosidade clara e escura da amostra em relação ao padrão (Judd)

$\Delta a^*$ = Diferença de cor verde e vermelha da amostra em relação ao padrão (Judd)

$\Delta b^*$ = Diferença de cor azul e amarela da amostra em relação ao padrão (Judd)

### **3 METODOLOGIA**

O desenvolvimento do trabalho foi realizado com a utilização do resíduo final da estação de tratamento de efluentes de processo de anodização. O lodo, como é comumente denominado, foi incorporado em percentuais mássicos de 5, 10 e 15% em massas cerâmicas utilizadas na fabricação de tijolos e telhas.

Os ensaios e análises laboratoriais foram realizados no LabCer (Laboratório Técnico de Cerâmica Vermelha) localizado em Morro da Fumaça. Os ensaios de difração e fluorescência de raios X (DRX e FRX), e o de difração a laser foram realizados no SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial) localizado em Criciúma.

#### **3.1 Resíduo da estação de tratamento de efluentes (ETE)**

Amostras do resíduo foram coletadas na caçamba de armazenamento e transporte do lodo homogeneizado que sai do filtro-prensa da ETE do processo de anodização de uma indústria de alumínios na cidade de Urussanga.

Conforme Relatório de Classificação de Resíduos N°002/10 realizado pela Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. – Divisão Laboratório – em setembro de 2010, o resíduo de anodização utilizado neste projeto é classificado como não perigoso (Classe II A – Não inerte) segundo NBR ISO 10004 ABNT (1987), classificação determinada através dos testes de lixiviação, conforme norma NBR ISO 10005 ABNT (1987), e de solubilização, conforme norma NBR ISO 10006 ABNT (1987) (ANEXO A).

##### **3.1.1 Umidade**

Para determinação da umidade do lodo depositou-se 1 kg do resíduo em uma bandeja metálica, posta para secar em estufa laboratorial (Figura 18), em temperatura de 110°C durante um período de 24 horas. Após a secagem pesou-se, em uma balança digital com resolução 0,01 g.

**Figura 18** - Estufa laboratorial, marca De Leo, LabCer - Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

### **3.1.2 Composição química**

A análise química do lodo foi feita pela técnica de fluorescência de raios X (FRX) utilizando-se um espectrômetro por dispersão de comprimento de ondas tipo WDS (Philips PW2400).

### **3.1.3 Composição mineralógica**

A caracterização de fases minerais foi realizada com as amostras secas, pulverizadas, por difração de raios X (DRX), utilizando-se um difratômetro (Philips modelo PW 1830) com radiação incidente Cu K $\alpha$  (1,5418Å), operando a 30kV e 15mA, com intervalo 2 $\theta$  entre 0° e 90°, passo de 0,05° e tempo de leitura de 1s.

Para a área cerâmica, a técnica de DRX “permite a identificação de minerais em geral, argilominerais e a caracterização de matérias-primas cerâmicas” (LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE MINERAIS E ROCHAS, 2011).

A aplicação desta técnica é baseada no fato de que o padrão de difração é único para cada substância cristalina, e consiste em expor uma amostra de um material ou substância aos raios X, originando uma luz difratada pelos planos das células unitárias de uma estrutura cristalina. Esta é uma técnica que pode determinar qualitativa e quantitativamente informações sobre a estrutura cristalina presente em uma amostra sólida (BRACEWELL at all, 1970 apud ANDREOLI, 2006).

### **3.1.4 Caracterização física**

Para a caracterização física foi realizado o ensaio de análise de partículas a partir da técnica de caracterização da distribuição do tamanho de partículas por difração a laser. O equipamento utilizado foi um analisador a laser modelo 1064L, marca Cilas.

## **3.2 Massa de tijolo e de telha**

Amostras da massa padrão de telha foram coletadas com auxílio de uma pá diretamente do caixão alimentador do processo produtivo da cerâmica Maragno & Padoin Ltda. A amostra da massa padrão de tijolos foi coletada da mesma maneira na cerâmica JM Ltda., Ambas as empresas estão localizadas no bairro Estação Cocal, município de Morro da Fumaça, SC.

### **3.2.1 Umidade**

Para determinação da umidade das massas foram pesadas em uma balança digital com resolução de 0,01 g duas telhas e dois tijolos recém saídos do processo de extrusão, colocados para secar em estufa (Figura 18) por 24 horas, na temperatura de 110°C e pesados novamente após a secagem.

### **3.2.2 Composição química**

A análise química das massas foi realizada pela técnica de fluorescência de raios X (FRX), já descrita no item 3.1.2.

### **3.2.3 Tamanho de partículas**

A caracterização da distribuição de tamanho de partículas foi realizada da mesma maneira conforme item 3.1.4.

### 3.3 Formulações

Após a análise dos resultados de caracterização das formulações, o resíduo e as massas foram totalmente secos em estufa (Figura 18) na temperatura de 110°C, durante 48 horas. Em seguida foram formuladas massas para fabricação de tijolos e telhas em escala laboratorial, adicionando-se 5%, 10% e 15% em massa do lodo da ETE em cada massa cerâmica, em comparação a uma amostra padrão sem adição do resíduo, para avaliação dos resultados (Tabela 01). Após a etapa de formulação, foram realizados os testes de perda ao fogo, retração linear após queima, resistência mecânica à flexão, absorção de água e cor de queima. Os corpos-de-prova foram submetidos aos mesmos testes que são exigidos pela norma interna do LabCer, norma baseada nas NBR 15270-3 (2005) e NBR 15310 (2009).

**Tabela 01:** Formulações (F) das composições referentes à incorporação de resíduo de anodização às massas de telha e tijolo.

Formulações	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Resíduo (%)	0	0	5	5	10	10	15	15
Massa de Tijolo (%)	100	-	95	-	90	-	85	-
Massa de Telha (%)	-	100	-	95	-	90	-	85

(Fonte: Do autor)

#### 3.3.1 Preparação dos corpos-de-prova das matérias-primas e das formulações cerâmicas

##### 3.3.1.1 Mistura

Para a formulação das composições, as amostras secas foram trituradas em um triturador de martelos da marca SERVITECH (Figura 19) e peneiradas em uma peneira com abertura de malha de 28 mesh. Utilizando-se uma bandeja metálica e uma balança digital as composições foram misturadas de forma manual, e com um auxílio de um borrifador de água as misturas foram umidificadas, com umidade definida em 7%. Este procedimento pode ser visualizado na Figura 20.

**Figura 19** - Triturador de martelos marca SERVITECH, LabCer - Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

**Figura 20** - Procedimento de umidificação e mistura, LabCer - Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

Para obtenção de seis corpos-de-prova de cada amostra foram pesados 450 g da massa de cada tipologia cerâmica (telha e tijolo), e aos poucos foi adicionada a quantidade de água correspondente a 7% em massa e a porcentagem de lodo correspondente, 5, 10 e 15%. As Equações 2 e 3 demonstram os cálculos utilizados para determinação do teor de umidade e adição do lodo, respectivamente. Após homogeneização e umidificação as misturas passaram por uma peneira de malha desconhecida, onde foi feito o destorroamento manualmente.

$$UM = \frac{m_s UA}{(100 - UA)} \quad (2)$$

onde:

UM= Umidade a ser adicionada na amostra (g)

$m_s$ = Massa total seca da amostra (g)

UA= Umidade a ser adicionada à amostra (%)

$$RM = \frac{m_s RA}{100} \quad (3)$$

onde:

RM= Resíduo a ser adicionado na amostra (g)

$m_s$ = Massa total seca da amostra (g)

RA= Resíduo a ser adicionado à amostra (%)

### 3.3.1.2 Prensagem das massas

Após a umidificação, as formulações foram submetidas à quarteamento, de modo a se obter amostras representativas para a execução do trabalho. As amostras foram espalhadas sobre uma bancada, em forma oval, e depois foram divididas em quatro partes, onde duas partes eram escolhidas para continuar na amostragem.

Para confecção dos corpos de prova foram utilizados 50 g de amostra para cada corpo, que foram submetidos à pressão específica de 250 Kgf./cm<sup>2</sup> em prensa hidráulica manual (Figura 21). As dimensões dos corpos foram de 80 × 15 × 20 mm.

**Figura 21** - Prensa hidráulica manual. LabCer - Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

### 3.3.1.3 Secagem das peças

Depois de prensados, os corpos de prova foram postos em estufa (Figura 18), em temperatura máxima de 70°C, para que não ocorressem trincas, durante 24 horas. Após sair da estufa as peças foram postas para resfriar em temperatura ambiente.

### 3.3.1.4 Queima das peças

Depois de secas as peças foram levadas a um forno laboratorial elétrico muflado marca JUNG, com temperatura máxima de operação de 1230°C (Figura 22). O forno foi programado para condições de queima pré-estabelecidas, sendo a taxa de aquecimento de 3°C por minuto com patamar em 950°C de 120 minutos e ciclo de queima com duração de 6 horas, padrão utilizado pelo laboratório SindCer para queima de produtos de cerâmica vermelha.

**Figura 22** - Forno laboratorial JUNG. LabCer - Morro da fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

### 3.3.2 Análise das formulações

Esta etapa do trabalho foi realizada conforme descreve o Procedimento e Instrução de Trabalho do Centro de Pesquisas da Eliane Revestimentos Cerâmicos, (2005) e foram analisados cinco corpos-de-prova por formulação.

### 3.3.2.1 Retração linear de secagem

Para definição do percentual de retração dos corpos de cada composição durante secagem, foi medido, com um paquímetro, a dimensão principal dos corpos-de-prova, crus e recém-prensados, e a dimensão desses após secagem e resfriamento (Item 3.3.1.3). O cálculo foi realizado segundo a Equação 4:

$$RS = \frac{(L_i - L_s)}{L_i} 100 \quad (4)$$

onde:

RS= Retração de secagem (%)

$L_i$ = Comprimento inicial (mm)

$L_s$ = Comprimento após secagem (mm)

### 3.3.2.2 Retração linear de queima

A definição do percentual de retração dos corpos após queima foi realizado pelo cálculo da variação das dimensões dos corpos-de-prova secos e depois de queimados. As medidas das dimensões foram realizadas com um paquímetro e para o cálculo empregou-se a Equação 5:

$$RQ = \frac{(L_s - L_q)}{L_s} 100 \quad (5)$$

onde:

RQ= Retração de queima (%)

$L_s$ = Comprimento após secagem (mm)

$L_q$ = Comprimento após queima (mm)

### 3.3.2.3 Retração total

A retração total é obtida pela soma do percentual da retração de secagem e percentual da retração de queima (Equação 6).

$$RT = RS + RQ \quad (6)$$

onde:

RT= Retração Total (%)

RS = Retração de secagem (%)

RQ= Retração de queima (%)

### 3.3.2.4 Perda ao fogo

A Eliane Revestimentos Cerâmicos (2005) cita que: “perda ao fogo é a perda de material sob a forma de gás, durante as etapas de aquecimento e queima”. Pode ser determinada pela pesagem dos corpos-de-prova, de cada formulação, após secagem e após a queima. Os resultados da perda ao fogo foram calculados conforme a seguinte Equação:

$$PF = \frac{(m_s - m_f)}{m_f} 100 \quad (7)$$

onde:

PF= Perda ao fogo (%)

$m_s$ = Massa do corpo-de-prova após secagem (g)

$m_f$ = Massa final do corpo-de-prova ou (g)

### 3.3.2.5 Absorção de água

O ensaio de absorção de água analisa o aumento de massa em água dos corpos-de-prova, quando estes são submersos em água por um determinado período de tempo (VILLAGRES REVESTIMENTOS CERÂMICOS, 2011).

Os corpos-de-prova queimados foram pesados em balança digital, depois mergulhados em um recipiente com água fervente, de modo que ficassem totalmente cobertos, durante o período de duas horas e em seguida foram secos, com uma flanela, e pesados novamente. A Equação usada para determinar a absorção de água foi dada por:

$$AA = \frac{(m_u - m_s)}{m_s} 100 \quad (8)$$

onde:

AA = Absorção de água (%)

$m_u$  = Massa úmida (g)

$m_s$  = Massa seca (g)

### 3.3.2.6 Resistência mecânica à flexão

Resistência à flexão é a característica própria de cada material correspondente à máxima tensão por unidade de área suportada por uma peça sem danificá-la quando submetida a uma carga crescente (ELIANE REVESTIMENTOS CERÂMICOS, 2005). O aparelho utilizado para esta análise foi uma máquina universal de ensaios adaptada para determinar a resistência à flexão, marca EMIC, com capacidade máxima de 20 tf (Figura 23), com uma velocidade de ensaio de 2mm/min.

**Figura 23** – Máquina universal de ensaios, EMIC. SindiCer - Morro da Fumaça/SC.



(Fonte: Do autor)

### 3.3.2.7 Cor de queima

Para este tipo de ensaio utilizou-se um aparelho fotoelétrico chamado colorímetro (Minolta, modelo Spectroguide), que utiliza alguns comprimentos de onda do espectro total e fornece informações das cores exibidas pelas peças.

### **3.3.3 Avaliação técnica, econômica e ambiental**

Esta etapa foi realizada através de um consenso, onde foram avaliados:

- O impacto da medida proposta sobre o processo, produtividade e qualidade do produto;
- A redução na utilização de recursos naturais;
- A economia da empresa com a redução no consumo de matéria-prima.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização das matérias-primas

#### 4.1.1 Umidade

Na análise prévia determinou-se uma umidade de 47% para o resíduo, 23% para o tijolo e 20% para a telha. Observou-se uma alta umidade do resíduo da ETE em relação às peças cerâmicas cruas.

#### 4.1.2 Análise química do resíduo, massa de tijolo e massa de telha

Na Tabela 2, apresenta-se a composição química do resíduo, da massa de tijolo e da massa de telha, realizada por fluorescência de raios X. Comparando as análises das massas e do resíduo, observa-se que os óxidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e de  $\text{Na}_2\text{O}$  encontram-se em porcentagens significativamente maiores no resíduo. A alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) apresenta um ponto de fusão de  $2020^\circ\text{C}$ , superior à temperatura comumente utilizada para a queima das peças cerâmicas estruturais, que é aproximadamente de  $900^\circ\text{C}$ , sendo um material refratário, que aumenta a temperatura de queima das composições.

Com relação à óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), este mineral é utilizado como fundente na queima de materiais cerâmicos, pois diminui a temperatura de queima. Observou-se também uma elevada perda ao fogo –  $\sim 24\%$  em massa – no resíduo, devida provavelmente à presença de elevada quantidade de hidróxido, talvez hidróxido de alumínio –  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , com ponto de fusão de  $300^\circ\text{C}$ .

**Tabela 2** - Análise química das matérias-primas.

Óxidos	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{MnO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{MgO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	PF
Massa do Tijolo (%)	69,9	14,8	6,1	0,2	0,2	1,9	0,1	0,9	0,5	<0,1	5,4
Massa da Telha (%)	64,9	17,7	6,4	0,2	0,3	1,2	<0,1	1,2	0,5	<0,1	7,6
Resíduo (%)	0,5	64,1	0,2	<0,1	10,9	0,1	<0,1	<0,1	0,4	<0,1	23,7

(Fonte: LDCM , 2011.)

Os demais óxidos que compõem quimicamente o resíduo encontram-se em percentuais menores que os das matérias-primas e insumos utilizados no

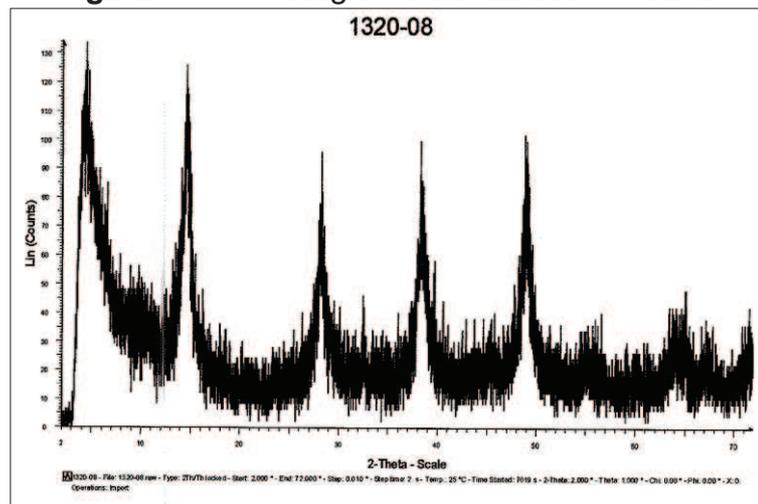
processo cerâmico. Há pequena quantidade de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), 0,5%, e de óxido de ferro, 0,2%. A sílica é o composto fundamental dos cerâmicos formados por silicatos, e o óxido de ferro na forma de hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) resulta na coloração avermelhada ou amarelada, comuns em tijolos e telhas.

Com relação à composição química tanto da telha como do tijolo, ela é típica para cada tipologia, composta basicamente por aluminossilicatos contendo pequenas quantidades de óxidos de metais alcalinos e alcalino-terrosos, além da presença em quantidade expressiva de óxido de ferro (~6%), resultando na típica cor avermelhada destes produtos.

#### 4.1.3 Análise mineralógica do resíduo, massa de tijolo e massa de telha

Conforme relatório do LDCM (2008) fornecido pela a empresa, o lodo in natura é 100% amorfo, isto é, não apresenta fases cristalinas. Porém, analisando o difratograma desse relatório, Figura 24, observou-se um erro na análise, pois o lodo in natura segundo o difratograma é parcialmente cristalizado, isto é, apresenta fases cristalinas, que não foram identificadas.

**Figura 24 – Difratograma do resíduo in natura.**



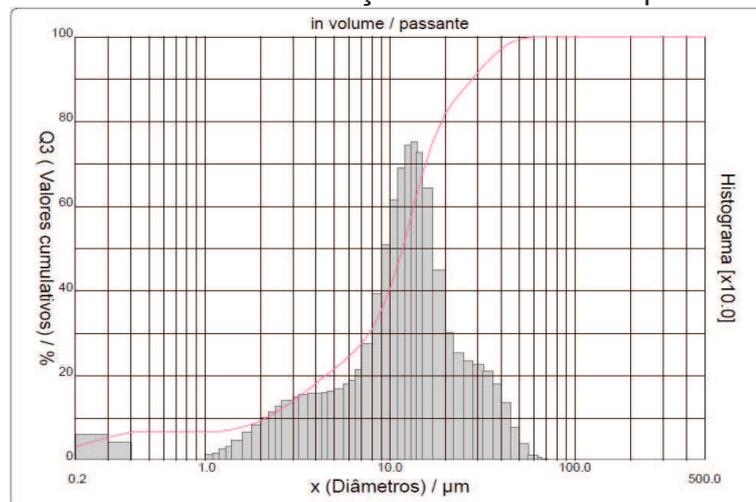
(Fonte: LDCM, 2008)

A análise mineralógica das massas de telha e tijolo não foram realizadas, por estas serem massas comumente usadas para a fabricação destas peças cerâmicas na região e serem massas compostas por misturas de argilominerais de difícil definição das fases presentes.

#### 4.1.4 Distribuição de tamanho de partícula do resíduo, massa de tijolo e massa de telha

As Figuras 25, 26 e 27 apresentam a curva normal da distribuição de tamanho de partículas do resíduo, da massa de tijolo e da massa da telha, realizadas por difração a laser. Com relação ao resíduo, figura 24, pode-se perceber que apresenta uma distribuição praticamente monomodal, com 90% das partículas com diâmetro equivalente menor que 30  $\mu\text{m}$  e diâmetro médio de 14,2  $\mu\text{m}$ .

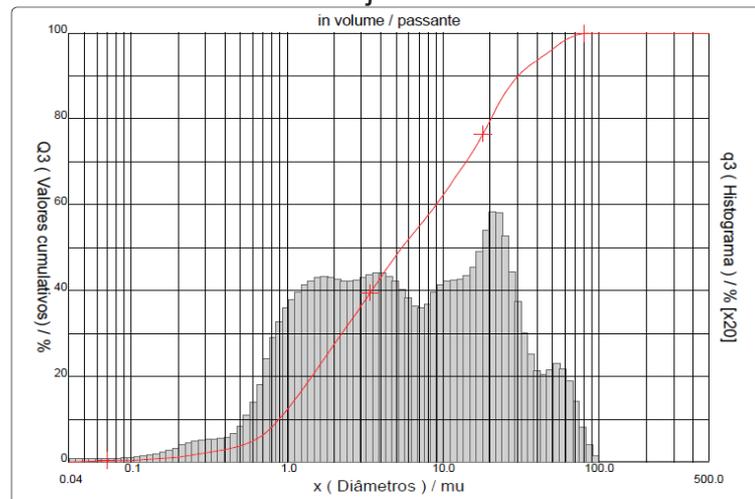
**Figura 25** – Curva normal de distribuição do tamanho de partículas do resíduo.



(Fonte: SENAI, 2011)

A massa de tijolo, Figura 26, apresenta uma distribuição multimodal, com 90% das partículas com diâmetro equivalente menor que 30  $\mu\text{m}$  e diâmetro médio de 5,4  $\mu\text{m}$ . A distribuição multimodal indica que a massa de tijolo é composta por várias matérias-primas com distribuições distintas, o que é coerente com os produtos cerâmicos normalmente fabricados por extrusão, onde uma mistura de matérias-primas naturais, normalmente argilominerais, é utilizada para compor as massas de tijolos.

**Figura 26** – Curva normal de distribuição do tamanho de partículas da massa de tijolo.

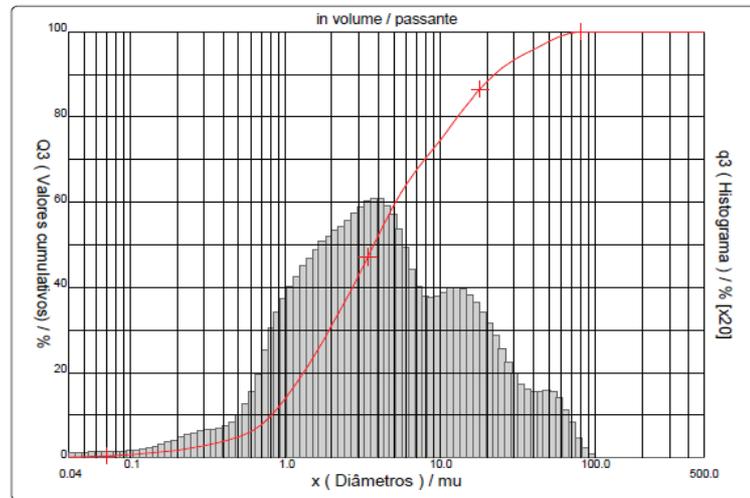


(Fonte: SENAI, 2011)

Por sua vez, a massa de telha, Figura 27, também apresenta uma distribuição multimodal, porém mais homogênea que a massa de tijolo, com 90% das partículas com diâmetro equivalente menor que 22  $\mu\text{m}$  e diâmetro médio de 3,7  $\mu\text{m}$ . Percebe-se que a massa de telha é ligeiramente mais fina que a de tijolo, o que indicaria a necessidade de uma menor temperatura de queima para esta composição, pois partículas mais finas apresentam maior área superficial, e deste modo maior reatividade, sendo necessária uma menor temperatura de queima para se obter uma mesma densificação em relação à massa de tijolos.

Finalmente, pode-se perceber que tanto o resíduo, como as massas de telha e tijolos são bastante finos, não sendo necessária uma moagem mais enérgica para o processamento destes materiais.

**Figura 27** – Curva normal de distribuição do tamanho de partículas da massa de telha.



(Fonte: SENAI, 2011)

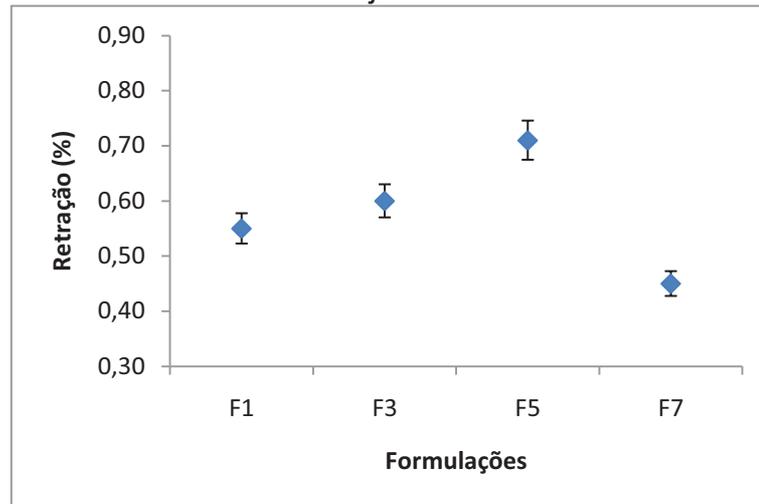
## 4.2 Caracterização das Formulações

Para a caracterização das formulações foram ensaiados cinco corpos-de-prova de cada uma das 8 formulações. Nos gráficos de variação de propriedades a serem apresentados a seguir, são expressos os valores médios das propriedades medidas e, na forma de uma barra de erros, a relação percentual entre o desvio padrão e a média calculada.

### 4.2.1 Retração linear de secagem

Os gráficos das Figuras 28 e 29 apresentam os resultados da retração linear após a secagem das formulações em estufa laboratorial a 70°C por 24 h com obtenção de massa constante. Observa-se que nas formulações com massa de tijolo (Figura 28), a retração aumenta inicialmente de 0,55% para a formulação 1, a formulação padrão de tijolo, para 0,60% com a formulação 3 e para 0,71% na formulação 5. Para a formulação 7 há uma diminuição no valor de retração, 0,45% em média. Os resultados demonstram que com a adição de resíduo até 10% em massa ocorre um aumento da retração de secagem, propiciado, provavelmente, pelo maior empacotamento entre as partículas de resíduo e de massa de tijolo, o que aumenta a retração pelo aumento do adensamento das amostras.

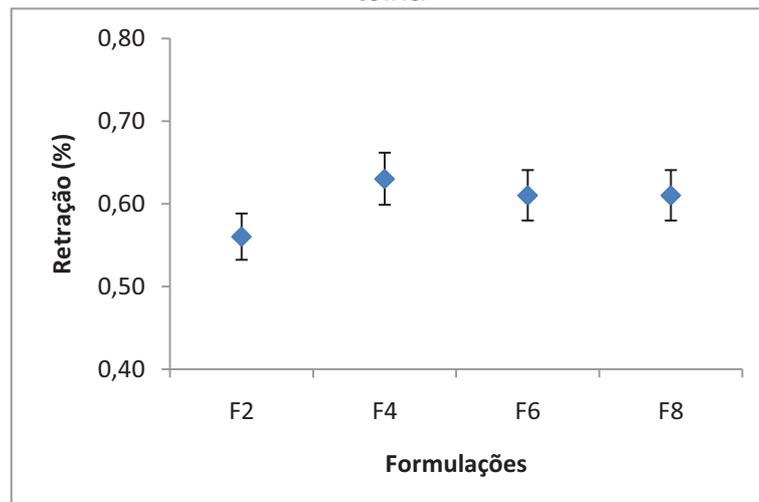
**Figura 28** - Traçado gráfico da retração de secagem das formulações com massa de tijolo.



(Fonte: Do autor)

Já nas formulações com massa de telha (Figura 29), a retração aumenta inicialmente de 0,56% para a formulação 2, formulação padrão para telha, para 0,63% para a formulação 4, com uma tendência à estabilização em torno de 0,61% para as formulações 6 e 8. A partir da formulação 6, com 10 % de adição de resíduo na formulação, os valores de retração de secagem são estáveis. As mesmas considerações feitas para a adição de resíduo à massa de tijolo valem para o uso de resíduo adicionado à massa de telha.

**Figura 29** - Traçado gráfico da retração de secagem das formulações com massa de telha



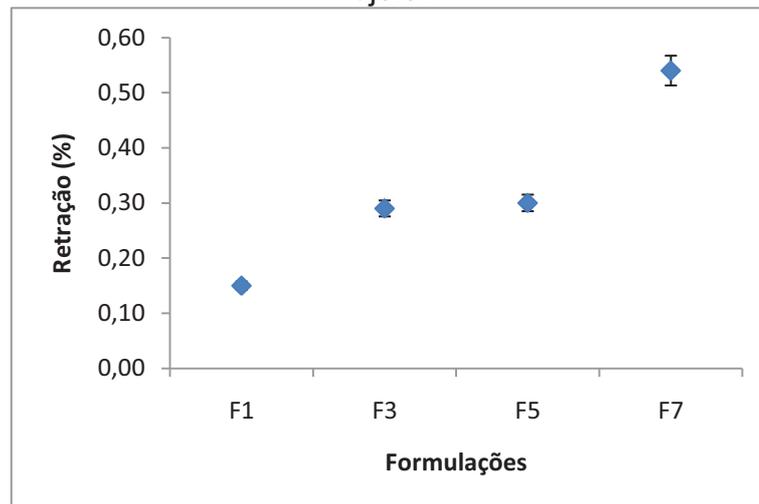
(Fonte: Do autor)

#### 4.2.2 Retração linear de queima

As Figuras 30 e 31 apresentam os gráficos com os resultados da retração linear de queima das composições. A temperatura utilizada para avaliar as características do material após a queima foi de 950°C. O ciclo de queima teve duração de 6h com um patamar de queima para cada formulação de 120 minutos. Os resultados demonstram que nas formulações com massa de tijolo, a retração linear de queima aumentou de 0,15% para a formulação 1, a formulação padrão de tijolo, para 0,29% para a formulação 3, e 0,30% para a formulação 5. Na formulação 7 ocorre um aumento abrupto da retração, com uma média de 0,54%.

A baixa retração de queima obtida para as formulações de tijolo indica a refratariedade tanto da massa padrão de tijolo, como das formulações com adição de resíduo. Praticamente não há diferenças entre a retração da massa padrão e das composições com adição do resíduo de anodização. Desta forma, percebe-se que, para a retração de queima, não há alteração das características do produto final com a adição do resíduo à massa de tijolo.

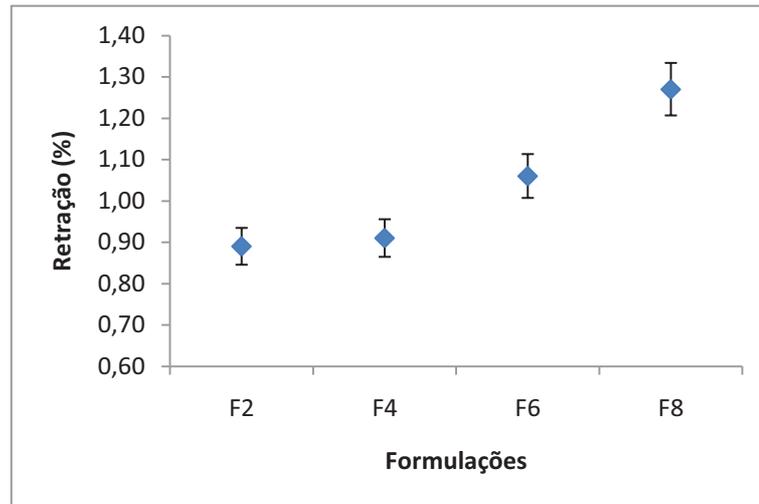
**Figura 30** - Traçado gráfico da retração de queima das formulações com massa de tijolo.



(Fonte: Do autor)

Nas formulações com massa de telha ocorre uma pequena variação da retração de queima da formulação 2, formulação padrão de telha, para a formulação 4. A partir da formulação 6 ocorre um maior aumento da retração, variando de uma média de 0,89% para a formulação padrão 2, para 1,27% para a formulação 8.

**Figura 31** - Traçado gráfico da retração de queima das formulações com massa de telha

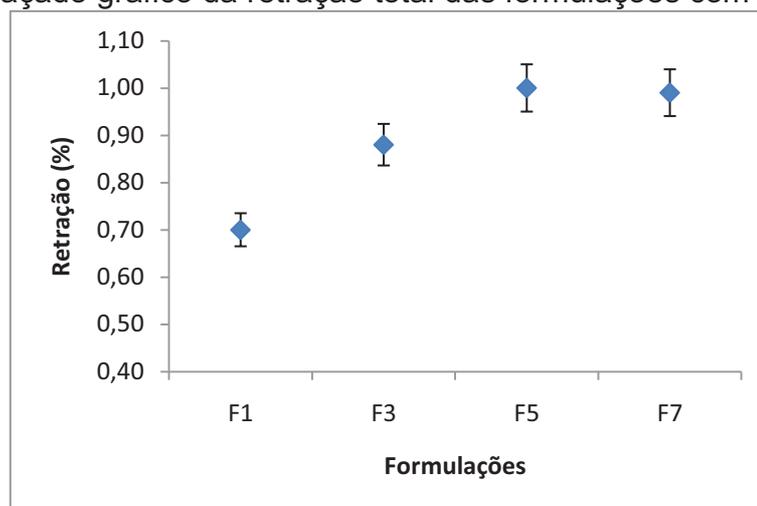


(Fonte: Do autor)

Observa-se que tanto para as formulações com massa de tijolo ou as com massa de telha, quanto maior a porcentagem de adição do resíduo, maior também será sua retração linear de queima. Provavelmente o maior empacotamento obtido na conformação das peças por extrusão devido à diferença de distribuição de tamanho de partículas entre o resíduo e as massas de tijolo e telha, que resultou em maior retração de secagem e em maior retração durante a queima. A maior retração obtida para a massa de telha é resultado de seu menor tamanho de partícula.

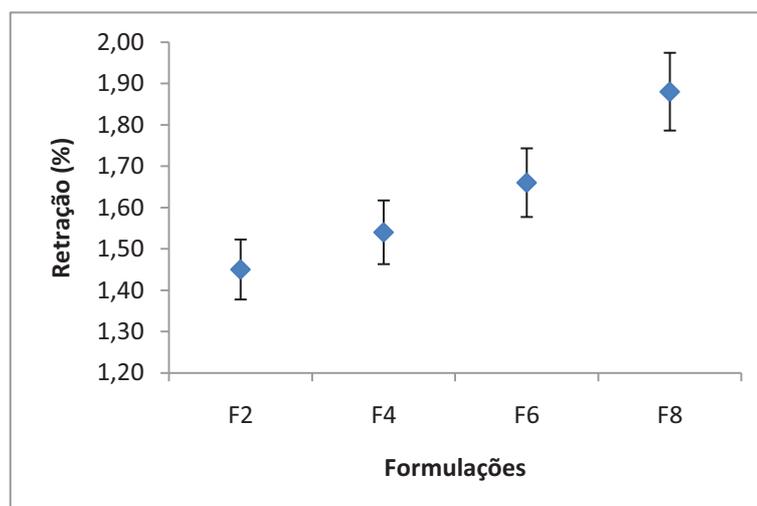
#### 4.2.3 Retração total

Os resultados de retração total mostrados nos gráficos das Figuras 32 e 33 mostram o efeito conjunto da retração de secagem e da retração de queima. Observa-se que para as formulações com massa de tijolo há um crescente aumento da retração até a formulação 5, com valores de 1%, mantendo-se para a formulação 7.

**Figura 32** - Traçado gráfico da retração total das formulações com massa de tijolo.

(Fonte: Do autor)

As formulações com massa de telha apresentam comportamento diferencial, onde ocorre um aumento crescente da retração, conforme aumenta a porcentagem do resíduo nas formulações. Uma maior retração diferencial total significa uma maior tendência à variação dimensional para o produto final; porém, os baixos valores de retração total obtidos, abaixo de 2%, não são suficientes para gerar uma grande alteração dimensional do produto final. Desta forma, a adição do resíduo não causa grande alteração das dimensões do produto final, não alterando significativamente esta propriedade.

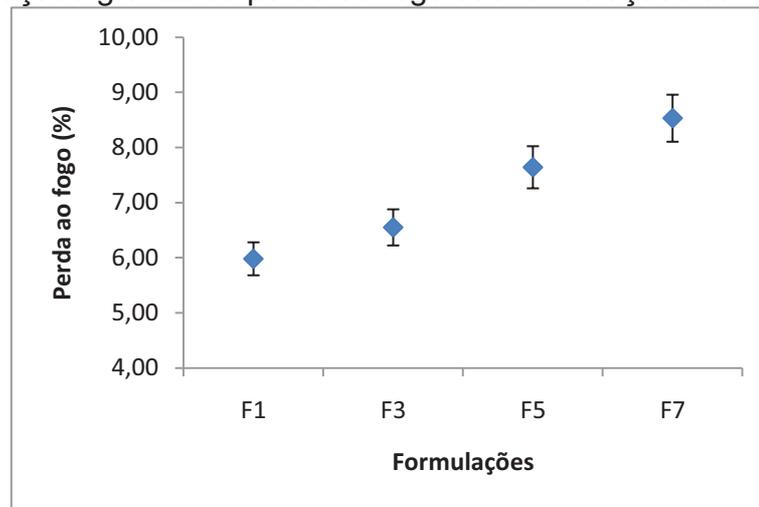
**Figura 33** - Traçado gráfico da retração total das formulações com massa de telha.

(Fonte: Do autor)

#### 4.2.4 Perda ao fogo

Na análise da perda ao fogo, observa-se nos gráficos das Figuras 34 e 35 uma tendência de aumento do valor desta propriedade com a adição do resíduo sólido à formulação, devido provavelmente à presença de compostos voláteis no resíduo, como o hidróxido de alumínio, que se decompõe a 300°C.

**Figura 34** - Traçado gráfico da perda ao fogo das formulações com massa de tijolo

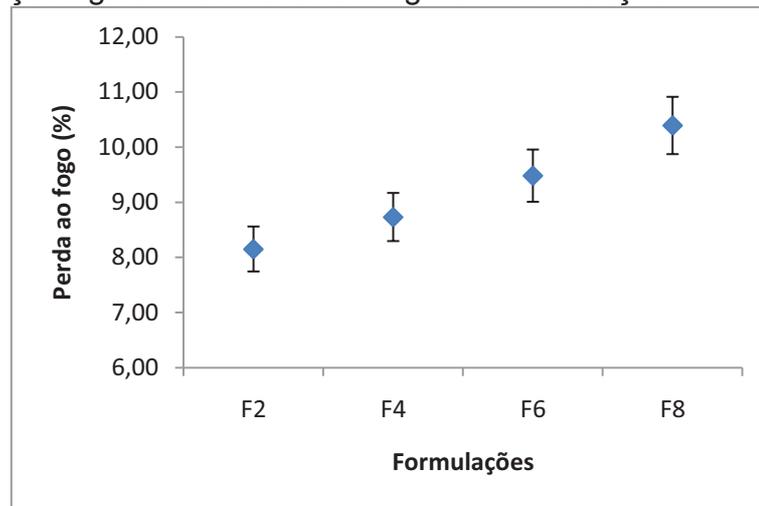


(Fonte: Do autor)

Com relação à formulação padrão de tijolos, F1, que apresenta 6% de perda ao fogo, estando associado provavelmente à presença de matéria orgânica na composição da massa de tijolo, há um crescente aumento da perda ao fogo até 10% de adição de resíduo, e na formulação F7, com perda de 8,5%. Como a retração de queima não é tão intensa com a adição de resíduo como ocorre para a perda ao fogo, pode-se presumir que há um aumento da porosidade do produto final em função da adição do resíduo.

Com relação à perda ao fogo para a massa de telha em função da adição de resíduo (Figura 35), pode-se perceber um comportamento semelhante, pois a adição de resíduo à formulação padrão de telha, F2, aumenta a perda ao fogo de 8% para em torno de 10%, ou seja, semelhante ao que ocorre com as formulações contendo massa de tijolo. Este aumento de perda ao fogo com a adição de resíduo à massa de telha provavelmente também causa o aumento da porosidade do produto final.

**Figura 35** - Traçado gráfico da Perda ao fogo das formulações com massa de telha.



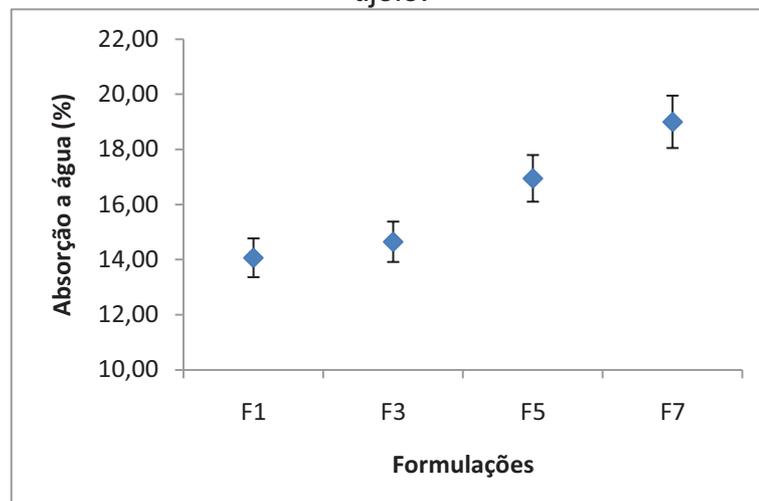
(Fonte: Do autor)

#### 4.2.5 Absorção d'água

As Figuras 36 e 37 apresentam os resultados de absorção d' água das formulações. Observa-se para estas propriedades a mesma tendência das propriedades citadas anteriormente, pois ocorre um aumento dos valores de absorção conforme a adição de resíduo às formulações.

Há uma variação contínua da absorção de água para as formulações com massa de tijolo, onde a absorção inicial é de 14,1% para a formulação F1 padrão, aumentando para 19,0% para a formulação 7, com 15% de adição de resíduo.

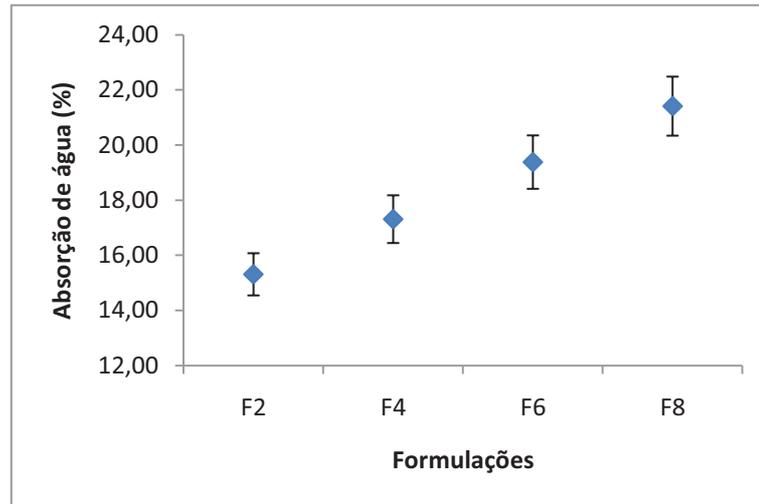
**Figura 36** - Traçado gráfico da absorção d'água das formulações com massa de tijolo.



(Fonte: Do autor)

O aumento contínuo da absorção de água também é observado nas composições de massa de telha, onde há uma variação de 15,3% para a formulação 2 padrão, para 21,4% para a formulação 8 com 15% de adição de resíduo.

**Figura 37** - Traçado gráfico da absorção de água para as formulações com massa de telha.



(Fonte: Do autor)

O aumento da absorção de água em função da adição de resíduos tanto para a massa de tijolos quanto para a massa de telhas provavelmente está associado ao aumento de porosidade do produto final após a queima. Como a retração total praticamente permanece constante, principalmente para a massa de tijolo, e como tanto a perda ao fogo como a absorção de água aumentam com a adição de resíduo, este aumento de absorção de água deve estar associado ao aumento de porosidade do produto após a queima.

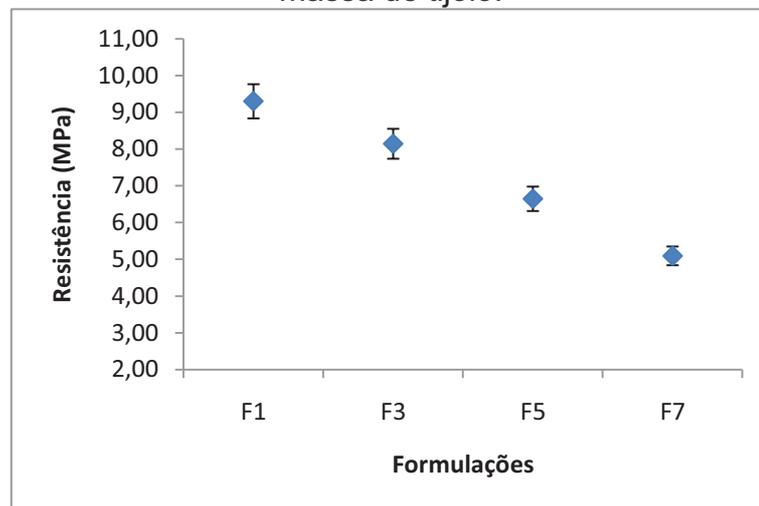
#### 4.2.6 Resistência mecânica à compressão

Os resultados de resistência mecânica à compressão são analisados pelos gráficos das Figuras 38 e 39. Os resultados são referentes a todas as formulações, queimadas na temperatura de 950°C. Observa-se nesta temperatura a tendência de uma diminuição da resistência à compressão de todas as formulações em relação às formulações 1 e 2, padrões para as composições de tijolos e telhas, respectivamente. Na formulação 1 a resistência à compressão medida foi de 9,3 MPa, e na formulação F2 o valor foi de 10,3 MPa. As formulações 3, 4, 5 e 6

apresentaram resistência à compressão média entre 6 e 9 MPa. As formulações 7 e 8 apresentaram valores menores em relação a estas, respectivamente 5,1 MPa e 5,2 MPa. Ou seja, há redução dos valores de resistência à compressão para as formulações com adição de resíduo em relação às formulações padrão.

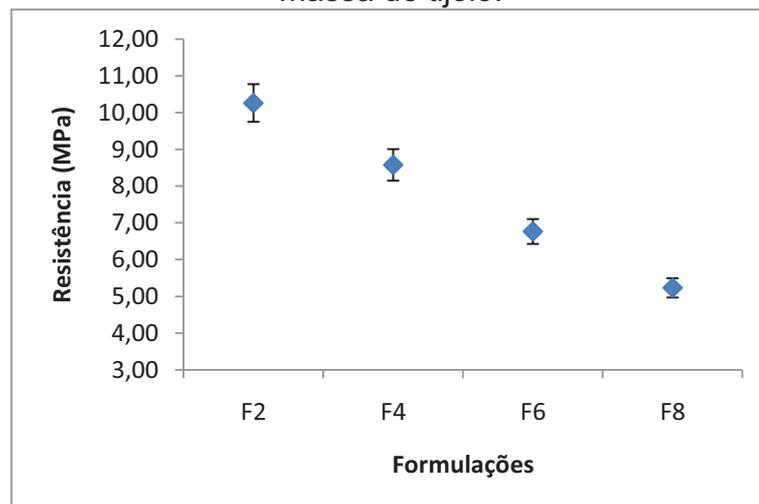
A redução da resistência mecânica à compressão parece confirmar o aumento do número de defeitos internos – provavelmente poros – em função da adição de resíduo às formulações padrão de tijolo e telha. O aumento da porosidade diminui a seção resistente de materiais submetidos a esforços mecânicos, reduzindo assim a resistência mecânica do produto final.

**Figura 38** - Traçado gráfico de resistência média à flexão das formulações com massa de tijolo.



(Fonte: Do autor)

**Figura 39** - Traçado gráfico de resistência média à flexão das formulações com massa de tijolo.

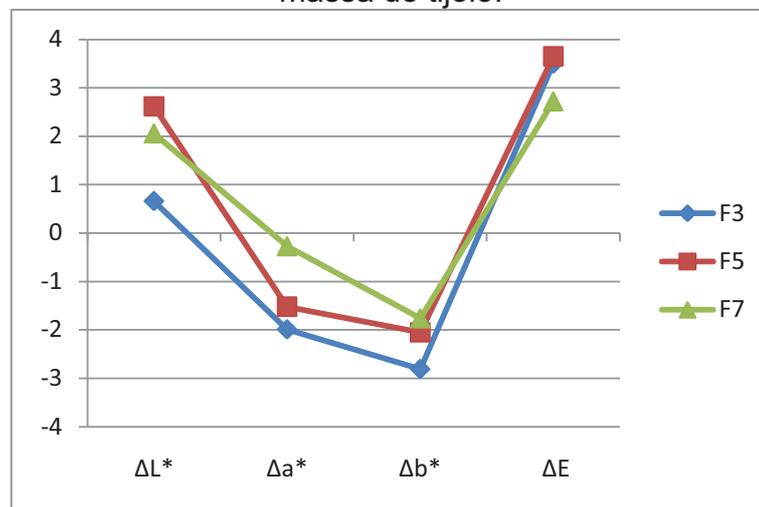


(Fonte: Do autor)

#### 4.2.7 Cor de queima

Analisando o gráfico da Figura 40, percebe-se uma alteração visível da luminosidade ( $\Delta L$ ) nas amostras F5 e F7, ou seja, ambas são mais clara que o padrão. Com relação à cor vermelha ( $\Delta a^*$ ) as amostras F3 e F5 são menos vermelhas que o padrão, também para cor amarela ( $\Delta b^*$ ) as três amostras são menos amarelas que o padrão, finalmente, a variação total da tonalidade, dada pelo  $\Delta E$ , é visível para o olho humano para todas amostras, pois os valores de  $\Delta E$  são maiores que 1.

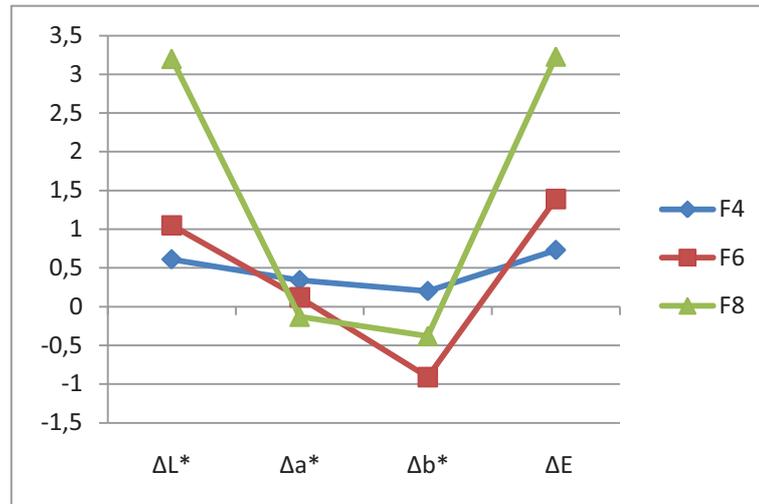
**Figura 40** – Traçado gráfico para a variação de tonalidade nas formulações com massa de tijolo.



(Fonte: Do autor)

Para as formulações com massa de telha (Figura 41), também ocorreu uma pequena variação para um tom mais claro, não sendo visível a olho nu na formulação F4, com 5% de lodo, e uma maior variação na formulação F8, com 15% do resíduo.

**Figura 41** – Traçado gráfico para a variação de tonalidade nas formulações com massa de telha



(Fonte: Do autor)

### 4.3 Avaliação técnica, econômica e ambiental

#### 4.3.1 Avaliação técnica

Segundo Andreoli (2006) a avaliação técnica visa analisar a viabilidade do uso de lodo como matéria-prima para a indústria cerâmica, principalmente com relação à qualidade do produto final. Para o caso específico de telhas e tijolos estes produtos devem atender às normas vigentes da ABNT, e deve-se também verificar se há disponibilidade de lodo para a aplicação em escala industrial.

Os corpos-de-prova fabricados com adição de lodo de anodização à massa cerâmica de tijolo, até o limite de 15% em massa, atenderam às especificações da legislação, tanto no que diz respeito à resistência à compressão, quanto à absorção de água. Os corpos-de-prova fabricados com adição de lodo de anodização à massa de telha atendem às especificações técnicas até o limite de 10% em massa para a resistência mecânica, sendo que o valor de absorção de água encontrado para as amostras fabricadas com 15% de lodo ficaram acima do padrão,  $\leq 20\%$ , estabelecido pela norma NBR 15270-3 (2005).

No entanto, para dar continuidade à pesquisa em uma escala industrial decidiu-se optar pelo limite de 10% de lodo a ser incorporado nas massas cerâmicas, uma vez que os valores de resistência à compressão e de absorção de água obtidos para os corpos fabricados com adição de 15% de lodo às massas

ficaram muito próximos ou mesmo abaixo dos limites para ambos os parâmetros, estabelecidos pelas legislações vigentes.

#### **4.3.2 Avaliação econômica**

Na estação de tratamento do processo de anodização de alumínio, o lodo geralmente é um subproduto de disposição final dispendiosa e problemática. Entre as alternativas mais usuais para a destinação destacam-se os aterros sanitários. Nos últimos tempos, muito tem sido discutido a respeito do uso de resíduos provenientes de ETE; como exemplo, pode-se citar a utilização como matéria-prima na indústria de cerâmica vermelha.

Os fatores de ordem econômica estão diretamente relacionados com as alternativas de reciclagem de resíduos, pois a disposição final do lodo em aterros sanitários pode representar 50% do custo operacional de uma ETE (ANDREOLI, 2006). Além disso, a reciclagem pode fornecer à empresa recicladora um menor custo com matérias-primas e economia no seu processo produtivo.

#### **5.3.2.1 Estimativas de custos operacionais: estudo de caso CEMAPA**

As estimativas de custo do processo de fabricação de telhas cerâmicas, apresentadas a seguir, baseiam-se em dados obtidos em maio de 2011, cedidos pela indústria cerâmica Maragno & Padoin Ltda. (CEMAPA), localizada no município de Morro da Fumaça, SC.

A produção média mensal de telhas é de 400.000 unidades. São utilizadas mensalmente em torno de 1.300 t de argila, equivalentes a 130 caminhões, considerando a capacidade de 10 t por caminhão. O custo para cada caminhão cheio é de R\$ 160,00 assim distribuídos: R\$ 150,00/argila e R\$ 10,00/transporte, neste caso já está incluso o combustível. A distância das jazidas até a cerâmica variam de 0,5 a 3 km.

A Tabela 3 apresenta o valor operacional mensal para a produção de 400.000 telhas, com base na média dos quatros primeiros meses de 2011. A empresa utiliza água de poço e não faz o controle do consumo.

**Tabela 3** – Resumo do custo operacional mensal para a produção de 400.000 telhas (indústria cerâmica CEMAPA)

Parâmetros	Custo mensal R\$	Valor percentual (%)
Argila	20.800,00	15,13
Lenha	45.619,00	33,19
Energia	17.283,00	12,57
Funcionários e encargos trabalhistas	53.746,00	39,10
Total	137.448,00	100,00

(Fonte: Do Autor)

Considerando que a indústria de anodização de alumínio gera uma quantidade média de 4 t por dia, quantidade que atende o consumo da cerâmica estudada com a introdução de 10% do resíduo em sua massa, e este resíduo irá ser fornecido gratuitamente. Em termos econômicos diretos, a indústria cerâmica estudada se beneficiaria com o uso do lodo incorporado a sua matéria-prima. Tendo-se que o valor gasto com argila (15,13%), que representa mensalmente R\$ 20.800,00 e com um percentual estimado de incorporação de lodo de 10% (em volume), isto implicaria para a empresa uma redução de R\$ 2.080,00, correspondente a 1,5% do custo total para fabricação de telhas.

#### 4.3.3 Avaliação Ambiental

A utilização do resíduo da ETE do processo de anodização reduz o consumo das argilas extraídas das jazidas, diminuindo os impactos ambientais oriundos da sua extração, além de reduzir significadamente à quantidade de lodo destinada ao aterro sanitário.

Pode-se afirmar que a cerâmica vermelha constitui-se como uma alternativa ambientalmente adequada para a disposição final do lodo. A alternativa de disposição do lodo em aterro sanitário é mais onerosa que a disponibilidade às indústrias cerâmicas. Além disso, a incorporação de 10% do lodo em cerâmica vermelha não ocasionará problemas de emissões atmosféricas que ultrapassem os padrões estabelecidos por norma, por ser uma porcentagem pequena em relação à quantidade dos óxidos presentes.

Observa-se que conforme a classificação da NBR ISO 10004 ABNT (1987), a estocagem do lodo in natura no pátio da cerâmica, deve ocorrer em lugar adequado, onde não haja o contato direto com solo, para assim evitar possíveis contaminações do solo, lençol freático e recursos hídricos próximos.

## 5 CONCLUSÃO

A crescente competitividade entre as indústrias produtoras de cerâmica vermelha, aliado ao aumento da preocupação das empresas com o meio ambiente e os impactos gerados pelos seus processos, estão levando as mesmas a uma busca incessante por novas alternativas de matérias-primas, que venham agregar qualidade, ao produto e meio ambiente, e resultar em ganhos econômicos.

Para reutilizar um resíduo é necessário inicialmente saber suas características e composição e a partir disso avaliar sua disponibilidade e alternativas de reutilização, fazendo os estudos necessários. Os resultados dos ensaios laboratoriais demonstraram que a incorporação de lodo na massa padrão em até 10% não afetou significativamente as características de absorção d'água, retração linear, perda de massa e resistência mecânica. Os tijolos e telhas não apresentaram mudança na tonalidade com a introdução do lodo, apenas na luminosidade, sendo mais claras.

A utilização do lodo resultante do processo de anodização de alumínio como matéria prima para produtos cerâmicos vermelhos mostrou-se uma técnica economicamente viável para ambos os lados, já que com este procedimento reduzem-se os gastos com matéria-prima na cerâmica, com aterro controlado e transporte até o destino na indústria de alumínio, havendo também uma diminuição do passivo ambiental das empresas, ao mesmo tempo em que se preservem o meio ambiente.

### 5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Utilização do resíduo da ETE do processo de anodização de alumínio em:

- cerâmica refratária;
- na produção fritas cerâmicas;
- em vidrados cerâmicos;
- espumas cerâmicas para filtros para fundição de metais.

## REFERÊNCIAS

ABCERAM, Associação Brasileira de Cerâmica. **Cerâmica no Brasil: Introdução**. Disponível em: <[http://www.abceram.org.br/asp/abc\\_21.asp](http://www.abceram.org.br/asp/abc_21.asp)>. Acesso em 16 mar. 2011.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004/2004. Resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-3/2005. Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15310-3/2005. Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, Requisitos e Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

AFANCER, Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica para Revestimento. **História da Cerâmica**. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/principal.aspx?tela=ucTelaConteudos&idMenu=92>>. Acesso em 01 mar. 2011.

ANDREOLI, C.V. Programa de pesquisa em saneamento básico. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Curitiba, PR: ABES, 2006. 398p.

ARAÚJO, M.C.C.C. **Mapeamento da qualidade ambiental nas organizações privadas de Santa Catarina ISO 14000 e Produção Mais Limpa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

ARAÚJO, Rodrigues & Freitas. **Materiais de Construção**: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2000. 325p.

BROCCHI, Eduardo. **Introdução à Engenharia Metalúrgica – IEM**. PUC, Rio de Janeiro, XXXX.

CABRAL JUNIOR, M. et al. Argilas para cerâmica vermelha. In: Luz, A.B.; LINS, F.A.F. **Rochas e minerais industriais**: Usos e especificações. Rio de Janeiro, RJ: CETEM MCT, 2005. P.583-605.

CASAGRANDE, Cíntia. **Empresas do setor cerâmico buscam soluções para preservar o meio ambiente.** Revista NovaCer, N. 07, 2010. P.16-18.

CASTRO, A.C.F.; OLIVEIRA, E.B. **O desenvolvimento sustentável e as implicações da Produção Mais Limpa: Um estudo de caso no setor moveleiro.** 2007. Disponível em:<[http://www.fap.com.br/artigo\\_exaluna.pdf](http://www.fap.com.br/artigo_exaluna.pdf)>. Acesso em 28 fev. 2011.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica branca e de revestimento: Série P+L.** 2008. Disponível em:<<http://www.crq4.org.br/downloads/ceramica.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2011.

CHIODI FILHO, C. Situação e perspectivas brasileiras do setor de rochas ornamentais e de revestimento. In: Ribeiro, A.F. **Simpósio brasileiro de rochas ornamentais i, seminário de rochas ornamentais do Nordeste.** Salvador: 2001. P.2-12.

CNTL, Centro Nacional de Tecnologias Limpas do Brasil. **Implementação de programas de Produção Mais Limpa.** 2003. Disponível em:<[http://www.ifm.org.br/moodle/file.php/19/CNTL\\_guia\\_P\\_L.pdf](http://www.ifm.org.br/moodle/file.php/19/CNTL_guia_P_L.pdf)>. Acesso em: 25 fev. 2011.

CNTL, Centro Nacional de Tecnologias Limpas do Brasil. **Produção Mais Limpa em padarias e confeitarias/SENAI.** Departamento Regional do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 2007. 74p.

DA SILVA, R. B; WOLQUIND, C. S; DA SILVA, F.S; PORTO, A. G; DA SILVA, F. T. **C. Aplicação Da Produção Mais Limpa No Processo De Clarificação Do Caldo De Cana Para Produção De Açúcar.** XXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção - A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável, Rio de Janeiro, 2008.

DNPM, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Normas Reguladoras de Mineração - NRM-02 – Lavra a Céu Aberto.** Portaria Nº 237, de 18 de OUTUBRO DE 2001.

ECP, Engenheiros Consultores e Projetistas e FATMA, Fundação do Meio Ambiente. Programa de conservação e recuperação ambiental da região sul de Santa Catarina: **Projeto A – avaliação de Impacto Ambiental da Bacia Carbonífera de Santa Catarina.** Florianópolis, 1982. 152p.

ELIANE REVESTIMENTOS CERÂMICOS. **Procedimento e Instrução de Trabalho.** Manual da qualidade. Santa Catarina, 2005.

FACINCANI, E. **Cerâmica estrutural: Coletânea de tecnologia cerâmica.** São Paulo: Faenza Editrice, 2002. 276p.

GÊNESIS INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS QUÍMICOS. **Tire Suas Duvidas: o que é colorimetria?**. Disponível em: <<http://www.genesistintas.com.br/oqueecolorimetria.php>>. Acesso em 29 abr. 2011.

GOULARTI FILHO, A. **Formação econômica de Santa Catarina.** 2.ed.rev. Ed. UFSC. Florianópolis, 2007.

HENRIQUES, L.P.; QUELHAS, O.L.G. **Produção Mais Limpa: Um exemplo para sustentabilidade nas organizações.** 2007. Disponível em: <[http://www1.sp.senac.br/hotsites/sigas/docs/20071016\\_CAS\\_ProducaoMaisLimpa.pdf](http://www1.sp.senac.br/hotsites/sigas/docs/20071016_CAS_ProducaoMaisLimpa.pdf)>. Acesso em 25 fev. 2011.

INTERVALO CERÂMICO, Anicer. **Adequação Ambiental em Alagoas: Representantes promovem reunião pelo desenvolvimento sustentável.** Rio de Janeiro: Anicer. N.5, 2010. P. 5-6.

LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE MINERAIS E ROCHAS. **Equipamentos analíticos.** Disponível em: <<http://www.lamir.ufpr.br/equipamentos.htm>>. Acesso em: 04 abr. 2011.

LDCM, Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais. **Determinação da Análise Química por Espectrometria de Fluorescência De Raios X E Espectrometria De Absorção Atômica.** Criciúma: SENAI, 2011.

LDCM, Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais. **Determinação das Fases Mineralógicas por DRX da Amostra in Natura.** Criciúma: SENAI, 2008.

LEI DE RESÍDUOS. **Revista da Anicer.** Rio de Janeiro: Anicer. N.66, 2011. P.30-31.

MACCARI, I.M.S. **Morro da Fumaça: Passado e presente.** Morro da Fumaça, SC: Editora Soller, 2005. 58p.

MÁS, E. **Qualidade & tecnologia em cerâmica vermelha**. 2ª ed. São Paulo: Polo Produções, s.d.191p.

MILANEZ, P.H.A. Fabricação de revestimentos a partir de resíduos sólidos. **Revista de Iniciação Científica**. Criciúma: V.1, N.1, 2003. P.129-143.

NAVARRO, R.F. **Materiais e ambiente**. João Pessoa: Universitária, 2001. 180p.

NEWSPAPER & TECHNOLOGY. **Graybalance: A key element in color reproduction**. Disponível em:  
<<http://images.google.com.br/imgres?imgurl=http://www.newsandtech.com/issues/2002/02>>. Acesso em 25 mai. 2011.

NUNES JUNIOR, M.L. **Aplicação da metodologia Produção Limpa em uma pequena empresa de laticínios**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2002. 104p.

PEREIRA, S.V. **Avaliação de método de reutilização do resíduo do processo de anodização**. TCC (Graduação em Engenharia Química), Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2008.40p.

PROGESC. **Programa de Informações Básica para Gestão Territorial de Santa Catarina**: Fontes de Poluição. Criciúma, 1995.

SALVADOR, Luciana Zanivam Fontana. **Estudo da piroplasticidade em porcelanato**. . TCC (Curso de Tecnologia em Cerâmica) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009. 71p.

SANTA CATARINA, **Diagnóstico do Setor de Cerâmica Vermelha em Santa Catarina**. Florianópolis, SC: 1990. 38p.

SANTOS, P.S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. N.2, São Paulo, 1989. 408p.

SEBRAE, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Cerâmica Vermelha para Construção: Telhas, Tijolos e Tubos. Relatório Completo**. Estudos de Mercado SEBRAE/ESPM. 2008. 95p.

SENAI, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **Distribuição granulométrica cilas 1064 líquido**. Criciúma, 2011.

SILVA, J.. **Incorporação de Resíduos à Massa Ganha Espaço**. Revista da ANICER, N. 68, 2011. P.14-15.

SILVEIRA, P. C. M. **Reciclagem de resíduos do tratamento do alumínio (anodização)**. Gestão de Resíduos sólidos – Prática, Centro Universitário Leonardo da Vinci, Indaial, 2010. 9p.

SPADER, R.Z. **Introdução de novos materiais em massas de telhas cerâmicas**. 2009. 68f. TCC (Curso de Tecnologia em Cerâmica), Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

STRAUCH, M.; ALBUQUERQUE, P. **Resíduos: Como lidar com recursos naturais**. São Leopoldo, RS: Oikos, UPAN, 2008. 220p.

TEIXEIRA, A. **Entrevista com o contador do SINDICER, sobre o setor de cerâmica estrutural**. Morro da Fumaça, SC, 2007.

VELHO, P.L.T. **Estudo para reaproveitamento de rejeito cerâmico na produção de engobes**. 2010. 12f. TCC Artigo (Graduação em Tecnologia em Cerâmica), Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, 2010.

VERÇOSA, G.J. **Materiais de construção I**. 1987. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade de Santa Maria. Santa Maria, 1987. 153p.

VILAR, V.S. **Perfil e perspectivas da indústria de cerâmica vermelha no sul de Santa Catarina**. Urussanga: 1988. 216p.

VILLAGRES REVESTIMENTOS CERÂMICOS. **Orientações técnicas**. Disponível em: <<http://www.villagres.com.br/orientacoestecnicas.php>>. Acesso em: 04 abr. 2011.

VILHENA, A.; POLITI, E. **Reduzindo, reutilizando, reciclando: A indústria ecoeficiente**. São Paulo: CEMPRE, 2000. 83p.

**ANEXO(S)**

**ANEXO A – Classificação do resíduo da ETE do processo de anodização de alumínio.**