

**Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo**

ADRIANO FERREIRA CHOTOLI

Aplicações de resíduo sólido proveniente do processo de fabricação  
de fogões domésticos em peças de argamassa de cimento

São Paulo

2007

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ADRIANO FERREIRA CHOTOLI

Aplicações de resíduo sólido proveniente do processo de fabricação  
de fogões domésticos em peças de argamassa de cimento

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas  
Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, para  
obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.  
Área de concentração: Mitigação de Impactos Ambientais

Orientador: Dra. Mônica Speck Cassola

São Paulo

Janeiro de 2007

**C551A CHOTOLI, ADRIANO FERREIRA**

Aplicações de resíduo sólido proveniente do processo de fabricação de fogões domésticos em peças de argamassa de cimento. / Adriano Ferreira Chotoli. São Paulo, 2007.

107p.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Mitigação de Impactos Ambientais.

Orientadora: Profa. Dra. Mônica Speck Cassola

1. Resíduo sólido 2. Pintura 3. Esmaltação 4. Processo industrial 5. Tratamento de efluente 6. Fabricação de fogão 7. Argamassa de cimento 8. Tese I. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Coordenadoria de Ensino Tecnológico II. Título

07-110

CDU 628.544(043)

Dedico esta obra à minha amada esposa Josemary e as  
minhas filhas Beatriz e Isabel.

"Inclina o teu ouvido e ouve as palavras dos sábios, e aplica o teu coração à minha ciência".

Provérbios de Salomão, 22:17

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABELAS.....	xv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xvi
GLOSSÁRIO.....	xvii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos .....	1
1.2 Estrutura do Trabalho .....	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 Histórico e Evolução da Indústria Manufatureira.....	3
2.2 Considerações Gerais sobre Geração de Resíduos .....	4
2.3 Classificação de Resíduos Sólidos .....	6
2.4 Laudo de Classificação.....	7
2.5 Destinação de Resíduos .....	7
2.6 Aterro Industrial.....	7
2.7 Impacto dos Metais Pesados na Saúde .....	8
2.8 Metodologia para Reutilização de Resíduo .....	14
2.9 Materiais Utilizados na Construção Civil .....	17
2.10 Reutilização de Resíduos Sólidos .....	21
2.11 Processo de Estabilização e Solidificação.....	26
2.12 Matrizes Confinadoras de Resíduos Tóxico .....	26
3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE FOGÕES .....	29
3.1 Aspectos Gerais do Processo de Fabricação.....	29
3.2 Generalidades do Processo de Acabamento para Fogões Domésticos .....	33
3.3 Processo de Pintura Eletrostática.....	34
3.3.1 Pré-tratamento da Superfície para Pintura .....	34
3.3.2 Aplicação da Tinta em Pó.....	38
3.3.3 Polimerização (Cura).....	40

3.4	Processo de Esmaltação Vítreo .....	40
3.4.1	Pré-tratamento da Superfície para Esmaltação Vítreo .....	43
3.4.2	Preparação do Esmalte .....	44
3.4.3	Aplicação do Esmalte .....	44
3.4.4	Secagem do Esmalte .....	53
3.4.5	Processo de Queima em Forno .....	53
4	GERAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE FOGÕES .....	56
4.1	Aspectos Gerais da Geração do Resíduo Sólido .....	56
4.2	Efluentes do Processo de Pintura .....	56
4.3	Efluentes do Processo de Esmaltação .....	60
4.4	Efluentes do Processo de Esmaltação Vítreo .....	63
4.5	Tratamento dos Efluentes .....	64
5	PROGRAMA EXPERIMENTAL DE ENSAIOS .....	67
5.1	Método .....	67
5.2	Preparação e características dos materiais utilizados nos ensaios .....	68
5.2.1	Resíduo da Estação de Tratamento .....	68
5.2.2	Materiais de Construção Utilizados nas Dosagens das Argamassas .....	71
6	EXPERIMENTOS .....	74
6.1	Preparo das Argamassas .....	74
6.2	Moldagem e Cura .....	75
6.3	Ensaio de Resistência à Tração na Flexão e Compressão Axial .....	76
6.4	Ensaio de Lixiviação e Solubilização do Resíduo e das Argamassas .....	78
7	RESULTADOS .....	79
7.1	Resultados dos Ensaios de Resistência à Tração na Flexão e à Compressão Axial .....	79
7.2	Resultados de Solubilização e Lixiviação .....	81
8	DISCUSSÃO .....	84
8.1	Análise dos Ensaios de Flexão e Compressão Axial .....	84
8.2	Análise dos Ensaios de Lixiviação e Solubilização .....	86



8.3	Correlação entre os Resultados Físicos e Químicos .....	88
9	ESTUDO PRELIMINAR DE APLICAÇÕES DO RESÍDUO.....	93
9.1	Processo de Fabricação de Contrapesos de Fogões .....	95
9.2	Diagrama de Fluxo para Mapeamento do Resíduo Sólido Disponível .....	98
10	CONCLUSÃO .....	99
11	REFERÊNCIAS	

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por todo o bem que me tem feito desde a minha meninice até este prezado momento. Em segundo lugar agradeço a todos que de uma forma ou de outra colaboraram para a realização deste trabalho. À minha amada esposa Josy e minhas filhas Beatriz e Isabel que tiveram paciência comigo durante estes anos de dedicação à pesquisa acadêmica. A minha querida Mãe Noemia e ao Saudoso Pai João que se estive em nosso meio hoje, estaria muito orgulhoso deste trabalho. A Prof. Dr. Mônica Speck Cassola, por sua orientação e compreensão das dificuldades encontradas na elaboração desta pesquisa ; ao meu grande irmão Fabiano que com carinho me ajudou na formatação e pesquisa, à Vera Gobetti, Fábio Barreto, Javier Uria, Robert Zizler, João Nascimento, Maria Luiza e a BSH Continental Eletrodomésticos Ltda. por me apoiarem e cederem os materiais para pesquisa, a todos do Laboratório de Química da divisão de Construção Civil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, os quais ajudaram na execução dos ensaios experimentais em especial ao Valdecir e ao Leopoldo, aos meus colegas de trabalho Ivana, Isabella, Cíntia, Ricardo, Roberto Esteves, Juscelino, Carlos, Tony, Régis e Armando por me ajudarem nos materiais de pesquisa, ao Roberto Daniel por me ajudar a formatar a tradução do Abstract, a Edna que ajudou na revisão das referências bibliográficas e finalmente ao Dr. Jean e a Dra. Clarita por participarem da banca de avaliação.

## RESUMO

A BSH Continental Eletrodomésticos Ltda., fabricante de fogões domésticos, localizada na cidade de São Paulo, gera cerca de 240 toneladas por ano de resíduo sólido proveniente dos processos de esmaltação e pintura. Este resíduo comumente chamado de lodo é constituído de material inorgânico impregnado com fluoreto, zinco, cloreto, bário, sódio, entre outros elementos químicos, elementos estes que conferem ao mesmo à classificação de resíduo classe II A – resíduo não-perigoso e não inerte. Este trabalho foi desenvolvido com a finalidade de reaproveitá-lo na fabricação de artefatos de argamassa de cimento. Os estudos foram realizados em 48 corpos-de-prova fabricados de 0%, 1%, 5% e 10% de resíduos em peso em substituição da areia em um traço de 1:4. Os ensaios de resistência à compressão, de lixiviação e solubilização apresentaram resultados satisfatórios para os corpos de prova com 1% de resíduo apontando a viabilidade para a sua utilização em escala piloto, e sinaliza para a sua adoção para fabricação de artefatos de argamassa.

Palavras-chave: aplicação de resíduo sólido, fogões domésticos, esmaltação, pintura e artefatos de argamassa.

## ABSTRACT

The BSH Continental Eletrodomésticos Ltda, gas cooker manufacturer, situated in São Paulo – capital city, generates approximately 240 t of solid waste each year which comes from the painting and enameling processes. This residue, commonly named as “silt”, is comprised of inorganic material impregnated with fluorides, zinc, chlorides, barium, sodium among others chemical elements, which confer to exactly the residue classification class IIA – not-dangerous and not inert. This paperwork has been developed with the aim of reuse it in the fabrication of cement mortar devices. The studies have been carried out in 48 specimen produced with 0%, 1%, 5% and 10% of residue in weight in substitution of sand in a proportion of 1:4. The tests of compressive strength, leaching and solubility have shown satisfactory results for the 1% residue specimen, which led to the conclusion to be viable for its use in pilot tests, and as a consequence a possible adoption into the fabrication of cement mortar devices in a near future.

**Key-words:** application of solid waste; cookers; enameling, painting and artifacts of ciments.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fluxograma da identificação de alternativas com potencial técnico através de consulta a grupo de especialistas e seleção de alternativas mais viáveis a partir de análise ambiental, econômica, de saúde e técnica. ....	16
<b>Figura 2:</b> Fluxograma de metodologia para pesquisa de desenvolvimento de reutilização de resíduo sólido. ....	16
<b>Figura 3:</b> Diagrama de curvas isobáricas para dosagem de areia. ....	19
<b>Figura 4:</b> Fluxograma básico do processo de fabricação de fogões domésticos. ....	29
<b>Figura 5 :</b> Foto ilustrando prensa executando processo de estampagem. ....	30
<b>Figura 6:</b> Foto ilustrando detalhe ferramenta dentro da prensa, blank (chapa lisa) a esquerda e peça após conformada a direita. ....	31
<b>Figura 7:</b> Foto ilustrando contentor de peças em aço inoxidável prontas para uso..	32
<b>Figura 8 :</b> Foto ilustrando cavidades esmaltadas para forno de fogões .....	32
<b>Figura 9:</b> Foto ilustrando típica linha de montagem de fogões .....	33
<b>Figura 10:</b> Ilustração esquemática do sistema de pré-tratamento multiestágio. ....	36
<b>Figura 11:</b> Desenho ilustrativo de um típico túnel mútiestágio para pré-tratamento..	37
<b>Figura 12:</b> Desenho ilustrativo da árvore montada dentro do túnel. ....	37
<b>Figura 13:</b> Desenho ilustrativo de típica cabine de aplicação de tinta em pó .....	38
<b>Figura 14:</b> Desenho em corte de uma típica cabine de aplicação, ilustrando os fluxos de ar e da tinta em pó dentro da cabine. ....	39
<b>Figura 15:</b> Desenho esquemático dos equipamentos de aplicação a tinta em pó por meio de carga elétrica. ....	39
<b>Figura 16:</b> Desenho esquemático ilustrando o funcionamento de uma típica pistola de aplicação e o efeito corona. ....	40
<b>Figura 17:</b> Fluxograma básico do processo de manufatura de peças esmaltadas ....	42
<b>Figura 18:</b> Desenho esquemático típico de uma instalação de esmaltação em pó... ..	42
<b>Figura 19:</b> Foto ilustrativa de um típico agitador em funcionamento. ....	44
<b>Figura 20:</b> Foto ilustrando método de aplicação de esmalte líquido por imersão. ....	45
<b>Figura 21:</b> Desenho ilustrativo de típica instalação de aplicação de esmalte por imersão. ....	46
<b>Figura 22:</b> Foto ilustrativa do processo de desobstrução de furos com pistola de ar comprimido. ....	46

<b>Figura 23:</b> Foto ilustrativa do processo de aspiração de excesso de esmalte com bico especial.....	47
<b>Figura 24:</b> Desenho ilustrativo de uma típica pistola manual de aplicação de esmalte por aerossol. ....	48
<b>Figura 25:</b> Desenho em corte ilustrando uma típica pistola de aplicação automática de esmalte.....	48
<b>Figura 26:</b> Desenho ilustrativo do formato dos leques produzidos pelas pistolas de aplicação. ....	49
<b>Figura 27:</b> Desenho ilustrativo exemplificando o método errado ( <i>wrong</i> ) e o correto ( <i>right</i> ) de aplicação de esmalte com pistola manual. ....	49
<b>Figura 28:</b> Desenho ilustrativo de típica instalação de cabine de aplicação ilustrando o sistema completo de ar comprimido e esmalte. ....	49
<b>Figura 29:</b> Foto ilustrando o método de aplicação com bico de pato.....	50
<b>Figura 30:</b> Desenho ilustrando típica cabine automática para flow coating. ....	51
<b>Figura 31:</b> Desenho ilustrativo do processo de ionização das partículas de esmalte em pó e processo de formação da gaiola de <i>Faraday</i> . ....	52
<b>Figura 32:</b> Desenho esquemático típico de sistema de aplicação de esmalte em pó. ....	52
<b>Figura 33:</b> Desenho esquemático de instalação de esmaltação utilizando a estufa de secagem ( <i>drier</i> ) logo após a aplicação e antes do forno de esmaltação. ....	53
<b>Figura 34:</b> Desenho parcial de um forno de esmaltação utilizando tubo radiante tipo S. ....	54
<b>Figura 35:</b> Foto parcial do túnel de pré-tratamento TRIAB. ....	57
<b>Figura 36:</b> Foto ilustrando peças dependurada em gancheiras presas em transportador aéreo tubular. ....	58
<b>Figura 37:</b> Fluxograma do processo de pré-tratamento da pintura. ....	59
<b>Figura 38:</b> Foto ilustrativa do processo de pré-tratamento por imersão em tanques. ....	60
<b>Figura 39:</b> Desenhos ilustrativos de tanques com serpentina utilizados em processos de imersão. ....	61
<b>Figura 40:</b> Fluxograma do processo de pré-tratamento da esmaltação por imersão. ....	62
<b>Figura 41:</b> Fluxograma ilustrativo do processo de esmaltação vítrea. ....	63

<b>Figura 42:</b> Foto da parte inferior da estação mostrando a disposição do resíduo sólido em sacos tipo <i>big-bag</i> .....	65
<b>Figura 43:</b> Fluxograma ilustrativo do processo de tratamento de efluentes. ....	66
<b>Figura 44:</b> Aspecto do resíduo, durante a etapa de secagem em estufa.....	71
<b>Figura 45:</b> Molde para corpos-de-prova prismáticos 40 mm x 40 mm x 160 m.....	75
<b>Figura 46:</b> Mesa de adensamento para moldagem de corpos de prova. ....	76
<b>Figura 47:</b> Vistas frontal e lateral do corpo-de-prova encaixado no dispositivo de carga para determinação da resistência à tração na flexão. ....	77
<b>Figura 48:</b> Dispositivo de carga para determinação da resistência à compressão axial .....	78
<b>Figura 49:</b> Resistência à tração na flexão aos 7 e aos 28 dias, em função das argamassas estudadas .....	80
<b>Figura 50:</b> Resistência à compressão axial aos 7 e aos 28 dias, em função das argamassas estudadas .....	80
<b>Figura 51:</b> Elementos vazados de argamassa.....	93
<b>Figura 52:</b> Pré-moldados em argamassa de cimento. ....	94
<b>Figura 53:</b> Desenho de contrapeso de fogão doméstico.....	95
<b>Figura 54:</b> Fluxograma de processo de fabricação de contrapeso de fogão.....	95
<b>Figura 55:</b> Foto ilustrando o processo de mistura (massada) dos elementos areia, cimento, limalha de ferro. ....	96
<b>Figura 56:</b> Foto ilustrando máquina de prensar contrapesos de fogões. ....	96
<b>Figura 57:</b> Foto de detalhe do molde de fabricação de contrapeso de fogão.....	97
<b>Figura 58:</b> Foto ilustrativa de contrapesos de cimento prontos.....	97
<b>Figura 59:</b> Diagrama de fluxo para ilustrar o potencial quantitativo do resíduo sólido em argamassa de cimento. ....	98

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização do resíduo de ETE .	69
<b>Tabela 2 :</b> Resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização do resíduo de ETE	70
<b>Tabela 3:</b> Parâmetros químicos e físico-mecânicos do cimento Portland CP II-E classe 32, de acordo com a ABNT NBR 11578:1991.....	72
<b>Tabela 4:</b> Parâmetros da Areia Normal Brasileira utilizada nas argamassas. ....	73
<b>Tabela 5:</b> Proporção dos materiais empregados nas argamassas e parâmetros no estado fresco.....	74
<b>Tabela 6:</b> Resultados de resistência à tração na flexão e à compressão axial. ....	79
<b>Tabela 7:</b> Avaliação preliminar para os ensaios de lixiviação e solubilização .....	81
<b>Tabela 8:</b> Teores dos elementos inorgânicos obtidos nos ensaios de lixiviação do resíduo da ETE e das argamassas estudadas. ....	82
<b>Tabela 9:</b> Teores dos elementos inorgânicos obtidos nos ensaios de solubilização do resíduo da ETE e das argamassas estudadas. ....	83
<b>Tabela 10 –</b> Resultados de correlação entre o resíduo e os resultados dos ensaios de compressão e flexão.....	85
<b>Tabela 11 –</b> Correlação entre os resultados de solubilização e compressão 28 dias. ....	88
<b>Tabela 12 –</b> Correlação entre os resultados de solubilização e compressão 7 dias.	89
<b>Tabela 13 –</b> Correlação entre os resultados de lixiviação e compressão 28 dias.....	89
<b>Tabela 14 –</b> Correlação entre os resultados de lixiviação e compressão 7 dias. ....	90
<b>Tabela 15 –</b> Correlação entre os resultados de solubilização e flexão 28 dias. ....	90
<b>Tabela 16 –</b> Correlação entre os resultados de solubilização e flexão 7 dias. ....	91
<b>Tabela 17 –</b> Correlação entre os resultados de lixiviação e flexão 28 dias. ....	91
<b>Tabela 18 –</b> Correlação entre os resultados de lixiviação e flexão 7dias. ....	92



**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABETRE	Associação Brasileira de Empresas de Tratamento, Recuperação e Disposição de Resíduos Especiais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Association Institute
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de alumínio ou alumina
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de boro
CaO	Óxido de cálcio ou cal
CTObras	Centro de Tecnologia de Obras de Infraestrutura
DNA	Ácido desoxirribo nucléico
ELETROS	Associação Nacional dos Fabricantes de Eletroeletrônicos
EPR	<i>Extended Producer Responsibility</i> – Responsabilidade Extendida do Produtor
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
EVA	<i>Ethylene Vinyl Acetate</i> – Etileno Vinil Acetato
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de ferro
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
K <sub>2</sub> O	Oxido de potássio
MgO	Óxido de magnésio
PET	Polietileno tereftalato
RCD	Resíduo de construção e demolição
SiO <sub>2</sub>	Óxido de silício ou sílica
SNC	Sistema nervoso central
SO <sub>3</sub>	Anídrido sulfúrico
TiO <sub>2</sub>	Óxido de titânio
ZrO <sub>2</sub>	Óxido de zircônio

## GLOSSÁRIO

Blank: Chapa de aço recortada utilizada como matéria-prima para conformação de metais

Brainstorm: técnica de discussão em grupo que se vale da contribuição espontânea de idéias por parte de todos os participantes, no intuito de resolver algum problema ou de conceber um trabalho criativo.

Desenvolvimento sustentável: Desenvolvimento com base na preservação dos recursos naturais para as gerações futuras

Emulsificação: dispersão coloidal de um líquido em outro

Impacto ambiental: Efeito negativo ou positivo causado por aspecto ambiental: ex.: poluição do ar, água, solo.

Mercado verde: Mercado consumidor de produtos e serviços chamados ecologicamente corretos, ou seja, produzidos de forma que não prejudique o meio ambiente.

Mitigação: Ação de reduzir ou eliminar um impacto ambiental

Solubilização: dissolução de compostos em um solvente

## 1 INTRODUÇÃO

Tudo o que hoje vemos e sentimos um dia será resíduo, como por exemplo, os brinquedos, as casas, os automóveis, os eletrodomésticos, sendo que os resíduos têm que ser no mínimo iguais às matérias-primas dos bens que consumimos, porém o processo de produção é um processo de concentração e de purificação (JOHN, 2003).

No princípio do século passado, o homem consumiu mais recursos do que todo o resto de sua existência na face da terra, fazendo assim com que a sociedade se depare-se com dois de seus maiores problemas: o primeiro é a do esgotamento e a destruição dos seus recursos naturais e, o segundo a grande geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos (ZATTERA, 2000). Neste contexto a sociedade vem reagindo e pressionando o poder público e o setor privado com relação ao trato das questões ambientais. Assim vemos que dia a dia novas leis são estabelecidas e parâmetros de controles ambientais são cada vez mais rigorosos (LÉBEIS, 2003). Outra preocupação é a de procurar a reutilização do resíduo sólido gerado.

Bitencourt et al. (2002), cita que a reciclagem e reutilização de resíduos provenientes de diversos processos industriais como novos materiais para a construção civil, tem sido cada vez mais desenvolvida em diferentes linhas de pesquisa. Neste contexto, o presente trabalho vem contribuir para uma melhor compreensão do comportamento do resíduo sólido gerado no tratamento de efluentes líquidos dos processos de esmaltação e pintura, selecionado para ser utilizado em substituição à areia utilizada na fabricação de artefatos de argamassa, bem como discorre sobre as características dos processos estudados e seu balanço de massa.

### 1.1 Objetivos

Avaliar a possível aplicação de resíduo sólido, proveniente do tratamento de efluentes de uma fábrica de fogões domésticos, para a fabricação de artefatos de argamassa utilizados na construção civil.

Para o alcance do objetivo será necessária a adoção de objetivos específicos, que são: a caracterização do resíduo sólido, os ensaios de corpos de prova com diferentes dosagens do resíduo sólido e os ensaios de lixiviação e solubilização dos corpos-de-prova .

## 1.2 Estrutura do Trabalho

Para uma melhor compreensão o trabalho está dividido em onze capítulos sendo: No Capítulo 1 tem a Introdução, onde se aborda os aspectos gerais, o objetivo e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 é a revisão bibliográfica onde se aborda o histórico da indústria manufatureira, os aspectos gerais das gerações de resíduos, os impactos dos metais pesados sobre a saúde humana, a metodologia de reaproveitamento de resíduo, os materiais utilizados na construção civil e os exemplos de pesquisas realizadas com o objetivo da reutilização dos resíduos sólidos.

O Capítulo 3 tem como objetivo discorrer sobre processo de fabricação de fogões com ênfase aos processos de pré-tratamento superficial para os processos de pintura eletrostática e esmaltação vítrea; também se discorre sobre estes dois processos de revestimentos, e é ilustrado na forma de fluxogramas mostrando a interação destes processos com o processo de tratamento de efluentes. Apresenta-se um balanço de massas onde é indicado as várias entradas e saídas, bem como as interações delas com o processo de tratamento de efluentes no qual é gerado o resíduo sólido deste estudo.

O Capítulo 4 trata do mapeamento da geração do resíduo sólido no processo de acabamento de fogões e as características do tratamento de efluentes.

O Capítulo 5 é dedicado ao programa experimental que trata sobre a caracterização do resíduo sólido (lodo) da estação de tratamento e a definição dos traços utilizando o lodo para a fabricação de corpos de prova de argamassa.

O Capítulo 6 trata da execução dos experimentos, ensaios de flexão e compressão e ensaios químicos dos corpos-de-prova (lixiviação e solubilização).

O Capítulo 7 apresenta os resultados dos ensaios físico-mecânicos (flexão e compressão) e químicos (lixiviação e solubilização).

No Capítulo 8 é feita a análise dos resultados e discussão por meio de correlação entre os resultados físicos e os químicos.

No Capítulo 9 é apresentado estudo preliminar de aplicações do resíduo com descrição do processo de fabricação de artefatos de argamassa.

No Capítulo 10 são apresentadas as conclusões do trabalho executado e no Capítulo 11 são apresentadas as referências bibliográficas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Histórico e Evolução da Indústria Manufatureira

Segundo Martins e Laugeni (2001), desde o surgimento do homem na face da Terra, o mesmo busca ao longo de sua existência uma evolução sistêmica na manufatura dos objetos necessários à sua subsistência, desde as primeiras armas e/ou ferramentas utilizadas para caça até os modernos meios de transporte, como os aviões e automóveis. A maneira como as empresas tratam a definição do produto que produzirão para atender o mercado tem variado ao longo do tempo, assim como tem variado a forma de administrar o respectivo processo produtivo. De início o artesanato atendia às necessidades específicas de seus clientes, que ditavam com precisão a forma e as características do produto que encomendavam.

Não se pode afirmar que os consumidores da época definiam as características do mercado consumidor como atualmente é conhecida, mas é possível afirmar que o consumidor ditava as regras (MARTINS e LAUGENI; 2001). Com o advento da Revolução Industrial, surge a necessidade de padronização dos produtos e processos. Assim, o consumidor perdeu o poder de influenciar na definição de produtos que iria consumir, ficando este poder com os projetistas, que, via de regra, não consultavam o mercado quanto às suas necessidades.

Dentro dessa filosofia, as empresas evoluíram até a década 60, fase extremamente profícua da história da industrialização, na qual surgiu um grande número de técnicas de engenharia industrial, sempre com o objetivo de melhorar a produtividade e reduzir custos. Nessa fase de produção em massa, a preocupação dos engenheiros era produzir a maior quantidade de produto possível, cabendo ao pessoal de vendas o problema de colocar os produtos no mercado. É bem característica dessa fase uma famosa frase de Henry Ford: "Todo cliente pode ter um automóvel de qualquer cor, desde que seja da cor preta". Esta fase é denominada como *product-out*, isto é "colocar" o produto no mercado.

Logo após a Segunda Guerra Mundial, os japoneses desenvolveram novas estratégias empresariais voltadas para exportação de seus produtos, visando conquistar o mercado mundial. É do conhecimento de todos o sucesso obtido pelos japoneses, que optaram pela procura incansável de melhorias de qualidade de seus produtos, aqui entendidas como atendimento às necessidades dos consumidores. Assim, utilizaram a

qualidade como uma estratégia mercadológica e foram pouco a pouco ganhando mercados externos, principalmente o americano, que ainda permanecia atrelado a antigos conceitos de grandes volumes de produção e visão de curto prazo quanto ao lucro e retorno de capital investido. Nesta nova definição de estratégia de conquista de novos consumidores, as empresas foram obrigadas a dar cada vez mais atenção à voz do mercado. Surge então uma nova abordagem à definição dos produtos a serem fabricados ou serviços a serem prestados, chamados de *market-in*, que é denominada como sendo levar para dentro da empresa aquilo que o mercado quer.

## **2.2 Considerações Gerais sobre Geração de Resíduos**

Um produto não é apenas qualquer bem ou objeto físico que possa ser oferecido a um mercado para satisfazer um desejo ou necessidade: é também um pacote completo de benefícios ou de satisfação que os compradores percebem que obterão se o adquirirem, além da soma de atributos físicos, psicológicos, simbólicos e de serviço. Segundo Chaves e Mainier (2004), atualmente a preocupação ambiental atinge todas as atividades humanas. Os governos estão adotando legislações mais rigorosas e a sociedade está exigindo produtos e processos com menor impacto ambiental.

Estas novas posturas constituem um conjunto de pressões que têm levado as empresas a melhorarem ambientalmente seus processos e produtos, apresentando o diferencial ambiental como mais um elemento de competitividade. Esta onda também mobiliza as corporações a investir na pesquisa do lançamento de produtos ambientais. As mudanças de comportamento nas últimas décadas e a sua mentalidade quanto ao seu papel em relação ao meio ambiente foram impulsionadas pelos fóruns globais de discussão dos aspectos ambientais, a ocorrência de grandes acidentes causando impactos no meio ambiente, a pressão da sociedade como um todo e a elaboração de legislações mais severas provocando o surgimento de "mercados verdes".

A questão ambiental passa a ser incorporada na empresa como uma variável importante para a tomada de decisão e com relevância para o negócio. Os aspectos ambientais passam a constar no planejamento estratégico da empresa, tanto como os fatores econômicos e de mercado. Desta forma, as empresas estão adotando estratégias de desenvolvimento de produtos ambientalmente corretos, identificando oportunidades de negócio para conquistar novos consumidores e novos mercados, em função da oportunidade de obtenção de lucros com desenho ecológico (CHAVES;

MAINIER, 2004).

Rocha e John (2003) citam que tudo o que nos cerca um dia será resíduo: casas, automóveis, móveis, eletrodomésticos, pontes e aviões. A este total, deve-se somar todos os resíduos do processo de extração de matérias-primas e de produção dos bens. Assim, em qualquer sociedade, a quantidade de resíduos gerados supera a quantidade de bens consumidos. A sociedade industrial, ao multiplicar a produção de bens, agravou esse processo. Embora seja possível e prioritário reduzir a quantidade de resíduos durante a produção e até o pós-consumo, eles sempre serão gerados. O desenvolvimento sustentável requer uma redução do consumo de matérias-primas naturais não renováveis. O fechamento do ciclo produtivo, gerando novos produtos a partir da reciclagem de resíduo ambientalmente eficiente e segura, que resultem em produtos com desempenho técnico adequado e que sejam economicamente competitivas nos diferentes mercados, é um desafio técnico importante, inclusive do ponto de vista metodológico. É importante destacar que os projetos de cunho ambiental que tratam do reuso e transformação de resíduos sólidos não devem se limitar apenas a ensaios e caracterização de materiais, realizados em condições laboratoriais, mas que incorporem outros aspectos que são fundamentais para o sucesso das pesquisas: tais como aspectos ambientais, de desempenho do produto, durabilidade no longo prazo, interação com a indústria geradora e até mesmo aspectos sociais. Segundo Xavier e Rocha (2001) a questão ambiental está cada vez mais sendo debatida em discussões relacionadas com o desenvolvimento internacional, nacional e local. O crescimento da população, o progresso da indústria e o processo acelerado da urbanização contribuem para o aumento da geração de resíduos. A produção de resíduos, embora inerente à história humana, vem aumentando assustadoramente em todo o planeta. No entanto, se prestarmos atenção perceberemos que além de consumir bem mais do que verdadeiramente necessitamos, não aproveitamos tudo aquilo que consumimos. Como consequência, produzimos cada vez mais resíduos. Deste modo, esse modelo de sociedade não apenas agrava as condições sociais como também gera problemas ambientais. A falta de uma política clara e definida sobre resíduos sólidos contribui ainda mais para toda problemática desenvolvida desde o século passado. As relações do homem com o meio ambiente há muito deixou de ser harmoniosa. Contudo, nos últimos séculos, com a consolidação de um modelo econômico baseado no consumo e no descarte, essas relações se deterioraram muito

e, hoje, além de nos encontrarmos na eminência do esgotamento total dos recursos naturais, vivemos o risco de não termos o que fazer com a imensa quantidade de lixo e resíduos que produzimos. Ribeiro e Malpighi (2004) citam que só o Brasil produz uma quantidade entre 150 e 240 mil toneladas de lixo por dia. O aumento excessivo da quantidade de lixo se deve ao aumento do poder aquisitivo e ao perfil de consumo da população. Além disso, quanto mais produtos industrializados existir, mais resíduos serão produzidos, como embalagens, garrafas etc. Os resíduos sólidos são os maiores causadores da degradação do meio ambiente da atualidade. Pesquisas indicam que cada ser humano produz em média 1 quilo de lixo por dia. Atualmente, a produção anual de lixo no planeta é de aproximadamente 450 milhões de toneladas (RIBEIRO; MALPIGHI, 2004). O que fazer e onde colocar tanto lixo é um dos maiores desafios deste século, pois muitas vezes parece difícil lidar com a sobra daquilo que consumimos. É preciso que entendamos todos que a questão do resíduo sólido é social e extrapola o ambiente privado da casa e das indústrias, tornando-se um problema público.

### **2.3 Classificação de Resíduos Sólidos**

Pela norma ABNT NBR 10.004:2004, a classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com a listagem de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser criteriosa e estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem. Os resíduos são classificados em:

- a) resíduos classe I – Perigosos;
- b) resíduos classe II – Não perigosos;
  - b1) resíduos classe II A – Não inertes;
  - b2) resíduos classe II B – Inertes.

São considerados resíduos classe I – perigosos, os resíduos que apresentam propriedades que os tornam: Inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos ou patogênicos. São considerados resíduos classe II A – Não inertes aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduo classe I – Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como:



biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. São considerados resíduos classe II B – Inertes, quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10.007:2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10.006:2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor conforme o anexo G da ABNT NBR 10.004:2004.

#### **2.4 Laudo de Classificação**

Pela norma ABNT NBR 10.004:2004, o laudo de classificação pode ser baseado exclusivamente na identificação do processo produtivo, quando do enquadramento do resíduo nas listagens dos anexos A e B da norma. Deve constar no laudo de classificação a indicação da origem do resíduo, descrição do processo de segregação e descrição do critério adotado na escolha de parâmetros analisados, quando for o caso, incluindo os laudos de análises laboratoriais. Os laudos devem ser elaborados por responsáveis técnicos habilitados.

#### **2.5 Destinação de Resíduos**

Este tem sido um dos principais problemas enfrentados pelos geradores de resíduos (industrial, domiciliar ou outros), que até pouco tempo atrás dispunham o resíduo de forma inadequada, gerando inúmeros problemas de contaminação, degradação e custos adicionais quando os mesmos eram descobertos ou denunciados. As soluções de destinação serão sempre específicas para cada tipo de resíduo, como aterros industriais, co-processamento, incineração, inertização, reprocessamento e reciclagem.

Será discutido apenas o aterro industrial, pois é este o atual destino do resíduo estudado.

#### **2.6 Aterro Industrial**

O aterro industrial consiste na técnica de disposição final de resíduos industriais no solo tendo como objetivo não causar danos ou riscos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais (GÜNTHER, 2001). Este método

utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos industriais, tanto perigosos (Classe I) quanto não inertes (Classe II A) a menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário. Os aterros industriais preparados para receber resíduos classe I, são construídos tendo em sua base argila de alta impermeabilidade com 1 metro de espessura, sobre a qual são aplicadas as seguintes camadas: geomembrana texturizada de polietileno de alta densidade com cerca de 1,5 mm de espessura; geomembrana bentonítica, geomembrana texturizada de polietileno de alta densidade com cerca de 2,0 mm de espessura, e um sistema de drenagem que proporciona proteção mecânica a toda impermeabilização, para garantir sua integridade física e estrutural. (RIBEIRO e MALPIGHI, 2004).

## **2.7 Impacto dos Metais Pesados na Saúde**

A importância da boa prática do gerenciamento de resíduo sólido é devido principalmente para a prevenção quanto à contaminação do meio ambiente e possível intoxicação dos seres vivos com os metais pesados contidos nos resíduos industriais. Salgado (1996) cita que todas as formas de vida são afetadas pela presença de metais dependendo da dose e da forma química. Dessa forma é importante discorrer sobre os principais metais pesados encontrados e suas reações, principalmente com o organismo humano. Salgado (1996) cita que a presença de metais pesados está muitas vezes associada à localização geográfica, seja na água ou no solo, e pode ser controlada, limitando o uso de produtos agrícolas e proibindo a produção de alimentos em solos contaminados com metais pesados. Muitos metais são essenciais para o crescimento de todos os tipos de organismos, desde as bactérias até mesmo o ser humano, porém, são requeridos em baixas concentrações e podem prejudicar sistemas biológicos em altas concentrações. Salgado (1996) classifica os metais em: - elementos essenciais: sódio, potássio, cálcio, ferro, zinco, cobre, níquel e magnésio; - micro-contaminantes ambientais: arsênio, chumbo, cádmio, mercúrio, alumínio, titânio, estanho e tungstênio; - elementos essenciais e simultaneamente micro-contaminantes: cromo, zinco, ferro, cobalto, manganês e níquel. Recentemente, tem sido noticiado na mídia escrita e falada a contaminação de adultos, crianças, lotes e vivendas residenciais, com metais pesados, principalmente chumbo e mercúrio. Contudo, a maioria da população não tem informações precisas sobre os riscos e as

conseqüências da contaminação por esses metais para a saúde humana conforme informações no site do Mundoquimico (2006). O caso fatídico em Bauru, SP, é um dos exemplos dessa contaminação. A Indústria de Acumuladores Ajax, uma das maiores fábricas de baterias automotivas do país localizada, no km 112 da Rodovia Bauru-Jaú, contaminou com chumbo expelido pelas suas chaminés 113 crianças, sendo encontrados índices superiores a 10 miligramas/decilitro de sangue (ACEITUNO, 2002). Foram constatados ainda a contaminação de animais, leite, ovos e outros produtos agrícolas, resultando em um enorme prejuízo para os proprietários. Um dos casos mais interessantes foi o de uma criança de 10 anos, moradora de um Núcleo Habitacional localizado próximo à fonte poluidora. Desde os 7 meses de idade sofria de diarreia e de deficiência mental. Somente após suspeitas dessa contaminação, em 1999, quando amostras do seu sangue foram enviadas a dois centros toxicológicos nos Estados Unidos, é que foi constatada a intoxicação por chumbo, urânio, alumínio e cádmio (ACEITUNO, 2002).

A cidade de Paulínia, SP, e o bairro Vila Carioca na Capital também foram contaminados pela Shell Química do Brasil. Em Paulínia, dos 166 moradores submetidos a exames, 53% apresentaram contaminação crônica e 56% das crianças revelaram altos índices de cobre, zinco, alumínio, cádmio, arsênico e manganês. Em adição observou-se também, a incidência de tumores hepáticos e de tiróide, alterações neurológicas, dermatoses, rinites alérgicas, disfunções gastrintestinais, pulmonares e hepáticas (GUAÍUME, 2001).

Dos 2,9 milhões de toneladas de resíduos industriais perigosos gerados anualmente no Brasil, somente 600 mil toneladas recebem tratamento adequado, conforme estimativa da Associação Brasileira de Empresas de Tratamento, Recuperação e Disposição de Resíduos Especiais (ABETRE), sendo que os 78% restantes são depositados indevidamente em lixões, sem qualquer tipo de tratamento (CAMPANILI, 2002). Recentemente a Companhia Ingá, indústria de zinco, na Ilha da Madeira, que atualmente está desativada, transformou-se na maior área de contaminação de lixo tóxico no Brasil. Metais pesados como zinco, cádmio, mercúrio e chumbo continuam poluindo o solo, a água e atingem o mangue, afetando a vida da população. Isso ocorreu porque os diques construídos para conter a água contaminada não têm recebido manutenção há anos e, dessa forma, os terrenos próximos foram inundados, contaminando a vegetação do mangue. Para uma melhor compreensão e aplicação do

lodo da estação de tratamento de efluentes do presente trabalho em argamassa, é necessário entender o impacto na saúde humana dos elementos químicos comumente presentes em resíduos industriais: Arsênio (As), Chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Mercúrio (Hg), Cromo (Cr) e Manganês (Mn), (SIQUEIRA, 2005).

### **ARSÊNIO (As)**

O arsênio é um metal de ocorrência natural, sólido, cristalino, de cor cinza-prateada. Exposto ao ar perde o brilho e torna-se um sólido amorfo de cor preta. Esse metal é utilizado como agente de fusão para metais pesados, em processos de soldagens e na produção de cristais de silício e germânio. O arsênio é usado na fabricação de munição, ligas e placas de chumbo de baterias elétricas. Na forma de arsenito é usado como herbicida e como arsenato, é usado nos inseticidas.

No homem produz efeitos negativos nos sistemas respiratório, cardiovascular, nervoso e hematopoiético. No sistema respiratório ocorre irritação com danos nas mucosas nasais, laringe e brônquios. Exposições prolongadas podem provocar perfuração do septo nasal e rouquidão característica e, em longo prazo, insuficiência pulmonar, traqueobronquite e tosse crônica. No sistema cardiovascular são observadas lesões vasculares periféricas e alterações no eletrocardiograma. No sistema nervoso, as alterações observadas são sensoriais e polineuropatias, e no sistema hematopoiético observa-se leucopenia, efeitos cutâneos e hepáticos. Tem sido observada também a relação carcinogênica do arsênio como o câncer de pele e brônquios (SIQUEIRA, 2005).

### **CHUMBO (Pb)**

Há mais de 4.000 anos o chumbo é utilizado sob várias formas, principalmente por ser uma fonte de prata. Antigamente, as minas de prata eram de galena (minério de chumbo), um metal dúctil, maleável, de cor prateada ou cinza-azulada, resistente à corrosão. Os principais usos estão relacionados às indústrias extrativa, petrolífera, de baterias, tintas e corantes, cerâmica, cabos, tubulações e munições.

O chumbo pode ser incorporado ao cristal na fabricação de copos, jarras e outros utensílios, favorecendo o seu brilho e durabilidade. Assim, pode ser incorporado aos alimentos durante o processo de industrialização ou no preparo doméstico. Compostos de chumbo são absorvidos por via respiratória e cutânea. Os chumbos

tetraetila e tetrametila, atualmente banidos como aditivo da gasolina, também são absorvidos através da pele, por serem lipossolúveis.

O sistema nervoso, a medula óssea e os rins são os mais afetados pelo chumbo, que interfere nos processos genéticos ou cromossômicos e produz alterações na estabilidade da cromatina em cobaias, inibindo reparo de DNA e agindo como promotor do câncer.

A relação chumbo - síndrome associada ao sistema nervoso central depende do tempo e da especificidade das manifestações. Destaca-se a síndrome encéfalo-polineurítica (alterações sensoriais, perceptuais, e psicomotoras), síndrome astênica (fadiga, dor de cabeça, insônia, distúrbios durante o sono e dores musculares), síndrome hematológica (anemia hipocrômica moderada e aumento de pontuações basófilas nos eritrócitos), síndrome renal (nefropatia não específica, proteinúria, aminoacidúria, uricacidúria, diminuição da depuração da uréia e do ácido úrico), síndrome do trato gastrointestinal (cólicas, anorexia, desconforto gástrico, constipação ou diarreia), síndrome cardiovascular (miocardite crônica, alterações no eletrocardiograma, hipotonia ou hipertonia, palidez facial ou retinal, arteriosclerose precoce com alterações cerebrovasculares e hipertensão) e síndrome hepática (interferência de biotransformação) (SIQUEIRA, 2005).

### **CÁDMIO (Cd)**

O cádmio é encontrado na natureza quase sempre junto com o zinco, em proporções que variam de 1:100 a 1:1000, na maioria dos minérios e solos. É um metal que pode ser dissolvido por soluções ácidas e pelo nitrato de amônio. Quando queimado ou aquecido, produz o óxido de cádmio, pó branco e amorfo ou na forma de cristais de cor vermelha ou marrom. É obtido como subproduto da refinação do zinco e de outros minérios, como chumbo-zinco e cobre-chumbo-zinco.

A galvanoplastia (processo eletrolítico que consiste em recobrir um metal com outro) é um dos processos industriais que mais utiliza o cádmio (entre 45 a 60% da quantidade produzida por ano). O homem expõe-se ocupacionalmente na fabricação de lgas, varetas para soldagens, baterias Ni-Cd, varetas de reatores, fabricação de tubos para televisão, pigmentos, esmaltes e tinturas têxteis, fotografia, litografia e pirotecnia, estabilizador plástico, fabricação de semicondutores, células solares, contadores de cintilação, retificadores e lasers.

O cádmio existente na atmosfera é precipitado e depositado no solo agrícola na relação aproximada de 3 g/hectare/ano. Rejeitos não-ferrosos e artigos que contêm cádmio contribuem significativamente para a poluição ambiental. Outras formas de contaminação do solo são através dos resíduos da fabricação de cimento, da queima de combustíveis fósseis e lixo urbano e de sedimentos de esgotos. Na agricultura, uma fonte direta de contaminação pelo cádmio é a utilização de fertilizantes fosfatados. Sabe-se que a captação de cádmio pelas plantas é maior quanto menor o pH do solo. Nesse aspecto, as chuvas ácidas representam um fator determinante no aumento da concentração do metal nos produtos agrícolas. A água é outra fonte de contaminação e deve ser considerada não somente pelo seu consumo como água potável, mas também pelo seu uso na fabricação de bebidas e no preparo de alimentos. O cádmio é um elemento de vida biológica longa (10 a 30 anos) e de lenta excreção pelo organismo humano. O órgão alvo primário nas exposições ao cádmio a longo prazo é o rim. Os efeitos tóxicos provocados por ele compreendem principalmente distúrbios gastrintestinais, após a ingestão do agente químico. A inalação de doses elevadas produz intoxicação aguda, caracterizada por pneumonite e edema pulmonar (SIQUEIRA, 2005).

### **MERCÚRIO (Hg)**

A progressiva utilização do mercúrio para fins industriais e o emprego de compostos mercuriais durante décadas na agricultura resultaram no aumento significativo da contaminação ambiental, especialmente da água e dos alimentos. Uma das razões que contribuem para o agravamento dessa contaminação é a característica singular do Ciclo do Mercúrio no meio ambiente. A biotransformação por bactérias, do mercúrio inorgânico a metilmercúrio é o processo responsável pelos elevados níveis do metal no meio ambiente. O mercúrio é um líquido inodoro e de coloração prateada. Os compostos mercúricos apresentam uma ampla variedade de cores.

Nos processos de extração, o mercúrio é liberado no ambiente principalmente a partir do sulfeto de mercúrio. O mercúrio e seus compostos são encontrados na produção de cloro e soda cáustica (eletrólise), em equipamentos elétricos e eletrônicos (baterias, retificadores, relés, interruptores etc), aparelhos de controle (termômetros, barômetros, esfingomanômetros), tintas (pigmentos), amálgamas dentárias, fungicidas (preservação

de madeira, papel, plásticos etc), lâmpadas de mercúrio, laboratórios químicos, preparações farmacêuticas, detonadores, óleos, lubrificantes, catalisadores, corantes e na extração de ouro.

O trato respiratório é a via mais importante de introdução do mercúrio. Esse metal demonstra afinidade por tecidos como células da pele, cabelo, glândulas sudoríparas, glândulas salivares, tireóide, trato gastrintestinal, fígado, pulmões, pâncreas, rins, testículos, próstatas e cérebro (SIQUEIRA, 2005).

A exposição a elevadas concentrações desse metal pode provocar febre, calafrios, dispnéia e cefaléia, durante algumas horas. Sintomas adicionais envolvem diarreia, câibras abdominais e diminuição da visão. Casos severos progridem para edema pulmonar, dispnéia e cianose. As complicações incluem enfisema, pneumomediastino e morte; raramente ocorre falência renal aguda.

Pode ser destacado também o envolvimento da cavidade oral (gengivite, salivção e estomatite), tremor e alterações psicológicas. A síndrome é caracterizada pelo eretismo (insônia, perda de apetite, perda da memória, timidez excessiva, instabilidade emocional). Além desses sintomas, pode ocorrer disfunção renal (SIQUEIRA, 2005).

### **CROMO (Cr)**

O cromo é obtido do minério cromita, metal de cor cinza que reage com os ácidos clorídrico e sulfúrico. Além dos compostos bivalentes, trivalentes e hexavalentes, o cromo metálico e ligas também são encontrados no ambiente de trabalho. Entre as inúmeras atividades industriais, destacam-se: galvanoplastia, soldagens, produção de ligas ferro-cromo, curtume, produção de cromatos, dicromatos, pigmentos e vernizes. A absorção de cromo por via cutânea depende do tipo de composto, de sua concentração e do tempo de contato. O cromo absorvido permanece por longo tempo retido na junção dermo-epidérmica e no estrato superior da mesoderme. A maior parte do cromo é eliminada através da urina, sendo excretada após as primeiras horas de exposição. Os compostos de cromo produzem efeitos cutâneos, nasais, bronco-pulmonares, renais, gastrointestinais e carcinogênicos. Os cutâneos são caracterizados por irritação no dorso das mãos e dos dedos, podendo transformar-se em úlceras. As lesões nasais iniciam-se com um quadro irritativo inflamatório, supuração e formação crostosa. Em níveis bronco-pulmonares e gastrointestinais produzem irritação bronquial, alteração da função respiratória e úlceras

gastroduodenais (SIQUEIRA, 2005).

## **MANGANÊS (Mn)**

O manganês é um metal cinza semelhante ao ferro, porém mais duro e quebradiço. Os óxidos, carbonatos e silicatos de manganês são os mais abundantes na natureza e caracterizam-se por serem insolúveis na água. O composto ciclopentadienil-tricarbonila de manganês é bem solúvel na gasolina, óleo e álcool etílico, sendo geralmente utilizado como agente anti-detonante em substituição ao chumbo tetraetila. Entre as principais aplicações industriais do manganês destacam-se a fabricação de fósforos de segurança, pilhas secas, ligas não-ferrosas (com cobre e níquel), esmalte porcelanizado, fertilizantes, fungicidas, rações, eletrodos para solda, magnetos, catalisadores, vidros, tintas, cerâmicas, materiais elétricos e produtos farmacêuticos (cloreto, óxido e sulfato de manganês). As exposições mais significativas ocorrem através dos fumos e poeiras de manganês.

O trato respiratório é a principal via de introdução e absorção desse metal nas exposições ocupacionais. No sangue, esse metal encontra-se nos eritrócitos, em concentrações de 20 a 25 vezes maior que no plasma.

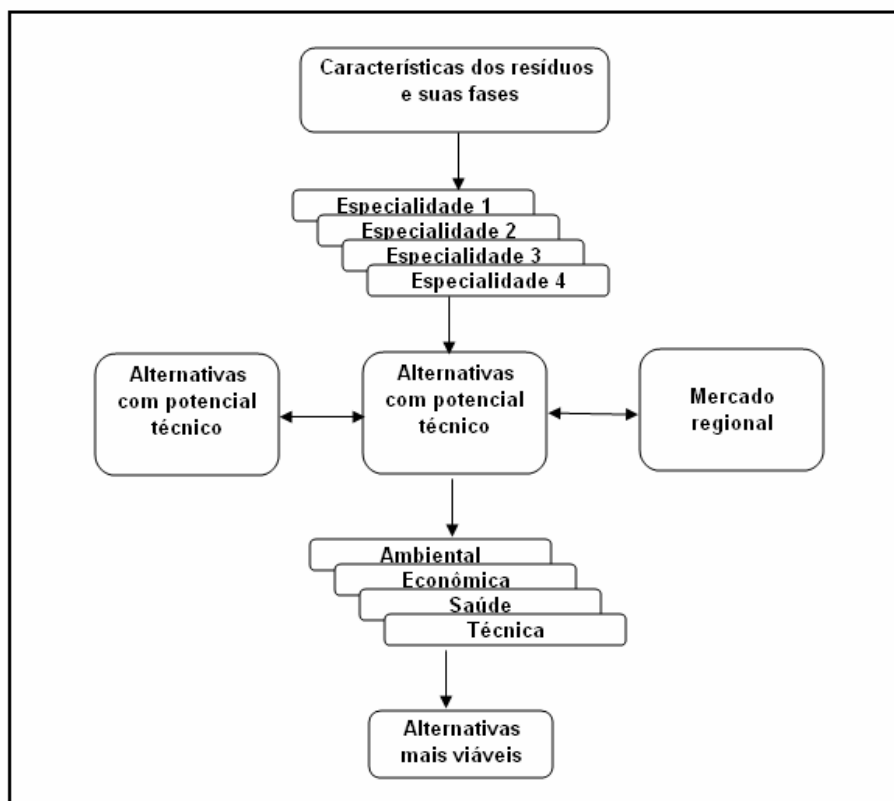
Os sintomas dos danos provocados pelo manganês no SNC podem ser divididos em três estágios: 1º: subclínico (astenia, distúrbios do sono, dores musculares, excitabilidade mental e movimentos desajeitados); 2º: início da fase clínica (transtorno da marcha, dificuldade na fala, reflexos exagerados e tremor), e 3º: clínico (psicose maníaco-depressiva e a clássica síndrome que lembra o Parkinsonismo). Além dos efeitos neurotóxicos, há maior incidência de bronquite aguda, asma brônquica e pneumonia (SIQUEIRA, 2005).

## **2.8 Metodologia para Reutilização de Resíduo**

Faz parte da pesquisa tecnológica a preocupação em adotar uma metodologia que ajude na compreensão e elaboração de um planejamento adequado para reutilização do resíduo sólido. Os trabalhos desenvolvidos nos projetos de mitigação de impactos ambientais são, de um modo geral complexos, e que envolvem várias disciplinas, ou especialidades, que ajudarão de forma sistemática na geração de novos conhecimentos, que contribuirão na solução do problema. De acordo com John e Ângulo (2003) a maneira mais prática de reunir grande variedade de

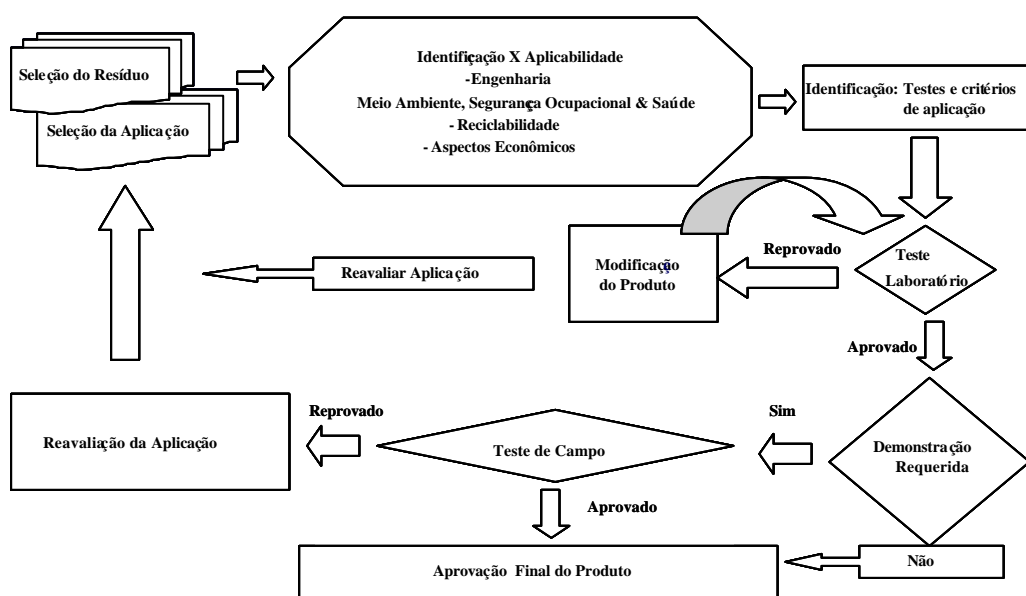


conhecimento é envolver no processo uma equipe multidisciplinar, para analisar as características dos resíduos e, com base na sua experiência pessoal, sugerir de forma intuitiva alternativas de reciclagem (Figura 1), identificando etapas industriais, necessidades ou possibilidades de segregação de fases, geração de resíduos durante o processamento, possíveis emissões aéreas ou aquosas para o ambiente, dificuldades esperadas no processo de pesquisa e desenvolvimento, ensaios adicionais necessários à formulação de uma opinião mais definitiva para cada aplicação, sugestões de alterações no processo de geração ou gestão do resíduo etc. . John e Ângulo (2003) citam também que a equipe envolvida deve ser a mais variada em termos de especialidades de engenharia e a mais experiente possível. O contato com os membros pode ser feito individualmente pelo pesquisador-líder, que questiona, estimula cada participante e, finalmente, organiza e sistematiza as idéias. Chotoli, Costa e Sachs (2004) apresentam uma metodologia para pesquisa de reutilização de resíduo sólido em três projetos distintos, reuso de lodo de estação de tratamento de efluentes em contrapeso de fogões, reuso de biossólido no cultivo de mudas de árvores e o reuso de areia de fundição no próprio processo de fundição por meio da reciclagem da areia verde (Figura 2). Na metodologia apresentada, o primeiro passo é a seleção do resíduo e aplicação, para em seguida verificar em diversos aspectos tanto de engenharia, meio ambiente, saúde e segurança ocupacional, financeiros e também de reciclabilidade.



**Figura 1:** Fluxograma da identificação de alternativas com potencial técnico através de consulta a grupo de especialistas e seleção de alternativas mais viáveis a partir de análise ambiental, econômica, de saúde e técnica.

Fonte: Adaptado de John e Ângulo (2003).



**Figura 2:** Fluxograma de metodologia para pesquisa de desenvolvimento de reutilização de resíduo sólido.

Fonte: Chotoli, Costa e Sachs (2004).

O passo seguinte é a identificação dos testes iniciais e os critérios de aceitação; definidos, os mesmos são submetidos a ensaios de laboratórios; caso sejam aprovados nos ensaios de laboratório é verificado a necessidade de demonstração requerida, a qual pode ser feita por meio de ensaios de campos, lote pilotos de produção, entre outros. Sendo aprovado os testes de campo, são aprovadas as aplicações no produto final, na metodologia é previstos as realimentações do processo caso nas etapas de controle os ensaios sejam reprovados, fazendo que os mesmos sempre retornem ao início para que seja revista a aplicação e a seleção do resíduo. Um ponto importante quando se trata da pesquisa para reutilização de resíduo sólido é a avaliação criteriosa do resíduo estudado, iniciando pela sua caracterização por meio da norma ABNT 10.004:2004 que remete para a realização dos ensaios de lixiviação (ABNT 10.005:2004) e solubilização (ABNT 10.006:2004) dos elementos químicos que causam impacto na saúde pública e meio ambiente. Após a obtenção dos resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização é necessário avaliar qual o impacto e o risco futuro das dosagens dos elementos químicos encontrados dentro da aplicação desejada, em vistas que esta aplicação após o uso também se tornará um resíduo, verificando assim o risco de aumento da concentração de resíduo após vários ciclos de reutilização, ou se os elementos químicos sofrem uma diluição ao longo dos ciclos de reutilização; sendo assim ensaios de lixiviação e solubilização após aplicação são também recomendados. John e Ângulo (2003) propõem também metodologia específica para desenvolvimento de reciclagem de resíduo e citam as seguintes etapas como necessárias para a pesquisa para reciclagem de materiais: - estudo do processo de geração de resíduo; - caracterização do resíduo; - seleção de uso potenciais para o resíduo; - seleção das alternativas para pesquisa e desenvolvimento; desenvolvimento do produto; avaliação do desempenho técnico; análise de sustentabilidade (análise do ciclo de vida do produto).

## **2.9 Materiais Utilizados na Construção Civil**

Para uma melhor compreensão da utilização do resíduo sólido na fabricação de artefatos de argamassa é necessário o conhecimento dos materiais utilizados na construção civil, suas definições e características principais. Dessa forma, apresenta-se os principais materiais de construção civil utilizados no estudo de aplicação do resíduo estudado (agregado, areia, cimento portland).

## **Agregado**

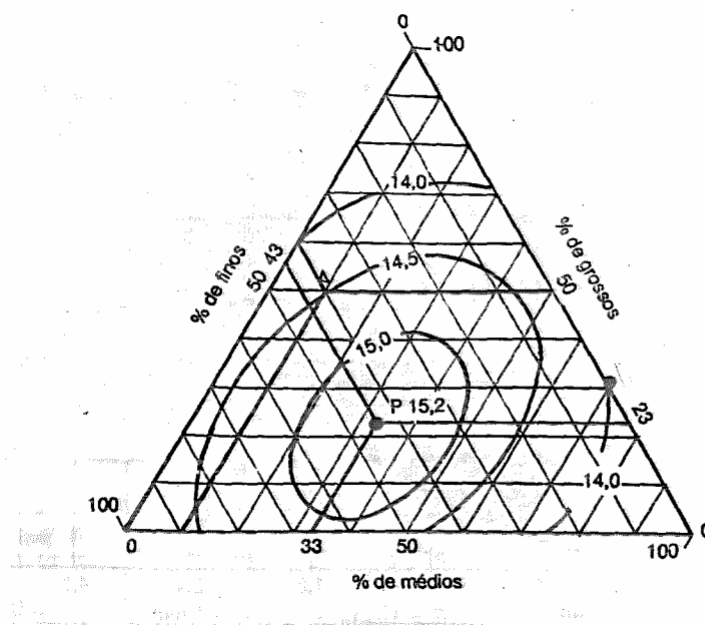
Albuquerque (2000) define que agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos. O termo agregado é de uso generalizado na construção civil, sendo complementado com outros termos conforme cada caso, por exemplo:: filer, pedra britada, rachão, entre outros.

Albuquerque (2000) cita que os agregados classificam-se segundo:

- origem: naturais (areia e cascalho) ou industrializados (escória de alto-forno e argila expandida);
- dimensões das partículas: miúdo (as areias) ou graúdo (os cascalhos e britas);
- peso específico aparente: leves, médios e pesados.

## **Areia**

Segundo Albuquerque (2000), areia, geologicamente, é um sedimento clástico inconsolidado, de grãos em geral quartzosos de diâmetros entre 0,06 mm e 2,0 mm; a areia como material de construção pode ser de origem de rios, de cava, de britagem ou de escória. Bauer (2000) cita que a caracterização da areia é feita por meio da determinação da sua granulometria. A norma NBR 7211, que trata de agregados para concreto, classifica as areias – graduação 0,15/4,8 mm – em quatro faixas, denominadas, muito fina, fina, média e grossa e para determinação do peso específico utilizam-se as curvas isobáricas que por meio da dosagem entre porcentagem de areia fina, média e grossa determina o peso específico (Figura 3). As areias ainda possuem as seguintes propriedades mecânicas: inchamento, higroscópica, coesão aparente, friabilidade e fins de ensaio; usa-se como padrão de comparação a Areia Normal Brasileira, além de uma curva granulométrica definida e tem que satisfazer uma série de exigências químicas e físicas, de acordo com a NBR 7214.



**Figura 3:** Diagrama de curvas isobáricas para dosagem de areia.  
Fonte: Bauer (2000)

### Cimento Portland

Cimento Portland é um aglomerante obtido pela pulverização do clínquer constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego (ASTM C150/02). O clínquer é um produto de natureza granulosa, resultante da calcinação de uma mistura de calcário e argila, conduzida até a temperatura de clínquerização (TAYLOR, 1998). Os constituintes fundamentais do cimento Portland são o óxido de cal (CaO), a sílica (SiO<sub>2</sub>), a alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), o óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), certa proporção de óxido de magnésio (MgO) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>), que é adicionada após a calcinação, sob a forma de gipsita, para retardar o tempo de pega do produto. Possui ainda como constituintes menores, impurezas, óxido de sódio (Na<sub>2</sub>O), óxido de potássio (K<sub>2</sub>O), óxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) e outras substâncias de menor importância. Os óxidos de potássio e sódio constituem os denominados álcalis do cimento (LEA, 1970).

O óxido de magnésio está na ordem de 2 a 3%, limitado a um máximo permissível de 5%. Os óxidos menores aparecem em proporção inferior a 1%, excepcionalmente 2% (OLIVEIRA, 2000). A mistura de matérias-primas que contenha, em proporções convenientes os constituintes acima mencionados, finamente pulverizada e

homogeneizada, é submetida à ação do calor no forno produtor de cimento, até a temperatura de clinquerização, que resulta na obtenção do clínker. Nesse processo ocorrem combinações químicas, principalmente no estado sólido. Segundo Oliveira (2000), as propriedades físicas do cimento Portland são consideradas sob três aspectos distintos: propriedades do produto em sua condição natural, em pó, da mistura de cimento e água e proporções convenientes de pasta e, finalmente, da mistura da pasta com agregado padronizado – as argamassas. As propriedades da pasta e argamassa são relacionadas com o comportamento desse produto quando utilizado, ou seja, as propriedades para a elaboração de concretos e argamassas. Tais propriedades se enquadram em processos artificialmente definidos nos métodos e especificações padronizados, oferecendo sua utilidade quer para o controle e aceitação do produto, quer para avaliação de suas qualidades para os fins de utilização dos mesmos. As propriedades químicas do cimento Portland estão diretamente ligadas ao processo de endurecimento por hidratação, as principais propriedades químicas do cimento Portland são: estabilidade, calor de hidratação, resistência aos agentes agressivos e reação álcali-agregado; outras características do cimento são densidade, finura, tempo de pega e resistência a compressão (OLIVEIRA, 2000). No Brasil são produzidos vários tipos de cimento oficialmente normalizados. Fabrica-se também para emprego ordinariamente não estrutural, o cimento branco, que é um cimento Portland ordinário, praticamente isento de óxidos de ferro, e que se consegue mediante cuidados adequados na escolha de matéria-prima e na condução do processo de fabricação.

### **Argamassa**

Petrucci (1976) define que as argamassas são materiais de construção constituídos por uma mistura íntima de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água; também Fiorito (1994) define argamassas como a mistura de aglomerantes e agregados com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência. Petrucci (1976) cita que as condições a que uma boa argamassa deve satisfazer são: resistência mecânica, compacidade, impermeabilidade, aderência, constância de volume e durabilidade. Estas propriedades dependem essencialmente dos seguintes fatores: qualidade e quantidade do aglomerante, qualidade e quantidade do agregado e quantidade de água. Fiorito (1994) cita que as argamassas utilizadas em obras são comumente compostas

de areia natural lavada, e os aglomerantes são em geral cimento Portland e a cal hidratada. Petrucci (1976) cita que as argamassas podem ser classificadas conforme:

- seu emprego: argamassa para rejuntamento, revestimento, pisos ou injeções;
- seu tipo de aglomerante: aéreo, hidráulicas (de cal hidráulico, cimento), gesso e mistas ( com aglomerante aéreo e um hidráulico, geralmente cal aéreo e cimento);
- seu elemento ativo: simples (um elemento ativo) ou compostas (mais que um elemento ativo);
- sua dosagem: pobres e ricas ;
- sua consistência: secas, plásticas e fluidas.

Bauer e Noronha (2000) citam que o estudo de dosagem das argamassas tem, há muito, preocupado técnicos que, de alguma forma, vêm se dedicando ao estudo dos concretos, das argamassas e de seus constituintes. Vários métodos foram desenvolvidos para determinação da dosagem ou proporção de mistura que no jargão popular chama-se traço (BAUER, 2000). O traço ou dosagem é a determinação das partes constituintes da argamassa ou concreto. Fiorito (1994) cita que após a decisão do tipo de argamassa a ser utilizada, o passo seguinte é definir o traço, que é a indicação das proporções dos seus componentes. O traço da argamassas é tradicionalmente indicados em volume (FIORITO, 1994). A dosagem pode ser executada de forma manual ou mecanizada (betoneiras). Os principais métodos de dosagem são o ACI, IPT e VALLETTE (BAUER; NORONHA, 2000).

## **2.10 Reutilização de Resíduos Sólidos**

Muitas pesquisas têm sido feitas com o propósito de reutilização de resíduo sólido principalmente na construção civil, procurando na medida do possível adicionar as misturas de argamassas e/ou concretos.

Ripoli Filho, Kohler e Wypyszynski (2002) citam que :

*"O esgotamento dos recursos naturais e a preocupação com o meio ambiente estão trazendo novos recursos para o setor habitacional".*

*"O segmento da construção civil, responsável por parte da destruição da natureza, passa a contar com elementos denominados ecologicamente corretos".*

*"A indústria da construção civil busca constante e insistentemente materiais alternativos que venham a atender as condições de redução de custos, agilidade de execução e durabilidade."*

*"São conhecidas e citadas na literatura diversas experiências com protótipos de*

*sistemas construtivos inovadores para habitação popular, porém, com o aumento do custo dos materiais de construção, com a redução da disponibilidade de materiais naturais, novas exigências e limitações são impostas."*

*"É imperativo que se busquem materiais que possam desenvolver bom desempenho, ecologicamente corretos e com baixo custo."*

*"Para que sejam desenvolvidos novos materiais, em qualquer área do conhecimento, é relevante que se conheçam as propriedades mecânicas, físicas e químicas dos materiais constituintes, bem como suas possíveis combinações."*

Ripoli Filho, Kohler e Wypyszynski (2002) propõem a utilização de garrafas de PET íntegras para a fabricação de blocos, adicionando-se cinza de casca de arroz e escória de pneus usados na argamassa de constituição. Esta proposta visa não somente aproveitar garrafas de refrigerante pouco recicladas (atualmente em torno de 15%) como também resíduos de fornalha e de borracha, praticamente descartado por falta de aplicação. Tais resíduos possibilitaram uma considerável diminuição da areia, racionalizando a proporção de mistura da argamassa do bloco com apreciável custo/benefício, porém, observou-se uma queda na resistência à compressão do bloco devido à inserção da garrafa PET, por apresentar uma tendência de ruptura à tração. Mesmo assim, o estudo aponta um uso promissor, necessitando avaliar o comportamento térmico e acústico do sistema construtivo edificado com tais blocos, a fim de avaliar o conforto e durabilidade mediante a exposição a intempéries.

Neves, Bina e Notrispe (2002) citam que:

*"O maior problema para o aproveitamento das reservas existentes é a crescente urbanização, principalmente por restringir a extração e devido a proibição de acesso e exploração de áreas protegidas por leis de proteção ambientais".*

*"A geração de resíduos nas áreas industriais tende a crescer, incrementando os passivos ambientais, e na extração de agregados para construção civil". O agregado representa entre 60% e 90% da massa dos concretos e argamassas.*

O trabalho propõe dois estudos de caso, onde procurou-se o aproveitamento de um resíduo de finos de britagem de rocha e um resíduo de decapagem de aço (carepa) como agregado miúdo na elaboração de argamassa e concreto. Como resultado tem-se que os finos de britagem, quando considerados no agregado, provocam alteração indesejada da quantidade de material pulverulento do agregado e aumenta a quantidade de água necessária para a dosagem, porém, permite a obtenção de concretos com menor consumo de cimento e maior resistência à compressão e melhor trabalhabilidade, em relação a uma dosagem de referência, devido a diminuição dos



espaços intergranulares e, conseqüentemente, da porosidade do concreto. No caso do uso do resíduo de decapagem de aço também observou-se um acréscimo da resistência à compressão, com conseqüente economia do custo da argamassa. Todavia, a aplicação de finos de brita deve ser adotada com cautela, devendo os finos serem avaliados quando houver a ocorrência de reações álcali-agregado ou mesmo promoção de formação de eflorescência na superfície do concretos e argamassas. Já, o uso de resíduos de decapagem de aço pode provocar a ocorrência de manchamentos superficiais devido à formação de eflorescências, causadas por produtos de oxidação de partículas de aço presentes no resíduo.

Sousa, Neves e Alarcon (2004) relatam que:

*"Nas últimas décadas, em virtude da conscientização ambiental, da crescente competitividade e da intensa modernização das indústrias, a simples eliminação do resíduo não representa uma solução definitiva. Um bom exemplo de preocupação com o meio ambiente é a opção por alternativas de reaproveitamento, visto que proporcionam um fim racional para o resíduo e, ao mesmo tempo, diminuem o consumo dos recursos naturais."*

Um estudo peculiar realizado por Sousa, Neves e Alarcon (2004), apresenta o aproveitamento de resíduo do processo de esmaltação de indústria cerâmica para a fabricação de isoladores elétricos. Misturas contendo no mínimo 50% de resíduo, em massa, foram formuladas juntamente com alumina, feldspato potássio e quartzo, sendo conformadas por torneamento, secas ao ar livre, submetidas a um ciclo térmico e ensaiadas quanto à rigidez dielétrica. Os resultados indicaram a compatibilidade técnica das peças como isolador, além de demonstrar que o resíduo de esmaltação possui plasticidade suficiente para ser conformado por técnicas de moldagem plástica, exigindo-se, contudo, um estudo mais detalhado sobre o processo de secagem e a otimização da dosagem.

O estudo realizado por Santos, Azevedo e Martins (2002) objetivou a utilização de EVA (etileno acetato de vinila), material largamente utilizado para confecção de solados na indústria calçadista. Produziram-se concretos leves com mistura de agregado leve (resíduo de EVA) e brita convencional (densidade aproximada de 1750 kg/m<sup>3</sup>), com diferentes traços e variando o teor de substituição de brita convencional por brita leve nas proporções de 60% e 70%. Apesar dos resultados de resistência à compressão, de tração na compressão diametral e tração na flexão terem sido menores com as maiores quantidades de agregado leve, o estudo mostrou que a incorporação do EVA no

concreto é uma alternativa possível de ser utilizada em concreto civil, do ponto de vista técnico.

Melo et al. (2002) cita que:

*"O desenvolvimento do setor industrial normalmente traz como consequência alguma agressão ao meio ambiente, devido à geração de resíduos."*

*"Cerca de 50% dos aterros são ocupados por resíduos de origem da indústria e comércio" (Navarro, 2001 apud Melo et al., 2002)*

Pode-se citar também a pesquisa efetuada por Melo et al. (2002), onde foi estudado o aproveitamento de resíduo de apra de solados de sandálias, com base em EVA, para a produção de blocos leves. Os resultados demonstraram razoável perspectivas para o uso deste resíduo em blocos de vedação, sendo necessário aumentar o espectro de ensaios antes de sua adoção.

Lima e Teixeira (2002) realizaram um estudo utilizando agregados provenientes da reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD), para a elaboração de argamassas. Foram realizados experimentos para a caracterização do agregado e elaboração de traços com e sem a adição de agregado reciclado. Os ensaios de resistência à compressão axial e tração por compressão diametral, em idades distintas, além do ensaio de retenção de água, demonstraram que o uso de agregado reciclado, em substituição de parte do agregado da argamassa, permite a obtenção de argamassas com propriedades melhoradas, contudo, indicam que o entulho pode ser utilizado para a produção de argamassas de assentamento e de revestimento, desde que seja feito um controle do processo seleção, britagem e moagem.

Arrivabene et al. (2002) realizaram estudos para a utilização de escória de alto forno granulada, escória de alto forno bruta britada e escória de alto forno granulada moída como agregado graúdo, agregado miúdo e como substituto parcial do cimento. Apesar da heterogeneidade do material, os resultados das pesquisas realizadas indicaram o potencial de utilização deste material, o qual se encontra disponível em quantidades significativas nos pátios das grandes siderúrgicas. Neste trabalho os autores apresentaram diversas referências bibliográficas de estudos similares, que apontaram o uso promissor da escória de alto-forno como agregado para argamassas, concretos, blocos e como substituto de parte do cimento os quais podemos citar: Mourão e Cardoso (1977 apud ARRIVABENE et al. 2002) que pesquisaram o uso da escória granulada como agregado na produção de blocos de concreto, Silva e Almeida (1986 apud ARRIVABENE et al. 2002.) que pesquisaram o uso de escória de alto forno

granulada miúdo para argamassa e concreto, Cincotto et al. (1992 apud ARRIVABENE et al. 2002) que realizaram a caracterização de escória granulada de alto forno e seu emprego como aglomerante e agregado, Geyer et al. (1994 apud ARRIVABENE et al. 2002) que propuseram a caracterização e aplicação das escórias siderúrgicas na indústria da construção civil e Arrivabene (2000 apud ARRIVABENE et al. 2002) que propôs o estudo da utilização da escória de alto forno na produção de blocos de concreto. Cabe ressaltar que a normalização brasileira já especifica o uso de escória de alto-forno para a produção de cimentos compostos do tipo CP II-E e CP III (NBR 11578:1991).

Lébeis (2003) avaliou também o uso do resíduo da fabricação de papel em argamassas e concluiu que para adições entre 5% a 10% de resíduo na argamassa os resultados permitiram concluir a viabilidade técnica do seu uso.

Zaterra (2000) pesquisou sobre o uso de resíduos de laminados de fibra de vidro e fez experimentos utilizando dosagens de 0%, 5%, 10% e 15% e 30% e conclui que até 15% os resultados apresentaram viabilidade técnica de uso.

Zoorob e Suparma (2001), realizaram pesquisa para o reaproveitamento de polietileno de baixa densidade em composto asfáltica, no estudo eles misturam 29,7% em peso no composto e conseguiram bons resultados inclusive a redução do peso específico em 16% gerando benefícios como a redução de custos operacionais de manuseio e transporte. Também pode-se citar o trabalho realizado por Bina (2002), o qual estudou o reaproveitamento da areia de fundição na pavimentação; os resultados obtidos indicaram que o uso da areia de fundição de descarte é ambientalmente viável para compor a lama asfáltica da pavimentação reforçada; no estudo feito foram também coletadas amostras de água nos poços de coleta do teste de campo, as quais apresentaram resultados de análise química inferiores aos limites especificados. Sachs (2005) propôs a utilização do uso de bio-sólido na produção de mudas de pau-viola, mostrando assim alternativa para solução do uso do lodo proveniente das estações de tratamento de esgoto. Os resultados obtidos com o uso do bio-sólido para a criação do pau-viola, nas concentrações de (25%, 50% e 75%), levaram a acreditar que é uma alternativa viável a disposição final de lodos, desde que sejam tomadas as medidas legais exigidas. Além dos trabalhos de reuso dos resíduos apresentados, também será relatado o processo de estabilização e solidificação dos resíduos e o motivo que levou este trabalho a desenvolver o reuso em argamassa de cimento e areia. Os próximos

tópicos: Processo de estabilização e solidificação e Matrizes confinadoras de resíduos sólidos constituem a descrição parcial do trabalho apresentado em seminário ocorrido na Espanha no ano de 2004, elaborado por Palacios, Jiménez e Palomo (2004).

### **2.11 Processo de Estabilização e Solidificação**

Palacios, Jiménez e Palomo (2004) descrevem que:

*“O termo estabilização se refere àquelas técnicas que reduzem o risco potencial de um resíduo ao converter seus contaminantes em uma forma menos solúvel.”*

*“Solidificação engloba os processos desenvolvidos para encapsular o resíduo em um sólido monolítico de alta segurança (estabilidade) estrutural”. “O encapsulamento pode se dar em finas partículas de resíduo (microencapsulamento) ou em pequenas partes (microencapsulamento)”. “A solidificação não implica necessariamente em uma reação química entre os resíduos e os reativos solidificantes, pois se podem ligar mecanicamente o resíduo ao monólito”.*

### **Mecanismos de Estabilização e Solidificação**

Palacios, Jiménez e Palomo (2004) descrevem:

*“Existem diversos fatores ou variáveis que afetam o grau de estabilização ou fixação dos constituintes de um resíduo. Normalmente vários destes mecanismos ocorrem simultaneamente, dentre eles pode-se citar: pH, potencial de redução, precipitação, absorção, passivação, troca iônica e reprecipitação.”*

Dos fatores citados por Palacios e Palomo (2004) vale destacar:

*“Elevados pHs somente são desejáveis quando se tem hidróxidos metálicos que apresentam uma solubilidade mínima entre a faixa de 7,5 à 11; outros metais como por exemplo o cromo tem a característica de possuir boa solubilidade tanto em baixo como em alto pH e para resíduos que tenham diversos tipos de metais é necessário que o pH seja médio”*

*“A capacidade de absorção de um resíduo está diretamente relacionada com a sua superfície, tamanho, forma da partícula, porosidade, concentração e pH”.*

*“A reprecipitação é um dos mecanismos mais importantes para confinamento de resíduos que contem metais pesados, pois os metais em forma de hidróxidos ao se encontrarem em um meio fortemente básico, se dissolvem dentro da matriz como, por exemplo, matriz cimentícia”.*

### **2.12 Matrizes Confinadoras de Resíduos Tóxico**

Palacios, Jiménez e Palomo (2004) descrevem que as matrizes confinadoras de

resíduos podem ser divididas em dois tipos, as orgânicas e as inorgânicas. Exemplos de matrizes orgânicas são a uréia, poliéster, epóxi, gel de acrilamina, poliolefina substâncias betuminosas como o asfalto, entre outros.

### **Matrizes Inorgânicas**

Palacios, Jiménez e Palomo (2004) descrevem que as matrizes inorgânicas mais comuns são matrizes a base de cimento *Portland*, matrizes com cinzas voláteis, Cal, Pozolanas e silicato sódico.

As principais vantagens da utilização de matriz inorgânica são o baixo custo, boa estabilidade física e química em longo prazo, compostos químicos não tóxicos, alta disponibilidade de material, processo de estabilização de fácil execução, resistência a incidência de luz ultravioleta, resistência a biodegração, baixa solubilidade em água, baixa permeabilidade, boas características mecânicas e estruturais.

Algumas desvantagens de uso são que apresentam incompatibilidade para resíduos que contem alto volume de óleos ou outros compostos orgânicos e, para alguns processos, requerem grandes adições de agentes solidificantes.

### **Matrizes com Base em Cimento *Portland***

Palacios, Jiménez e Palomo (2004) descrevem que as matrizes com base em cimento *Portland* foram as primeiras a serem utilizadas para confinar elementos tóxicos, como os elementos radioativos, em 1950. O cimento *Portland* tem vantagens práticas e conceituais como matrizes para estabilização e solidificação de resíduos.

Algumas vantagens do uso são: baixo custo, tecnologia comprovada, inclusive automatizada caso necessário, composição uniforme, pois segue rígidas normas para controle de qualidade e uso, boa durabilidade, não inflamável, tolerável para resíduos úmidos, sua alcalinidade minimiza a atividade microbiológica. Tem-se conhecimento de diversos estudos de utilização da matriz para elementos químicos considerados perigosos por meio de ensaios de lixiviação. Dentre as desvantagens citadas por Palacios, Jiménez e Palomo (2004), tem-se liberação de calor ao endurecer, pode ter reação com alguns metais tendo a liberação de gases, e quando exposto em ambientes de meio ácido ou de soluções salinas, pode se degradar.

### **Ensaio de Lixiviação**

Palacios, Jimenez e Palomo (2004) definem que lixiviação é a capacidade de movimentação que tem uma substância contaminante, ou indesejável dentro de uma matriz sólida. O lixiviado é nome dado ao contaminante; geralmente é tratado como uma dissolução, que é analisado após o processo de lixiviação. O lixiviante é o líquido utilizado no processo de lixiviação na matriz sólida que contém a matriz com contaminante.

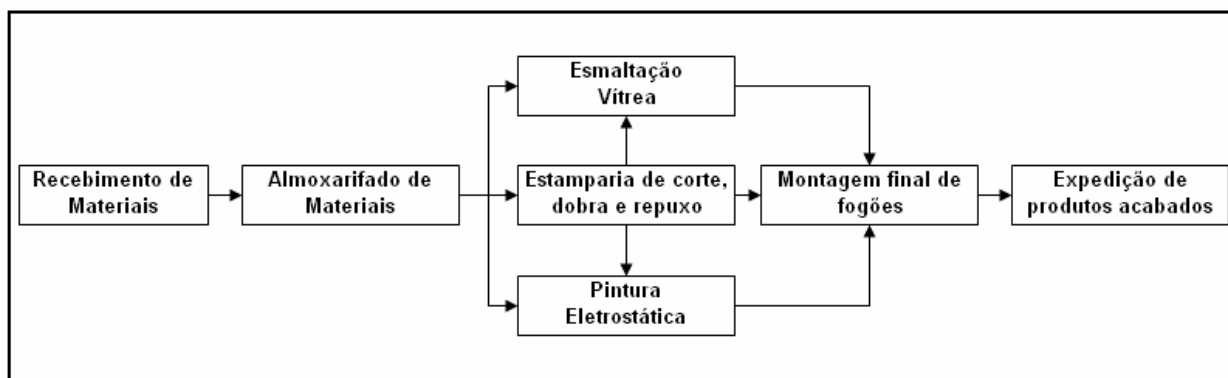
O principal objetivo do ensaio de lixiviação é investigar a possibilidade de percolação de contaminantes, principalmente metais pesados para o solo e consecutivamente lençóis de águas subterrâneas, pois o artefato durante o uso poderá ter contato com o solo e após uso poderá ser disposto em aterro, ser triturado novamente, entre outros (JOHN e ÂNGULO, 2003).

Dada a influência da porosidade no processo de lixiviação, a análise do impacto ambiental de componentes fabricados com argamassas contendo resíduos, cuja porosidade é controlada pela relação entre água e cimento, consumo de cimento e condições de compactação, torna-se ainda mais complexa (JOHN e ÂNGULO, 2003).

### 3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE FOGÕES

#### 3.1 Aspectos Gerais do Processo de Fabricação

O estudo de caso foi realizado nas instalações da fábrica de fogões da BSH Continental Eletrodomésticos Ltda., fabricante tradicional de eletrodomésticos. Localizada na cidade de São Paulo, a fábrica produz em média 4.500 produtos por dia e seu fluxo básico de processo é ilustrado na Figura 4. Até meados da década de 1960, os fogões eram produzidos pelo processo de fundição e esmaltados inteiros dentro de um forno de esmaltação, quando foram substituídos pelo processo de estampagem de chapa. Atualmente, o processo de fabricação inicia-se pelo corte da chapa para formação do “blank”, que é conformado no formato da peça que se deseja. Esta conformação é feita por meio de uma prensa mecânica ou hidráulica (Figura 5) que contém a ferramenta (Figura 6) que tem o formato da peça que se deseja. A peça após ser conformada pode ser encaminhada para 03 processos diferentes de acordo com a sua finalidade e acabamento.



**Figura 4:** Fluxograma básico do processo de fabricação de fogões domésticos.

Fonte: Próprio autor, 2006 – Cortesia BSH Continental Ltda.



**Figura 5** :Foto ilustrando prensa executando processo de estampagem.

Fonte: Próprio autor, 2006 – Cortesia BSH Continental Ltda.





**Figura 6:** Foto ilustrando detalhe ferramenta dentro da prensa, blank (chapa lisa) a esquerda e peça após conformada a direita.  
Fonte: Próprio autor, 2006 – Cortesia BSH Continental Ltda.

O primeiro processo para o qual as peças estampadas podem ser encaminhadas é o da montagem final onde são encaminhadas as peças que não requerem acabamento posterior, dentre elas as peças em aço inox (Figura 7) e ou chapa zincada, o segundo processo a qual as peças podem ser encaminhadas é a da esmaltação vítrea, que são as peças que formarão a parte interna do forno do fogão, ou cavidade (Figura 8) e o terceiro e último processo em que as peças podem ser encaminhadas é o de pintura eletrostática; para este processo são encaminhadas as peças aparentes e decorativas. As peças depois de acabadas são encaminhadas para o processo de montagem final. O processo de montagem é constituído basicamente por uma linha horizontal tipo esteira (Figura 9) que se movimenta entre os diversos postos de trabalho, onde os montadores se encarregam de executar a montagem das diversas partes que constituem o fogão, tais como: parafusos, instalações elétricas, vidros, grelhas, espalhadores, entre outros.



**Figura 7:** Foto ilustrando contentor de peças em aço inoxidável prontas para uso  
Fonte: Próprio autor, 2006 – Cortesia da BSH Continental Ltda.



**Figura 8 :** Foto ilustrando cavidades esmaltadas para forno de fogões  
Fonte: Próprio autor, 2006 – Cortesia da BSH Continental Ltda.



**Figura 9:** Foto ilustrando típica linha de montagem de fogões  
Fonte: Próprio autor, 2006 – Cortesia da BSH Continental Ltda.

### 3.2 Generalidades do Processo de Acabamento para Fogões Domésticos

Como mencionado no item anterior, os fogões domésticos utilizam dois tipos de acabamento superficial: esmaltação vítrea (cavidade do forno) e pintura eletrostática (peças externas). Estes processos se fazem necessários, pois as chapas de aço necessitam de revestimento para proteção contra a corrosão e também por razões ornamentais. A aplicação de revestimentos também provê uma maneira econômica de combinar as propriedades do substrato metálico e a do revestimento (RAMANATHAN, 1993) e para a obtenção de um material composto com boas propriedades mecânicas e resistência à corrosão adequada (SHIEU et al., 1997). Fazem parte do processo de acabamento (esmaltação e pintura) os processos de pré-tratamento superficial, fundamentais para a remoção dos contaminantes superficiais, remoção de produtos de corrosão superficiais e para o controle da natureza física da superfície (AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1964). A escolha dos processos de pré-tratamento e a ordem na qual devem ser executados dependem da condição do material substrato, do processo de revestimento e da finalidade de uso do objeto revestido (THE POWDER COATING INSTITUTE, 1997). A linha de pré-tratamento para um processo de revestimento específico pode variar de um único tratamento até múltiplos tratamentos

(REIS e BARITIS, 2000). Contaminantes superficiais surgem como resultado de processos de fabricação anteriores, e/ou aplicações deliberadas, e geralmente consistem de matéria orgânica, tais como óleos, graxas, ceras, tintas, vernizes, ou matéria inorgânica, como pós metálicos, sujeiras transportadas pelo ar e outros sendo que esses contaminantes são removidos com o uso de desengraxantes (THE POWDER COATING INSTITUTE, 1997). Segundo Ramanathan (1993), a resistência à corrosão de vários metais pode ser consideravelmente aumentada pelo revestimento com produtos de reação, tais como: óxidos formados anodicamente, fosfatos e cromatos.

### **3.3 Processo de Pintura Eletrostática**

Segundo Vieira e Aramaki (2006), o nascimento do processo de proteção superficial utilizando a tecnologia de pintura à pó ocorreu nos EUA em torno de 1955, inicialmente com o processo de leito fluidizado, as tintas em pó basicamente são de constituição similar quando comparadas às tintas líquidas, porém dispensam o uso de solventes, e *The Powder Coating Institute* (1997) cita que esta é a principal característica do processo de pintura eletrostática ou pintura a pó em relação ao processo de pintura líquida. A não utilização de solventes em sua composição química confere a este processo um caráter mais ecológico pois não há emissões de compostos voláteis orgânicos ou VOC's (*volatile organic compounds*), e a segunda característica principal é a eficiência do processo que pode chegar a 98% de aproveitamento, reduzindo assim os impactos ambientais causados pela poluição do ar e do solo.

Vieira e Aramaki (2006) citam que os tipos de tinta à pó são as de base epóxis, poliésteres, híbridos (epóxi e poliéster), acrílicos e poliuretanos. O tipo utilizado na pintura dos fogões domésticos é a de poliéster pois apresenta excelente resistência anti-corrosiva, mecânica e ao amarelamento (exposição a temperatura).

As etapas constituídas do processo de pintura à pó são o pré-tratamento, a aplicação da tinta em pó e a polimerização ou cura.

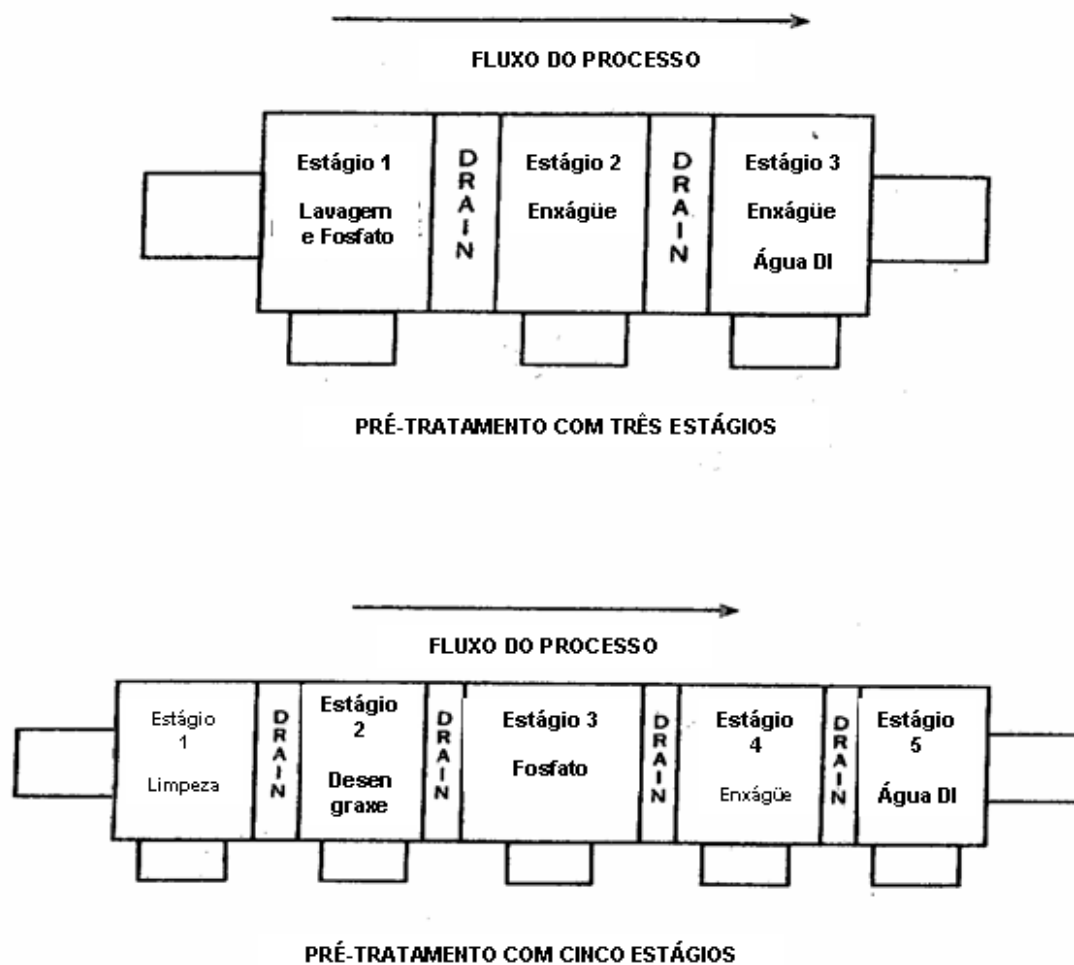
#### **3.3.1 Pré-tratamento da Superfície para Pintura**

O pré-tratamento é a etapa em que realiza a eliminação das contaminações (sujeiras, óleos, graxas) para permitir a total aderência da tinta na superfície das peças. Esta etapa do processo termina com a fosfatização, a qual consiste na deposição de uma

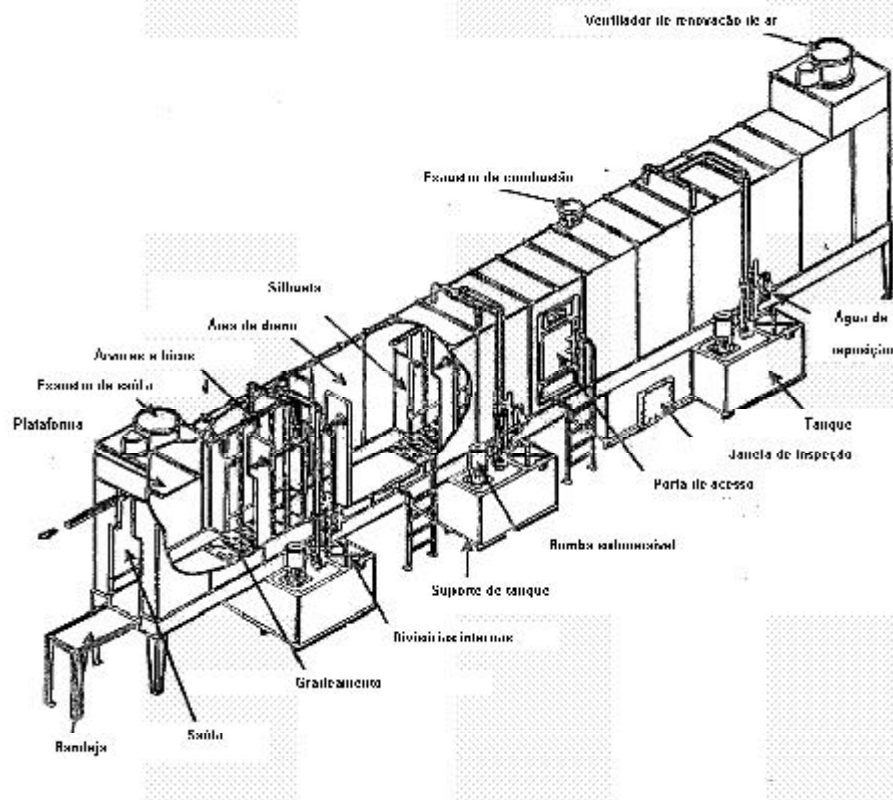
camada de fosfato na superfície a ser pintada.

Reis e Baritis (2000) citam que os óleos e graxas podem ser removidos por métodos químicos de limpeza. Os contaminantes são removidos de diversas maneiras: por solubilização, por emulsificação, por saponificação ou por peptização. São usadas soluções aquosas a quente contendo silicatos, fosfatos e carbonatos de metais alcalinos, soluções desengraxantes também contém aditivos para abaixar a tensão superficial, melhorar a molhabilidade, e promover a emulsificação dos óleos e graxas. Os sais alcalinos têm boas propriedades detergentes, causando saponificação por reação com substâncias gordurosas e promovendo peptização, que ajuda a reter as sujeiras insolúveis em suspensão no desengraxante. O desengraxamento alcalino é realizado por imersão em tanques ou por aerossol sobre as peças, seguido por enxaguamento e em seguida é aplicada a proteção de fosfato.

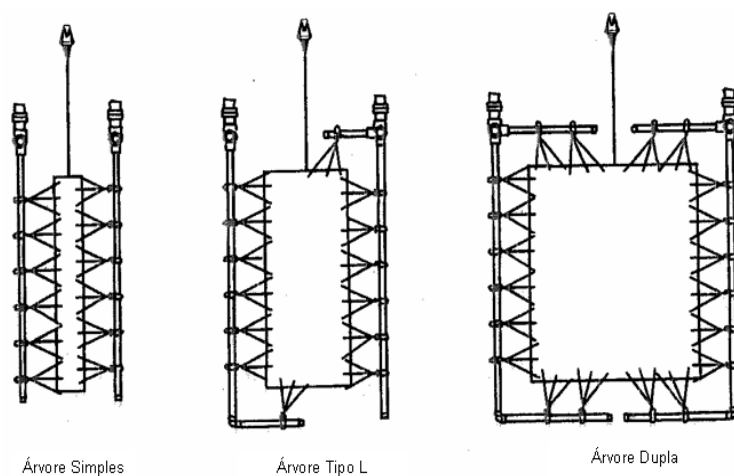
Vieira e Aramaki (2006) citam que os revestimentos de fosfato têm sido usados para proteger superfícies de aço por muitos anos, e o maior uso dos revestimentos de fosfato é como base para pintura. Revestimentos de fosfato podem ser obtidos seja por imersão ou por nebulização das peças com soluções de fosfato. Os revestimentos podem variar de espessura, desde menos de 2,5  $\mu\text{m}$  até 50  $\mu\text{m}$  (RAMANATHAN, 1993). Os fosfatos podem ser de ferro, manganês ou zinco. Os banhos fosfatizantes de zinco e manganês operam com pH entre 1,8 e 2,4 e os banhos de fosfatizantes de ferro, com pH em torno de 3,6 (RAMANATHAN, 1993). Os banhos de fosfatizantes de zinco e manganês contém geralmente um acelerador. Este acelerador é um agente de oxidação, tal como nitrato, nitrito, cbrato ou peróxido de hidrogênio e é usado para acelerar a velocidade de formação do revestimento e reduzir o tamanho dos cristais de fosfatos. Após a fosfatização as peças devem ser enxaguadas vigorosamente com água para remover sais solúveis, que de outra forma tenderiam a promover empolamento sob uma película de pintura posteriormente aplicada (REIS; BARITIS, 2000). O equipamento geralmente utilizado nesta fase é o túnel multiestágios (Figura 10 e Figura 11) providos de um sistema típico chamado de árvore onde são colocados os bicos que produzem os jatos aerossóis para limpeza (Figura 12). Após o ciclo de limpeza dentro do túnel de pré-tratamento, as peças passam por dentro de um secador que pode ser elétrico ou a gás que por efeito de convecção promove a evaporação da água residual, deixando a superfície limpa e seca, adequada para a próxima etapa do processo que é a aplicação da tinta em pó.



**Figura 10:** Ilustração esquemática do sistema de pré-tratamento multiestágio.  
Fonte: Adaptado de *The Powder Coating Institute* (1997).



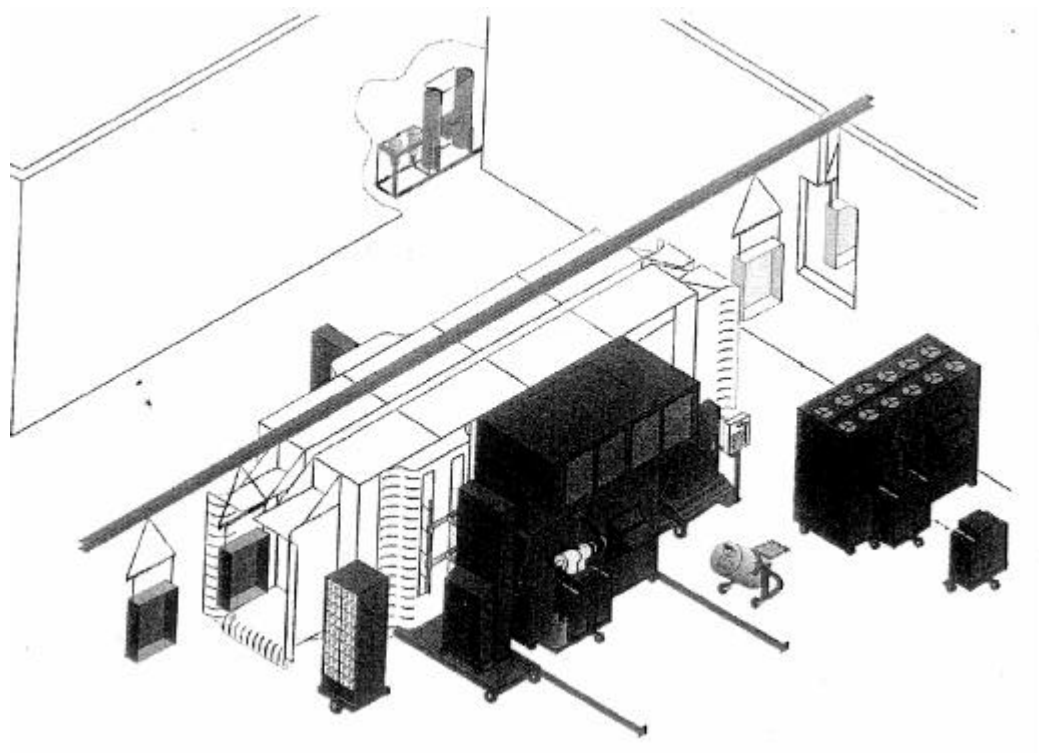
**Figura 11:** Desenho ilustrativo de um típico túnel mútiestágio para pré-tratamento.  
 Fonte: Adaptado de *The Powder Coating Institute* (1997).



**Figura 12:** Desenho ilustrativo da árvore montada dentro do túnel.  
 Fonte: Adaptado de *The Powder Coating Institute* (1997).

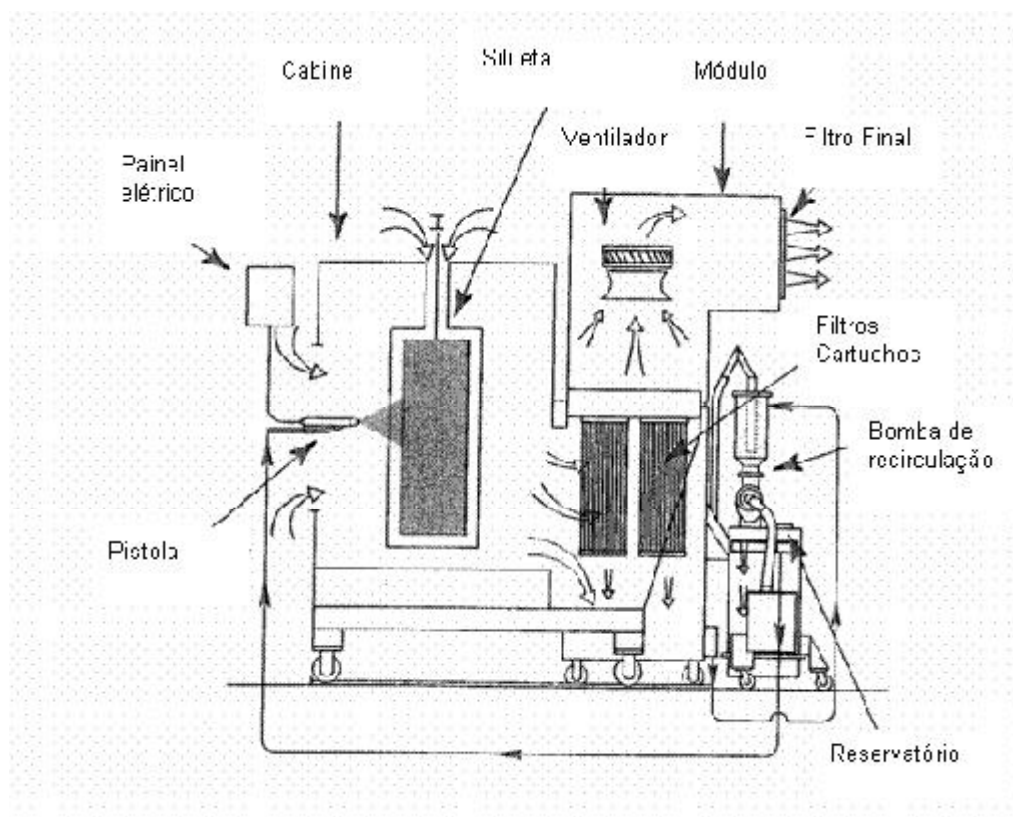
### 3.3.2 Aplicação da Tinta em Pó

Após pré-tratadas, as peças são devidamente disponibilizadas em transportadores e encaminhadas para as cabines de aplicação de pintura (Figura 13 e Figura 14). Os revestimentos orgânicos são aplicados a metais, seja para controlar a corrosão, melhorar o valor estético ou melhorar as propriedades, tais como resistência ao desgaste, resiliência e outras (THE POWDER COATING INSTITUTE, 1997). Ramanathan (1993) cita que os revestimentos orgânicos classificam-se em elastômeros, plásticos, tintas e protetores temporários; a tinta em pó se enquadra como revestimento plástico e apesar de receber o nome de tinta, não se enquadra como tal pois não possui solventes. O método utilizado para aplicação da tinta em pó é a pulverização eletrostática no qual uma alta voltagem de 30 a 60 kV é aplicada ao bocal de uma pistola de pulverização e o pó adquire uma forte carga e a superfície que se quer revestir (chapa de aço) é ligada ao fio terra, e desta forma o pó é carregado (GABRIEL, 2005) tendo o chamado efeito corona, conforme ilustrado nas figuras Figura 15 e Figura 16.



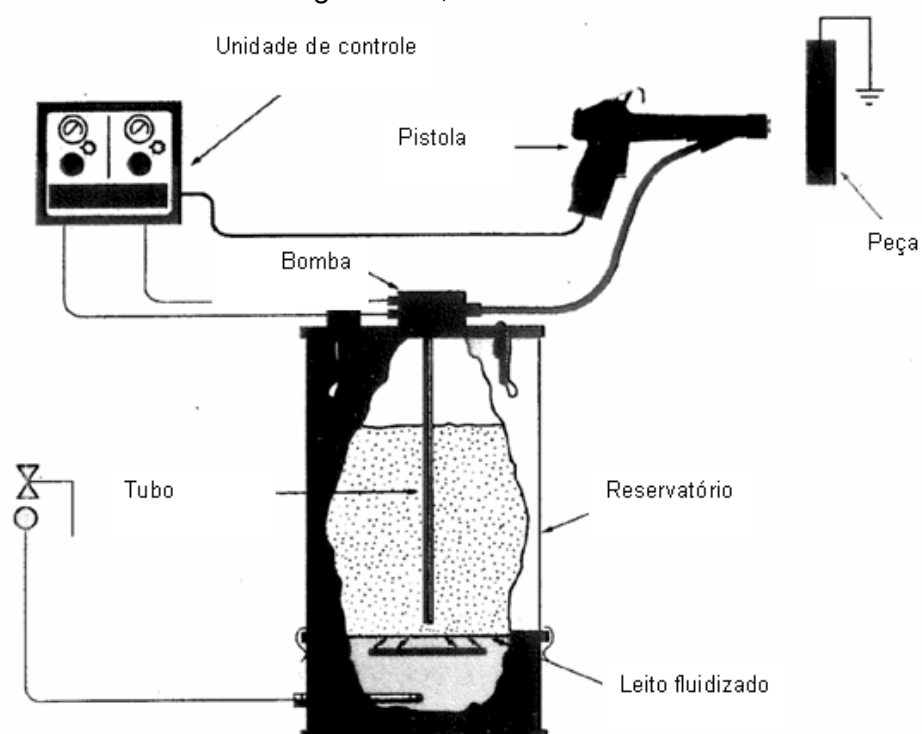
**Figura 13:** Desenho ilustrativo de típica cabine de aplicação de tinta em pó  
Fonte: *The Powder Coating Institute, 1997*





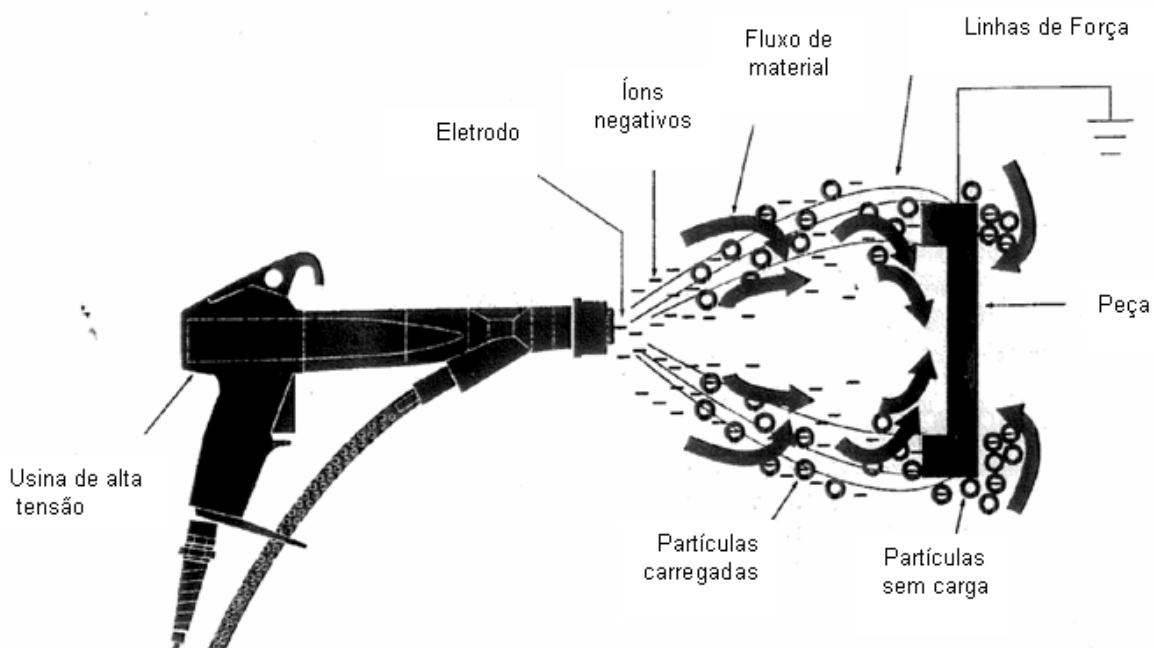
**Figura 14:** Desenho em corte de uma típica cabine de aplicação, ilustrando os fluxos de ar e da tinta em pó dentro da cabine.

Fonte: Adaptado de *The Powder Coating Institute*, 1997



**Figura 15:** Desenho esquemático dos equipamentos de aplicação a tinta em pó por meio de carga elétrica.

Fonte: Adaptado de *The Powder Coating Institute*, 1997



**Figura 16:** Desenho esquemático ilustrando o funcionamento de uma típica pistola de aplicação e o efeito corona.

Fonte: Adaptado de *The Powder Coating Institute*, 1997

### 3.3.3 Polimerização (Cura)

Depois da aplicação da tinta em pó na peça, a mesma é encaminhada, por meio de transportadores aéreos, para dentro de uma estufa de cura, onde se dá o processo; inicialmente o aquecimento promove a fusão da tinta em pó para o devido alastramento na superfície da peça e subseqüentemente polimerização (GABRIEL, 2005). A temperatura do processo geralmente é de 180°C e o tempo de permanência nesta temperatura é de aproximadamente de 10 minutos (THE POWDER COATING INSTITUTE, 1997). Também é recomendado que para uma boa qualidade do acabamento final da peça, as estufas sejam periodicamente limpas para que se evite o acúmulo de sujeira e esta migre para as peças (GABRIEL, 2005).

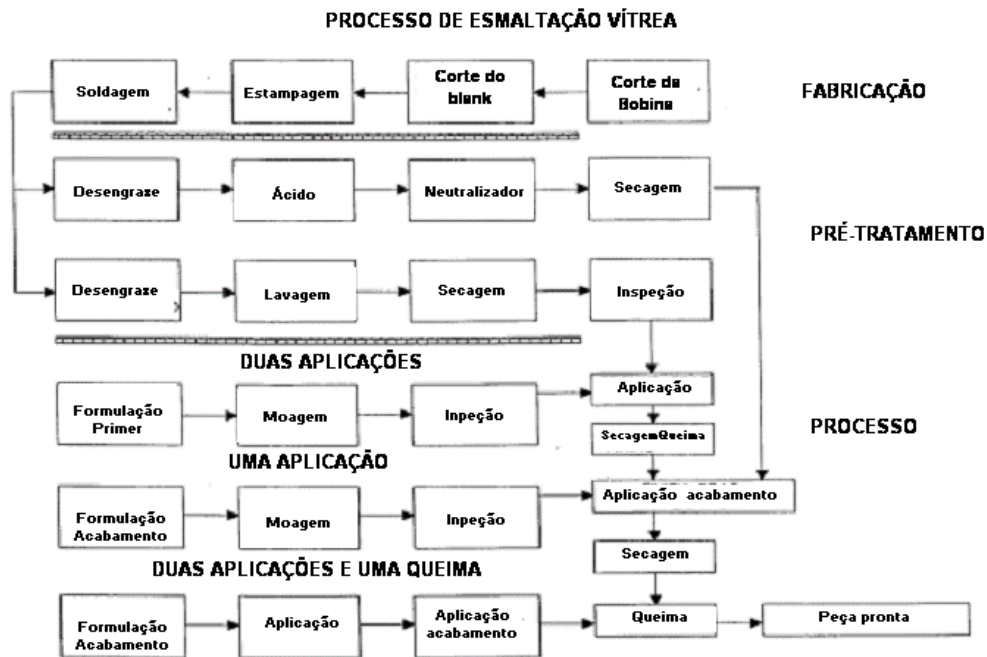
## 3.4 Processo de Esmaltação Vítreo

A esmaltação vítrea é um revestimento que surgiu alguns séculos antes de Cristo, pois já haviam peças esmaltadas nos túmulos do antigo Egito, e foi na Alemanha e na Áustria, a partir do século XIX, onde se deu o início da utilização do processo de

esmaltação sobre chapas de aço em escala industrial e foi nos EUA, a partir do século XX, onde as usinas siderúrgicas iniciaram o processo de fabricação de aços próprios para esmaltação.

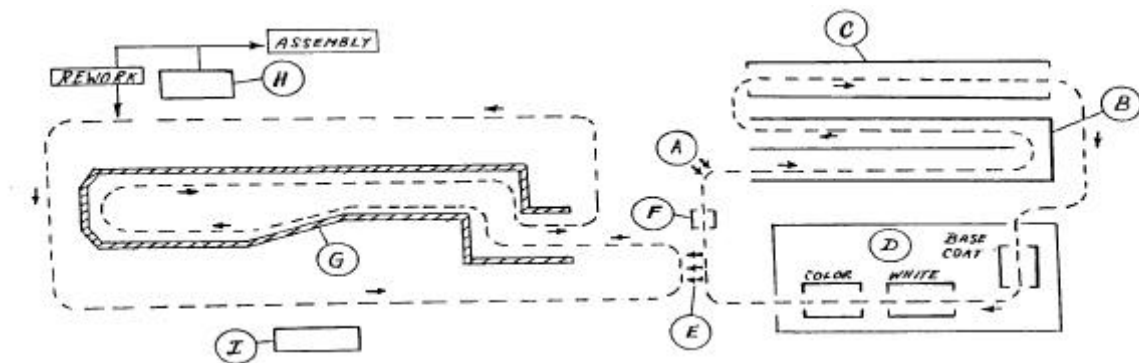
O processo de esmaltação vítrea baseia-se na reação entre os vários óxidos existentes no esmalte, mediante uma queima em forno. A esmaltação vítrea, como o próprio nome implica, é o revestimento de uma substância vítrea que se funde à superfície do aço (AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1964). Este revestimento é muito aderente e é extremamente resistente à abrasão em muitos meios corrosivos e é aplicado para conferir ambas as propriedades, melhor estética e proteção contra corrosão (SHIEU et al., 1997). Assim, a esmaltação vítrea é aplicada nas partes metálicas que compõem a cavidade do forno dos fogões domésticos, pois este acabamento é recomendado quando se deseja obter propriedades contra corrosão e oxidação a temperaturas elevadas e ambiente, resistência ao desgaste por abrasão, resistência química, boa condutibilidade térmica, facilidade na limpeza, superfície esterilizável, estável à exposição ultravioleta, cores permanentes e baixos coeficientes de atrito (PORCELAIN ENAMEL INSTITUTE, 1996).

As propriedades do esmalte são determinadas pela composição química da matéria prima denominada de fritas (AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1964), a qual é composta principalmente por óxido de silício, óxido de boro e óxido de alumínio. As fritas são fabricadas em fornos especiais que chegam a temperaturas de 1316°C (BRADY, VACCARI e CLAUSER, 2002). A esmaltação vítrea pode ser aplicada por via úmida ou seca (esmaltação em pó). O processo de esmaltação via úmida possui ainda três variantes de aplicação às quais são ilustradas na Figura 17, constituídas basicamente em pré-tratamento da superfície, preparação do esmalte, aplicação do esmalte, secagem em estufa e queima em forno.



**Figura 17:** Fluxograma básico do processo de fabricação de peças esmaltadas  
 Fonte: Adaptado de *Porcelain Enamel Institute*, 1996.

O processo de esmaltação em pó é um processo moderno onde não é mais necessária a etapa de secagem em estufa, pois após a aplicação as peças são encaminhadas diretamente para queima em forno como ilustrado na Figura 18.



A: Estação de carga; B: Túnel de pré-tratamento; C: Secador; D: Cabines de aplicação de esmalte em pó enclausuradas com umidade controlada; E: Estação de transferência; F: Limpador de gancheiras; G: Forno de esmaltação de alta eficiência; H: Estação de inspeção de qualidade; I: Estação de retrabalho.

**Figura 18:** Desenho esquemático típico de uma instalação de esmaltação em pó.  
 Fonte: Adaptado de *Porcelain Enamel Institute*, 1996.

O processo de esmaltação em pó possui algumas vantagens em relação ao processo de via úmida, sendo a principal delas a não utilização d'água, não gerando efluentes líquidos, e seu rendimento em aplicação pode chegar em 98% de eficiência, reduzindo assim também a geração de resíduo sólido. Na Europa e EUA, o processo de esmaltação em pó vem substituindo em larga escala o processo de esmaltação via úmida; no Brasil este processo ainda é muito pouco difundido e utilizado.

Para esmaltes especiais, denominados auto limpante, que tem por finalidade catalisar a gordura gerada pelo processo de cocção dentro do forno do fogão, ainda é muito utilizado o processo via úmida, sendo que já tem-se desenvolvido este tipo de esmalte na Europa.

Tanto para o processo de esmaltação em pó como para o de via úmida, atualmente é necessário o pré-tratamento.

### **3.4.1 Pré-tratamento da Superfície para Esmaltação Vítrea**

Para que se tenha uma peça esmaltada com boa qualidade é necessário que a superfície do substrato metálico que se queira revestir seja isenta de sujeira, óleos e graxas. Sendo assim necessário que se faça o pré-tratamento da superfície seja por meio de desengraxantes alcalinos seja por meio ácido (AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1964). Este processo pode ser realizado por subseqüentes imersões em tanques ou por meio de túneis similares aos utilizados para pré-tratamento da pintura (Figura 11). Atualmente, a limpeza por meio ácido esta cada vez mais sendo substituída por desengraxantes alcalinos; após a limpeza por meio de desengraxante as peças passam por água de lavagem, neutralizador e água deionizada sendo depois encaminhadas para o processo de secagem em uma estufa a temperatura de aproximadamente 160°C (PORCELAIN ENAMEL INSTITUTE, 1996).

A composição do desengraxante geralmente é uma combinação de sais inorgânicos, compostos por silicatos, carbonatos, hidróxidos de sódio e fosfato (base alcalina) e uma mistura de substâncias umectantes, chamadas também de tensoativos. Utiliza-se geralmente em solução entre 2% e 5% e temperatura entre 50 e 95°C, sendo que o banho neutralizador, tem como função eliminar os últimos vestígios de desengraxante e proteger a superfície contra oxidação rápida; a água de lavagem deve ter o pH 8

(PORCELAIN ENAMEL INSTITUTE, 1996).

### 3.4.2 Preparação do Esmalte

A preparação do esmalte líquido é feita em moinhos cilíndricos, construídos de chapas de aço revestidos de tijolos de porcelana, que gira em torno de um eixo horizontal, no qual em seu interior é colocada a frita (matéria-prima básica), água, aditivos e as bolas ou cilindros de porcelana de alta densidade. O processo de moagem deve ser feito por meio de batidas das bolas com o material dentro do moinho e não por atrito.

Atualmente, é possível já receber os esmaltes prontos para uso, necessitando apenas serem agitados por meio de agitadores especiais (Figura 19).



**Figura 19:**Foto ilustrativa de um típico agitador em funcionamento.  
Fonte: Ferro Enamel, 2006.

Para o esmalte em pó não há necessidade de preparação prévia, pois o mesmo é recebido em sacos de 20 kg, prontos para aplicação.

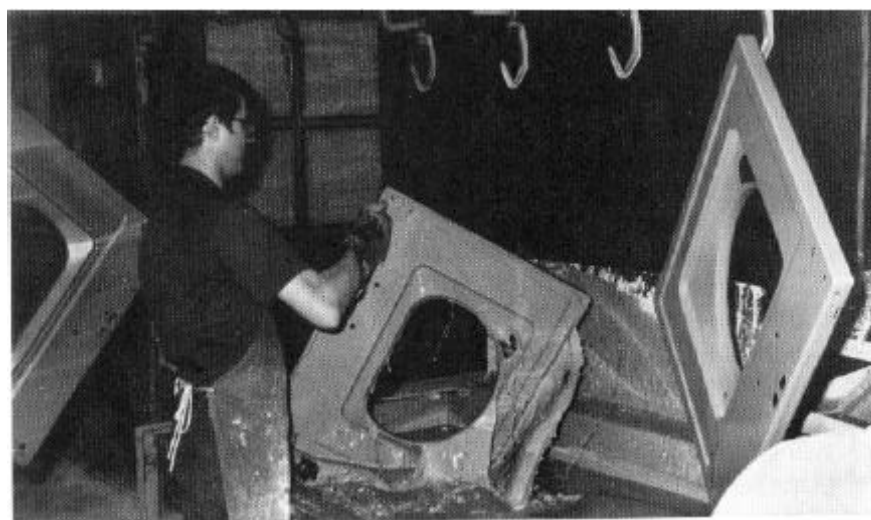
### 3.4.3 Aplicação do Esmalte

O esmalte líquido possui basicamente 03 métodos clássicos de aplicação: por imersão, por aerossol (*spray*) ou por banho (*flow coating*) (AMERICAN SOCIETY FOR METALS,

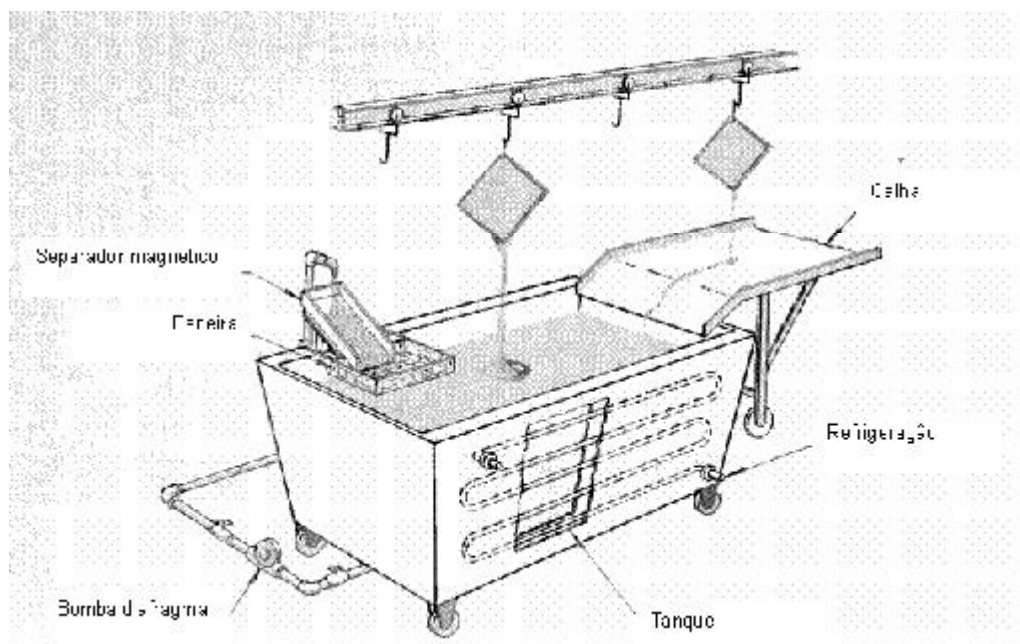
1964); já para a esmaltação em pó, a mesma possui basicamente um método de aplicação que é por meio de carga eletrostática em uma cabine própria (PORCELAIN ENAMEL INSTITUTE, 1996).

### **Método por Imersão**

Neste método as peças são submergidas em um banho de esmalte e dependuradas em um transportador aéreo para escoamento do excesso de esmalte (Figura 20 e Figura 21). Neste processo é importante o controle da densidade do esmalte que será diretamente proporcional à espessura de camada desejada, como também a velocidade do transportador aéreo que também está diretamente proporcional à velocidade de imersão (PORCELAIN ENAMEL INSTITUTE, 1996).



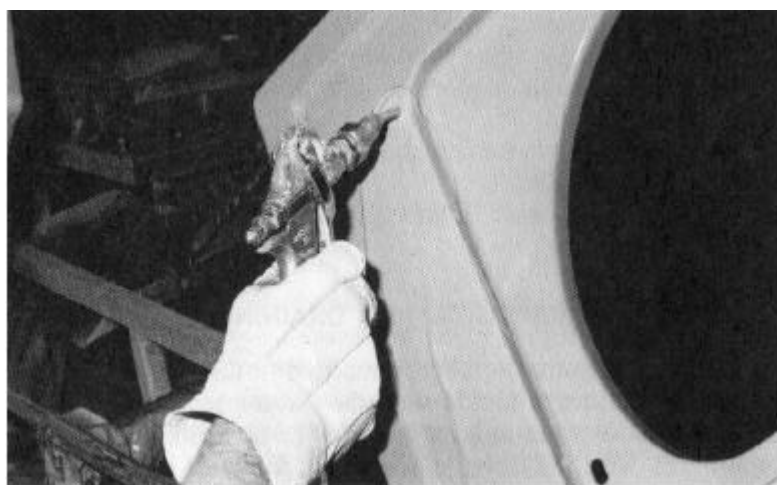
**Figura 20:** Foto ilustrando método de aplicação de esmalte líquido por imersão.  
Fonte: *Porcelain Enamel Institute*, 1996.



**Figura 21:** Desenho ilustrativo de típica instalação de aplicação de esmalte por imersão.

Fonte: *AMERICAN SOCIETY OF METALS*, 1964. (traduzido)

Para peças que possuem furação é necessário que se tenha uma operação adicional utilizando bicos especiais de ar comprimido para desobstrução dos furos (Figura 22) e para cantos de peças com difícil escorrimento é necessária à utilização de bicos especiais com sistema de aspiração para evitar acúmulos indesejáveis de esmalte (Figura 23).



**Figura 22:** Foto ilustrativa do processo de desobstrução de furos com pistola de ar comprimido.

Fonte: *Porcelain Enamel Institute*, 1996.



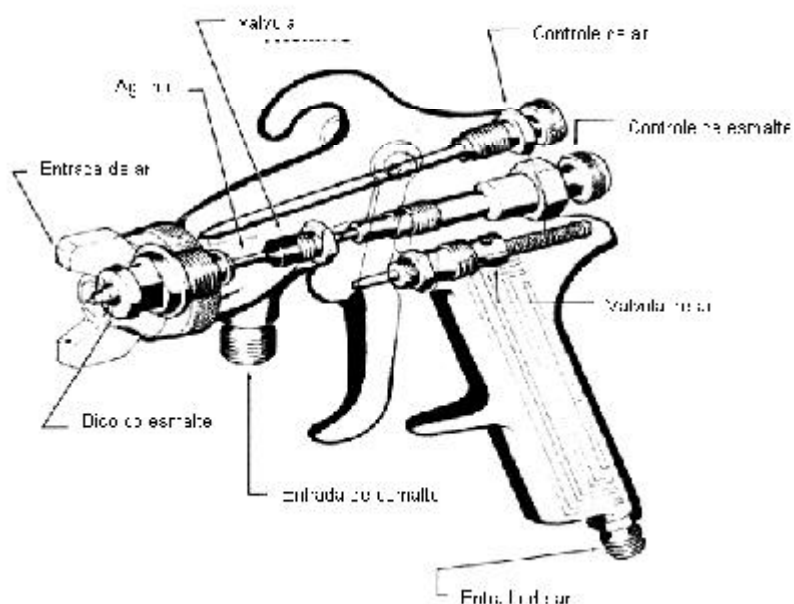


**Figura 23:**Foto ilustrativa do processo de aspiração de excesso de esmalte com bico especial.

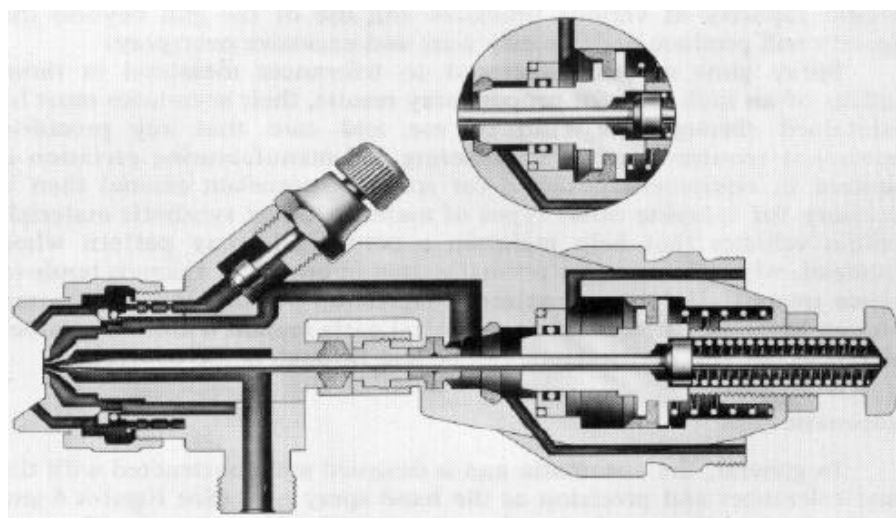
Fonte: *Porcelain Enamel Institute*, 1996.

### **Método por Aerossol**

Neste método de aplicação de esmalte, as peças são esmaltadas por meio de pistolas de uso manual (Figura 24) ou automática (Figura 25) que produzem o aerossol (*spray*) ou leque. A pistola é provida de uma entrada para ar comprimido e uma para o esmalte líquido, o leque produzido (Figura 26) é direcionado para a superfície que se deseja esmaltar; neste processo também é de suma importância o controle da densidade do esmalte, a pressão do ar comprimido, a pressão do esmalte bombeado para a pistola, o tamanho do leque, a distância e posição de aplicação (Figura 27) e a velocidade de aplicação; também é necessário a utilização de uma cabine própria com sistema de cortina de água, sistema de exaustão e filtros (Figura 28).



**Figura 24:** Desenho ilustrativo de uma típica pistola manual de aplicação de esmalte por aerossol.  
 Fonte: *Porcelain Enamel Institute*, 1996.

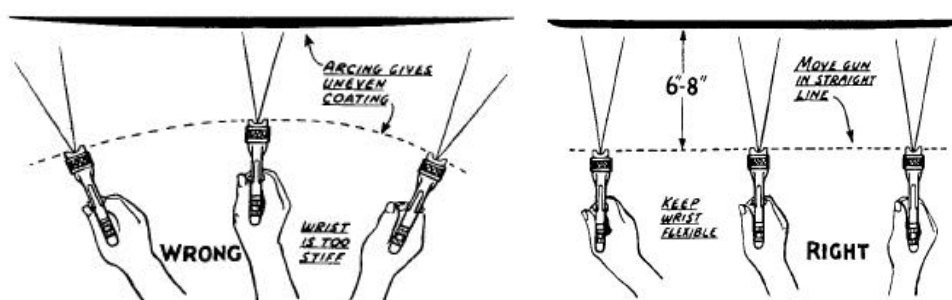


**Figura 25:** Desenho em corte ilustrando uma típica pistola de aplicação automática de esmalte.  
 Fonte: *Porcelain Enamel Institute*, 1996. (traduzido)



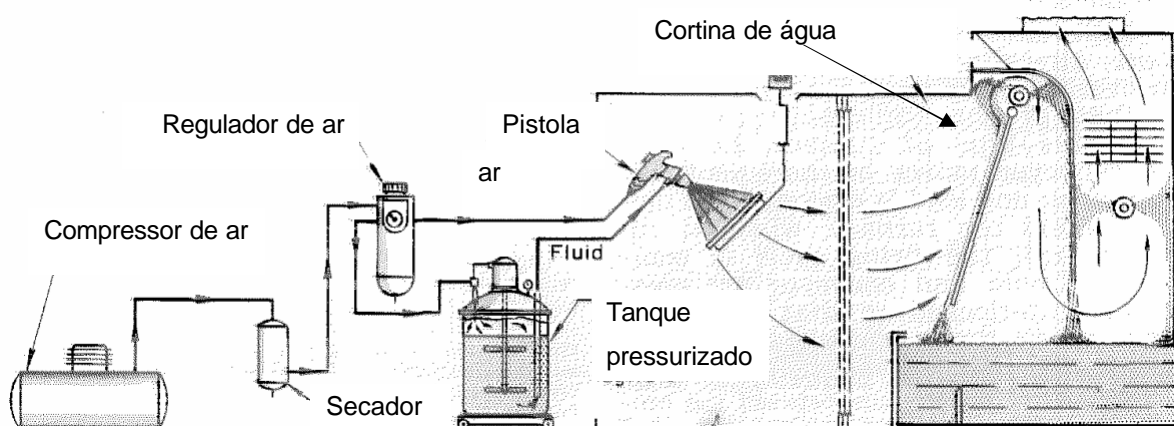
**Figura 26:** Desenho ilustrativo do formato dos leques produzidos pelas pistolas de aplicação.

Fonte: *Porcelain Enamel Institute*, 1996.



**Figura 27:** Desenho ilustrativo exemplificando o método errado (*wrong*) e o correto (*right*) de aplicação de esmalte com pistola manual.

Fonte: *Porcelain Enamel Institute*, 1996.



**Figura 28:** Desenho ilustrativo de típica instalação de cabine de aplicação ilustrando o sistema completo de ar comprimido e esmalte.

Fonte: *American Society for Metals*, 1964. (traduzido)

A principal vantagem do processo por aerossol em relação aos demais processos de aplicação (imersão e banho) é a necessidade de uma menor quantidade de água na superfície da peça, reduzindo assim a umidade dentro do forno a qual é prejudicial ao processo de queima (HYDE, 1997); outra vantagem deste processo é a qualidade da aparência da superfície esmaltada, pois a mesma não deixa cordões, defeito muito comum nos dois outros processos de aplicação.

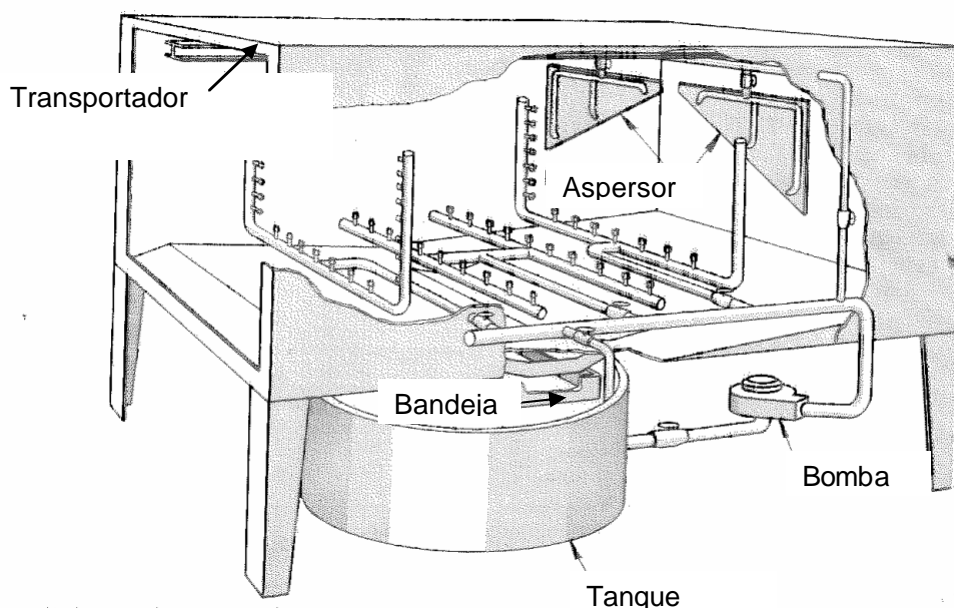
### **Método por Banho (*Flow Coating*)**

Neste método de aplicação, as peças recebem um banho com um jato utilizando um chamado bico de pato (Figura 29); diferente do processo por aerossol, a peça é molhada por esmalte, enquanto permanece dependurada pelos ganchos de um transportador aéreo. Faz parte do controle do processo de aplicação a pressão do esmalte, a velocidade de aplicação e do transportador aéreo; outra forma de aplicação do banho é por meio de um sistema automático, onde as peças passam por dentro de um túnel e recebem jatos por meio de bicos fixos (Figura 30).

Neste método também é comum o processo de desobstrução de furos e retirada dos excessos por aspiração similar ao processo de imersão.



**Figura 29:**Foto ilustrando o método de aplicação com bico de pato.  
Fonte: Próprio autor. Cortesia da BSH Continental Ltda.



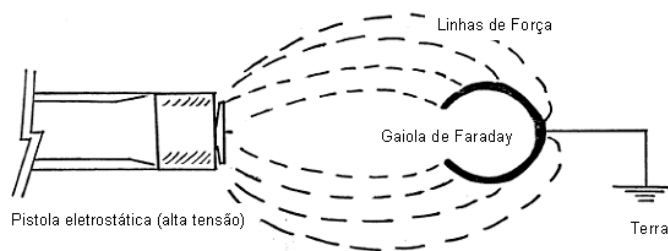
**Figura 30:** Desenho ilustrando típica cabine automática para flow coating.

Fonte: *American Society for Metals*, 1964. (traduzido)

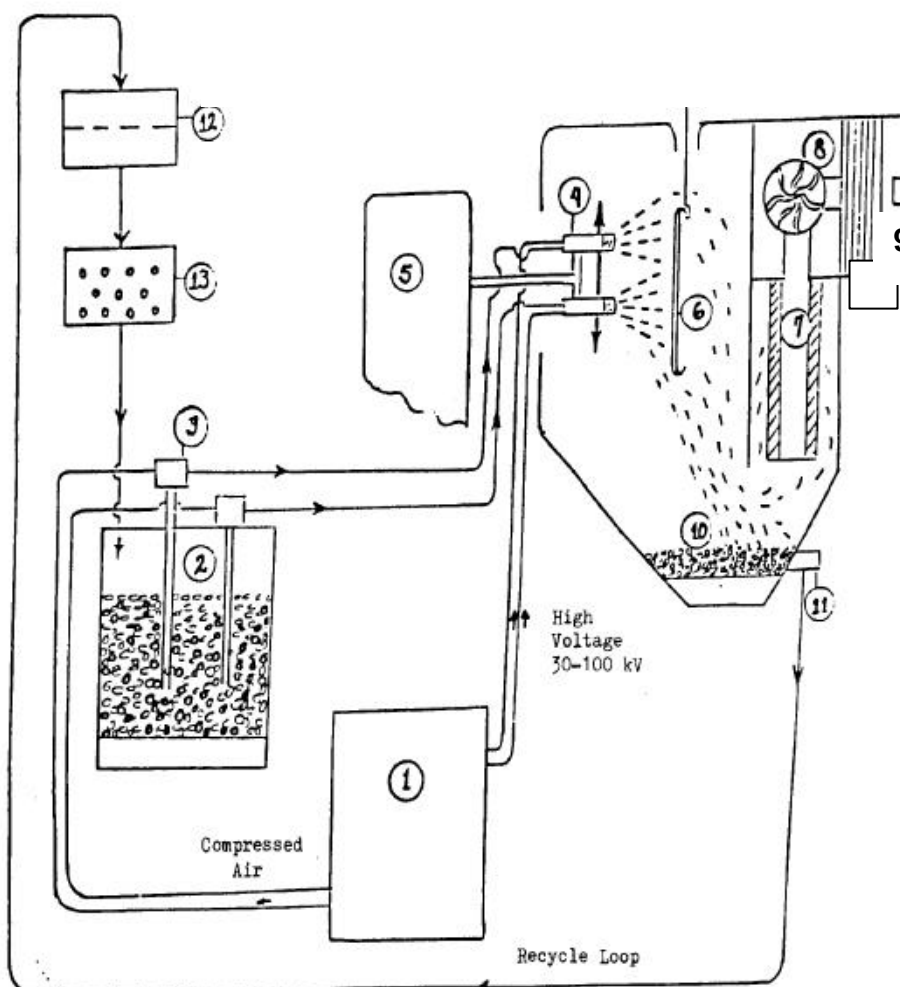
### Esmaltação em Pó

O desenvolvimento do processo de esmaltação em pó teve início a partir do ano de 1970, sendo inicialmente utilizado em escala industrial na França em 1975 e nos EUA em 1976 (*Porcelain Enamel Institute*, 1996).

O método de aplicação do esmalte em pó é similar ao processo de pintura em pó, a diferença básica está na carga elétrica aplicada nas partículas do esmalte (Figura 31), pois como as mesmas são vítreas possuem uma resistividade maior que as partículas de tinta, necessitando de uma carga elétrica maior, de 60 kV a 80 kV (*Porcelain Enamel Institute*, 1996), como citado no item 3.4. Este processo tem algumas vantagens em relação ao processo convencional via úmida sendo, a principal delas não gerar efluentes líquidos durante a aplicação. Neste processo é utilizada uma cabine especial de aplicação (Figura 32) onde esmalte pó fica recirculando no sistema e aplicado na peça que se deseja esmaltar e os principais parâmetros a serem controlados neste processo são a tensão elétrica, a distância entre o bocal da pistola e a peça, a velocidade do transportador aéreo, a velocidade do reciprocador e a vazão de ar.



**Figura 31:** Desenho ilustrativo do processo de ionização das partículas de esmalte em pó e processo de formação da gaiola de Faraday.  
Fonte: *Porcelain Enamel Institute*, 1996.



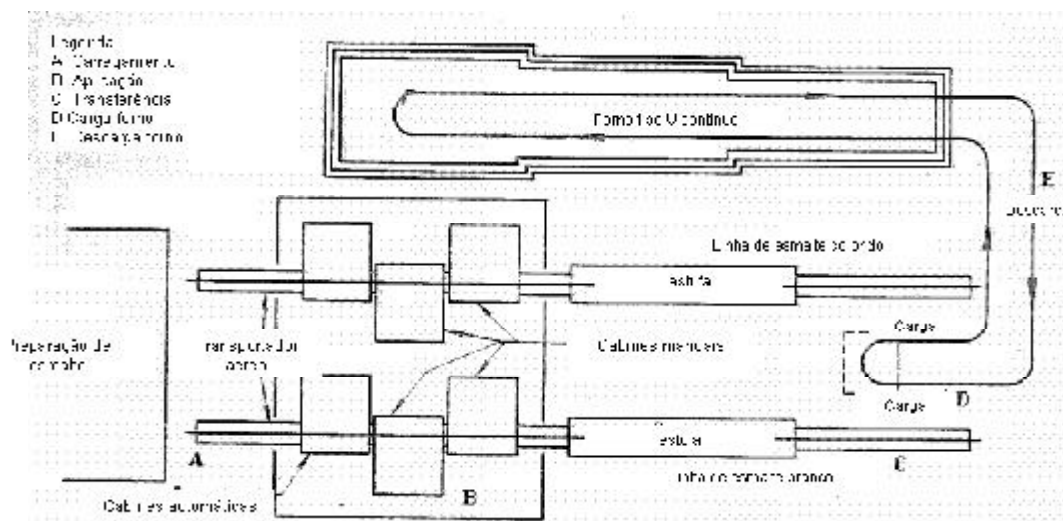
Legenda:

1. Console de controle elétrico e de ar comprimido; 2. Leito fluidizado de esmalte em pó  
3. Bomba de recalque de pó; 4. Pistolas eletrostáticas; 5. Reciprocador; 6. Peça a ser esmaltada; 7. Filtro primário; 8. Exaustores; 9. Filtros secundários (finais); 10. Fundo da cabine com leito fluidizado; 11. Bomba de recirculação; 12. Peneira; 13. Separador magnético

**Figura 32:** Desenho esquemático típico de sistema de aplicação de esmalte em pó.  
Fonte: *Porcelain Enamel Institute*, 1996. (traduzido)

### 3.4.4 Secagem do Esmalte

Toda aplicação via úmida necessita do processo de secagem antes de entrar no forno de queima (AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1964), o qual é feito por meio de uma secagem em estufa na temperatura de aproximadamente 160 °C (Figura 33).

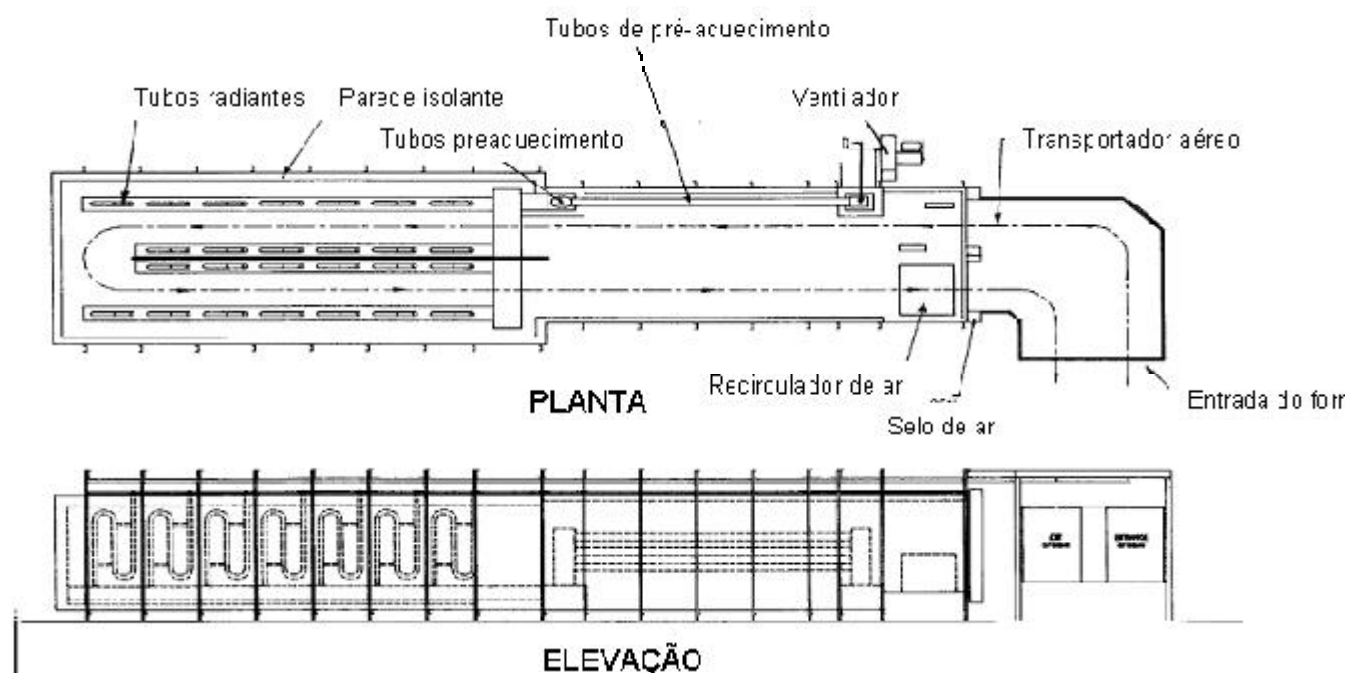


**Figura 33:** Desenho esquemático de instalação de esmaltação utilizando a estufa de secagem (*drier*) logo após a aplicação e antes do forno de esmaltação.  
 Fonte: *American Society for Metals*, 1964. (traduzido)

Esta secagem é necessária para se reduzir a umidade na superfície da peça esmaltada que causa defeitos na superfície esmaltada entre elas o fervimento, deslocamento e escama de peixe, conforme confirmado por Joshi (1994) e Hyde (1997). A peça, depois do processo de secagem, é então encaminhada para o processo de queima onde será vitrificada na superfície metálica.

### 3.4.5 Processo de Queima em Forno

O processo de queima do esmalte vítreo é realizado em um forno especial. Os fornos podem ser elétricos ou a gás natural (AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1964) sendo mais comum o gás natural (PORCELAIN ENAMEL INSTITUTE, 1996). Os fornos a gás natural (Figura 34) são construídos utilizando queimadores com baixa emissão de  $\text{NO}_x$ , do tipo recuperativo, os quais aquecem os chamados tubos radiantes e estes irradiam para as paredes refratárias do forno que por sua vez irradiam para as peças.



**Figura 34:** Desenho parcial de um forno de esmaltação utilizando tubo radiante tipo S.

Fonte: *Porcelain Enamel Institute*, 1996. (traduzido)

O processo de queima do esmalte dentro do forno é uma das etapas mais difíceis do controle do processo de esmaltação, pois é necessário o controle fino dos patamares de temperatura e tempo na zona de queima (BRADY, VACCARI e CLAUSER, 2002). O controle é feito por meio de termopares localizados em pontos estratégicos dentro do forno e ligados a controladores de temperatura, os fornos mais modernos possuem controladores lógicos programáveis que executam estas rotinas de controle. O ambiente de queima do forno deve ser o mais inerte possível, evitando a presença de vapores de óleo, sujeiras e umidade (PORCELAIN ENAMEL INSTITUTE, 1996). O processo de queima é um processo de oxidação da superfície metálica e neste processo são liberados gases os quais estão presentes na composição do esmalte e da chapa de aço. O Porcelain Enamel Institute (1996) cita que as temperaturas dos patamares de queima são especificados de acordo com o tipo de esmalte, tipo de aplicação e do substrato a ser aplicado. É importante destacar que a qualidade do aço utilizado na esmaltação é de suma importância neste processo (SCHÖTTLER e FLAXA, 2004), pois o mesmo deve ter a chamada qualidade vítrea (Associação Brasileira de Normas Técnicas), que o torna próprio para este processo. Os aços chamados de vítreos possuem elementos químicos que ajudam no processo de oxidação e retêm as



moléculas de hidrogênio dentro do substrato (JOSHI, 1994); (GORDON, 1994), evitando assim que o mesmo escape durante o processo de oxidação causando defeitos superficiais, chamado comumente de defeito de fervimento (BILLER e STIDHAM, 1996);(HYDE, 1997). Os aços utilizados neste processo possuem um baixo teor de carbono, a temperatura é de aproximadamente 840°C com permanência de 4 a 5 minutos (PORCELAIN ENAMEL INSTITUTE, 1996).

## **4 GERAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO NO PROCESSO DE ACABAMENTO DE FOGÕES**

### **4.1 Aspectos Gerais da Geração do Resíduo Sólido**

Na fabricação de fogões as gerações dos resíduos sólidos surgem do tratamento dos efluentes líquidos dos processos de pré-tratamento da pintura eletrostática (fosfatização, refinador, águas de lavagem, desengraxantes), do pré-tratamento da esmaltação (desengraxantes e águas de lavagem) e do processo de aplicação via úmida (resíduo de esmaltes e águas de lavagem). Para uma melhor compreensão do processo de geração foi elaborado um mapeamento de cada um dos processos identificando as entradas e saídas de cada processo e o balanço final na estação de tratamento de efluentes.

### **4.2 Efluentes do Processo de Pintura**

O processo de pintura eletrostática gera os seus efluentes líquidos durante o pré-tratamento das superfícies metálicas. No processo estudado o pré-tratamento é realizado em um túnel multiestágios (Figura 35) dotado de tanques de armazenagem, bombas de recirculação, instrumentos de controle de vazão, pressão e temperatura, trocadores de calor, tubulações, bicos aspersores e sistema de bombeamento de efluentes para estação de tratamento de efluentes. O processo tem início quando as peças são penduradas por meios de ganchos em gancheiras que por sua vez são presas em um transportador aéreo contínuo que transporta as peças para o túnel (Figura 36). As configurações das gancheiras dependem exclusivamente da dimensão da peça a ser pintada (largura, comprimento e profundidade) os parâmetros controlados no processo de pré-tratamento são: velocidade do transportador aéreo, formato e pressão de jato de aplicação (leque) e a temperatura do desengraxante e do fosfato, concentração dos banhos, condutividade da água de lavagem. O túnel de pré-tratamento é constituído de vários estágios de aplicação iniciando por água de pré-lavagem, desengraxante, primeira água de lavagem, refinador de fosfato, fosfato de zinco, segunda e terceira água de lavagem e por último as peças passam por túnel de secagem com temperatura de aproximadamente 160°C onde são secas; assim as peças estão prontas para o processo de pintura eletrostática. Para o balanço de massas foi elaborado um fluxograma destacando os estágios do pré-tratamento e os

parâmetros de entrada e saída de materiais (Figura 37). O processo de pré-tratamento em túnel é muito eficaz, pois além da ação química dos elementos constituintes do desengraxante e do fosfato, tem-se a ação mecânica de impacto, podemos comparar este processo de limpeza de chapa como um banho em baixo de chuveiro, onde por meio de um jato de água são retiradas as sujeiras. Esta limpeza se faz necessária, pois as peças que saem do processo anterior que é o de estampagem recebem óleo lubrificantes durante o processo de corte, dobra e repuxo. A concentração dos banhos é controlada regularmente e após a sua saturação o mesmo é bombeado para a estação de tratamento de efluentes, onde será tratado (saída S1). Mensalmente são gerados cerca de 2.600 m<sup>3</sup> de efluentes.

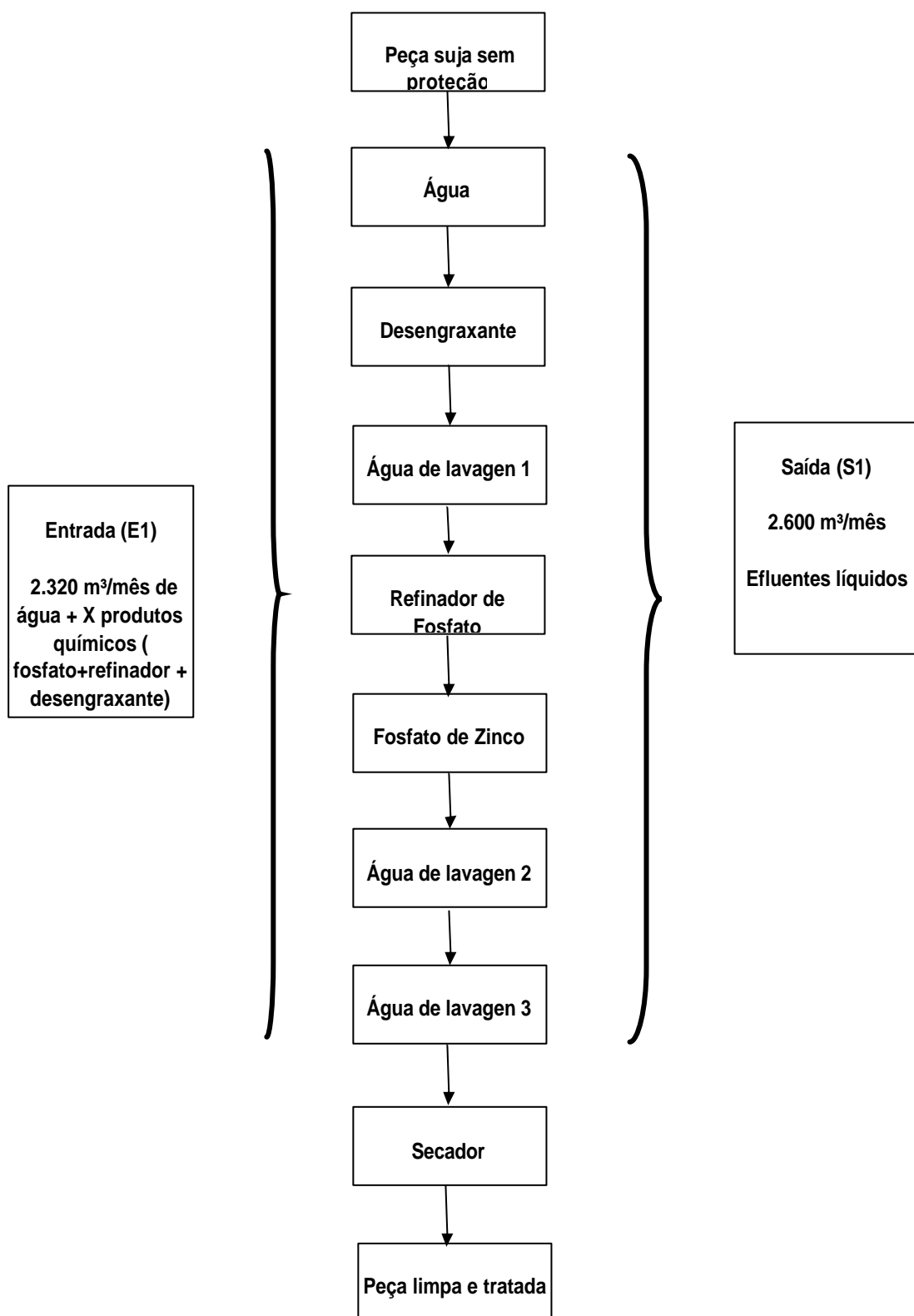


**Figura 35:** Foto parcial do túnel de pré-tratamento TRIAB.  
Fonte: Próprio autor, 2006. Cortesia BSH Continental Ltda.



**Figura 36:** Foto ilustrando peças dependurada em gancheras presas em transportador aéreo tubular.

Foto: Próprio autor, 2006. Cortesia BSH Continental Ltda.



**Figura 37:** Fluxograma do processo de pré-tratamento da pintura.  
Fonte: Próprio autor, 2006. Cortesia BSH Continental Ltda.

### 4.3 Efluentes do Processo de Esmaltação

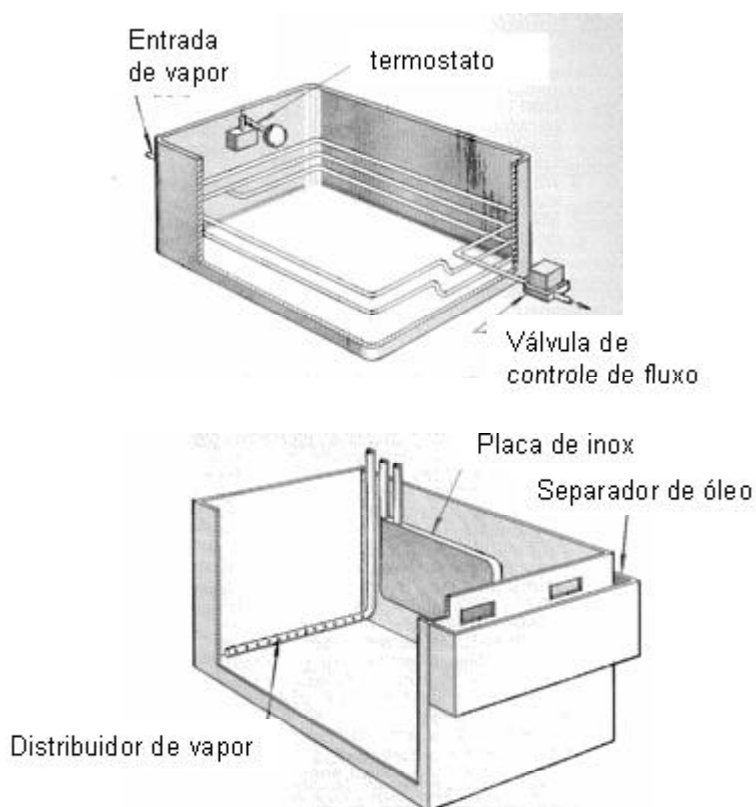
O efluente do processo de esmaltação tem duas fontes distintas, sendo a primeira gerada no pré-tratamento e a segunda no processo de aplicação via úmida.

#### Efluentes do Pré-tratamento

No processo de pré-tratamento é utilizado o método por imersão, este processo difere do processo por aerossol, pois as peças são colocadas dentro de cestos (Figura 38) e são submergidas em tanques nos quais possuem serpentinas para aquecimento e um sistema de agitação para melhorar a eficiência do banho (Figura 39). Pode-se comparar este processo de limpeza a um banho de banheira. Os cestos durante o processo passam por diferentes tanques, que são os estágios para limpeza, constituídos de desengraxante alcalino, água de lavagem, neutralizador, água deionizada em seguida as peças são secas em um tanque secador elétrico que retira toda a umidade e prepara a peça para receber o esmalte vítreo. O desengraxante por imersão é o responsável pela remoção de óleo graxa e sujeiras, retiradas na superfície da peça. Os fatores que mais afetam a eficiência deste processo são o tempo, temperatura, concentração do banho e agitação.



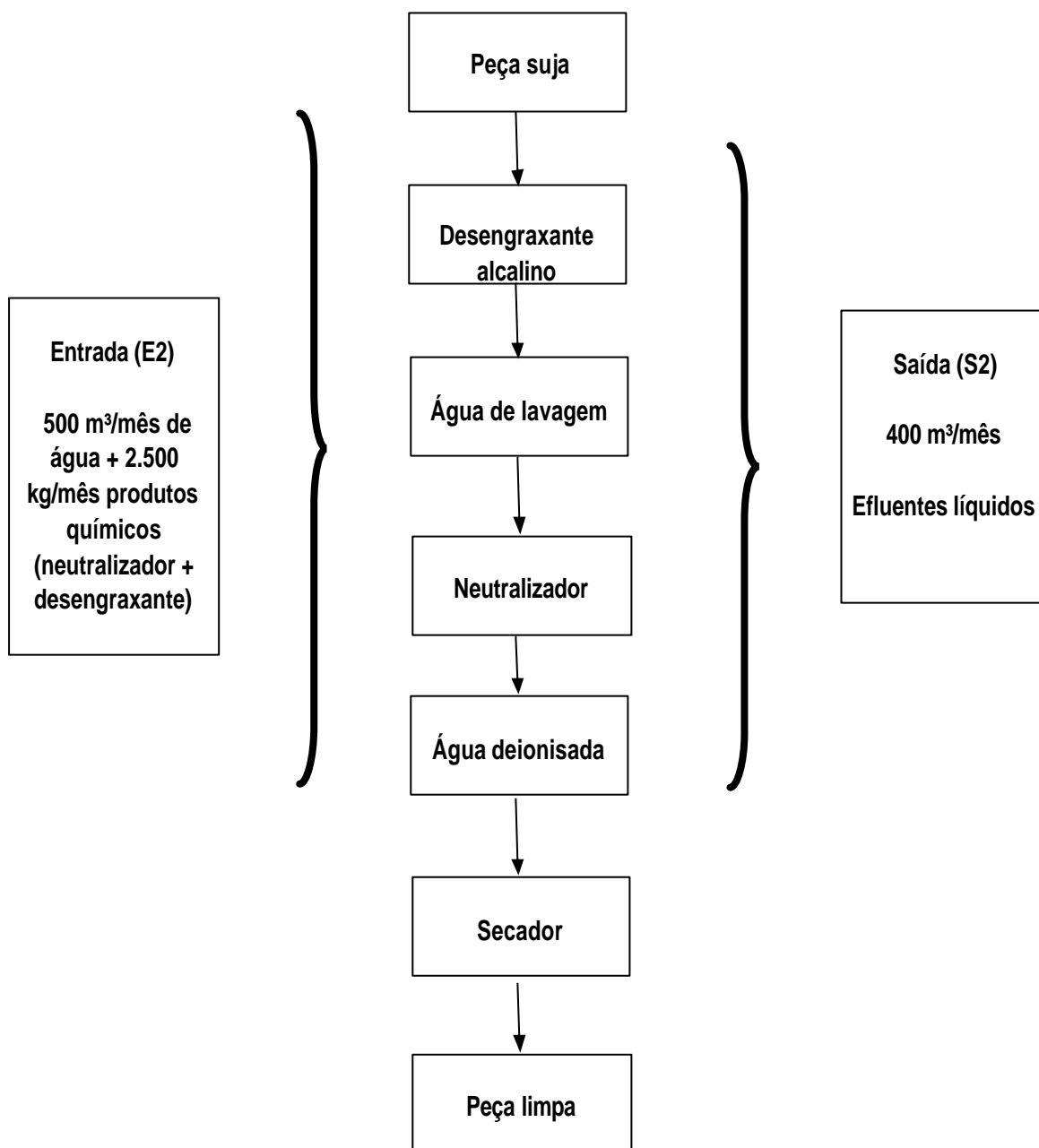
**Figura 38:** Foto ilustrativa do processo de pré-tratamento por imersão em tanques.  
Fonte: Araujo, 2006. Cortesia BSH Continental Ltda.



**Figura 39:** Desenhos ilustrativos de tanques com serpentina utilizados em processos de imersão.  
 Fonte: *AMERICAN SOCIETY OF METALS*, 1964. (traduzido)

Para o balanço de massas do pré-tratamento da esmaltação foi elaborado um fluxograma destacando os estágios os parâmetros de entrada e saída de materiais (Figura 40).

Similarmente ao processo de pintura a concentração dos banhos é controlada regularmente e, após a sua saturação, o mesmo é bombeado para a estação de tratamento de efluentes onde será tratado (saída S2); mensalmente são gerados cerca de 400 m<sup>3</sup> de efluentes.



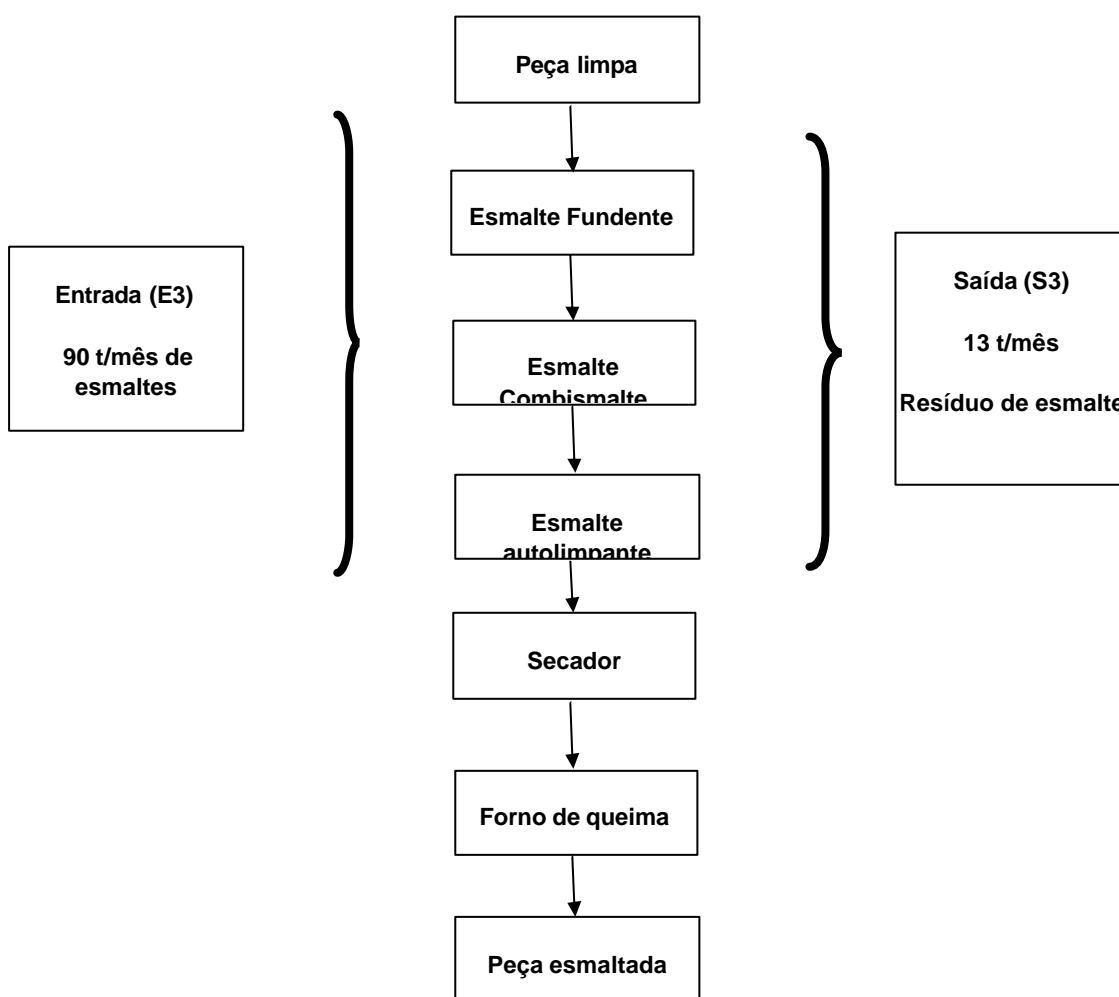
**Figura 40:** Fluxograma do processo de pré-tratamento da esmaltação por imersão.  
Fonte: Próprio autor, 2006. Cortesia BSH Continental Ltda.



#### 4.4 Efluentes do Processo de Esmaltação Vítreo

O efluente gerado durante o processo de aplicação do esmalte via úmido é o resultado da somatória das águas residuais e esmalte utilizado durante o processo. Utilizam-se água na lavagem: dos recipientes de armazenagem e transporte dos esmaltes (bombonas), do piso, das peças reprocessadas, dos tanques de imersão de esmalte, das bombas, das tubulações, das gancheiras, das cabines de aplicação.

Estas águas residuárias juntamente com restos de esmaltes inutilizáveis são conduzidos, por meio de canaletas, até o tronco chave onde são direcionados para a ETE onde são tratados. Para o balanço de massas do processo de esmaltação foi elaborado um fluxograma destacando os estágios os parâmetros de entrada e saída de materiais (Figura 41).



**Figura 41:** Fluxograma ilustrativo do processo de esmaltação vítrea.  
Fonte: Próprio autor, 2006. Cortesia BSH Continental Ltda.

No processo de esmaltação vítrea via úmida estudada são utilizados três tipos de esmalte, o primeiro chamado de fundente que tem a função de proteção da chapa de aço e o segundo chamado de combismalte que é utilizado como esmalte base para aplicações que utilizam esmalte catalisador (autolimpante) e finalmente o autolimpante que tem a função de catalizar a gordura durante o processo de cocção.

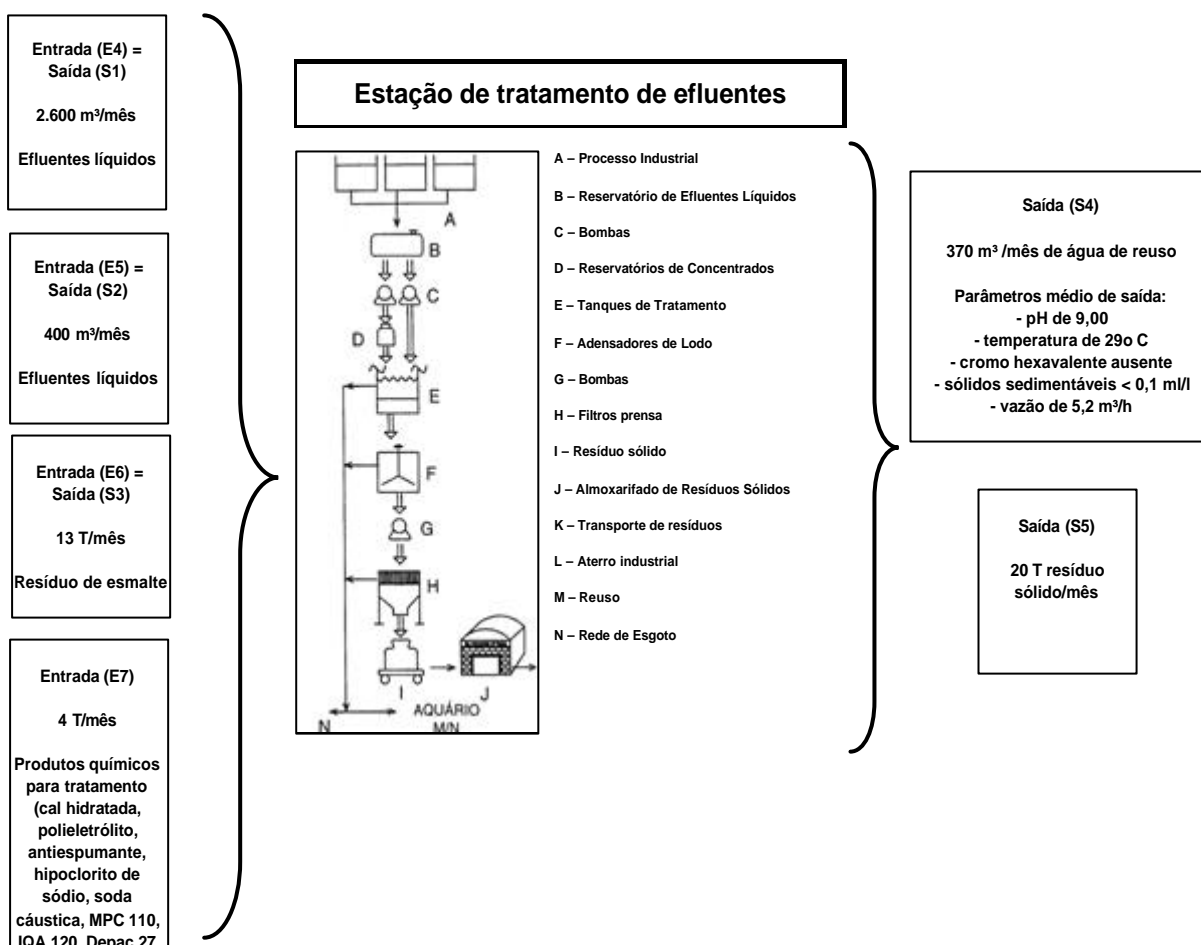
O processo de esmaltação tem início com a aplicação do esmalte fundente por meio da imersão da peça em um tanque contendo o mesmo; após aplicação a peça é colocada em uma gancheira que é fixada em um transportador aéreo contínuo que transporta as peças por dentro de uma estufa de secagem que tem como função reduzir ao máximo a umidade do processo, após a secagem em estufa as peças são transferidas para o forno de queima onde o esmalte é curado à temperatura de aproximadamente 830°C por cerca de 4 minutos, assim no final do processo tem-se a saída S3 com uma geração de resíduo de 13 t por mês.

#### **4.5 Tratamento dos Efluentes**

Tanto as saídas S1 (pintura), como S2 e S3 (esmaltação) são encaminhadas para a estação de tratamento de efluentes (Figura 42) os quais são tratados adequadamente conforme legislação em vigor no Estado de São Paulo, e no final do tratamento tem-se em separado a água de reuso, que pode ser reutilizada para limpeza e banheiros e o resíduo sólido o qual é encaminhado para aterro industrial. Para ilustração do balanço de massas e compreensão do funcionamento e geração do resíduo sólido foi elaborado o fluxograma da Figura 43 as saídas S1, S2 e S3 tornam-se respectivamente as entradas E4, E5 e E6, a entrada E7 representa todos os materiais utilizados para o tratamento na estação, e o resultado é a saída S4 (água de reuso) e S5 (resíduo sólido ou lodo). A estação utilizada tem capacidade de tratar 12 m<sup>3</sup>/h de efluentes por sistema de batelada e redução de 98% da carga inorgânica. A estação estudada foi a primeira estação de tratamento de efluentes vertical do Brasil.



**Figura 42:** Foto da parte inferior da estação mostrando a disposição do resíduo sólido em sacos tipo *big-bag*.  
Fonte: Ribeiro, 2000. Cortesia BSH Continental Ltda.



**Figura 43:** Fluxograma ilustrativo do processo de tratamento de efluentes.

Fonte: Departamento de MAS da BSH Continental Ltda. Adaptado.

## 5 PROGRAMA EXPERIMENTAL DE ENSAIOS

Com base na pesquisa bibliográfica realizada, o trabalho foi desenvolvido estudando-se o resíduo da estação de tratamento de efluentes a fim de identificar dosagens adequadas à produção de artefatos em argamassa e que não tenham função estrutural. Para atender aos objetivos específicos, de forma otimizada e viável, foram elaborados experimentos laboratoriais de pequeno porte para a incorporação de resíduo nos artefatos de argamassa, com vistas a incorporar o máximo de resíduo possível sem comprometer o desempenho mecânico. A escolha dos elementos a serem avaliados no estudo depende do comportamento do resíduo mediante a sua caracterização e classificação, além do conhecimento após a avaliação do seu processo de geração, uma vez que sua composição está diretamente relacionada com as matérias-primas utilizadas no processo de fabricação de fogões na planta industrial, bem como as reações que ocorrem durante esse processo. O ensaio para a caracterização do resíduo permite avaliar as concentrações dos parâmetros escolhidos. Os ensaios de lixiviação e solubilização permitem a classificação do resíduo conforme diretrizes da ABNT NBR 10.004:2004, por meio da comparação dos resultados obtidos nas análises e os valores máximos de concentração definidos na mesma.

### 5.1 Método

Durante o desenvolvimento da pesquisa, foi utilizado um conjunto de métodos composto por *brainstorm* (mapeamento do processo), empírico (determinação das dosagens dos corpos-de-prova) e dedutivo (avaliação do todo com base nos resultados amostrais dos corpos de prova).

O programa experimental do projeto foi dividido em quatro etapas distintas:

- 1) caracterização do resíduo sólido da estação de tratamento;
- 2) conhecimento das características dos materiais utilizados na moldagem das argamassas;
- 3) dosagem, cura e ensaios físico-mecânicos dos corpos-de-prova de argamassas;
- 4) caracterização dos corpos-de-prova por lixiviação e solubilização, após os ensaios físicos-mecânicos.

## **5.2 Preparação e características dos materiais utilizados nos ensaios**

### **5.2.1 Resíduo da Estação de Tratamento**

De acordo com o último histórico fornecido pela gerência da ETE, geradora do resíduo estudado, a caracterização química dos resíduos da ETE baseada na ABNT NBR 10004:2004 resultou na classificação dos resíduos da ETE como resíduo Classe II-A: Resíduo não perigoso e não inerte (RENOVA 2005).

Observando os resultados desse relatório foi possível constatar que os teores de elementos lixiviados e/ou solubilizados nas amostras de resíduos da ETE estão em geral, abaixo dos limites especificados por norma, como por exemplo, o alumínio, o chumbo, o cádmio, o arsênio e o mercúrio, com exceção do resultado de solubilização do fluoreto, que se encontra em quantidade superior ao limite máximo (na ordem de 80%), conforme ilustrado na Tabela 1 e Tabela 2.

O Fluoreto tem sua origem no processo de fosfatização da pintura, onde é utilizado fluoreto de potássio na ordem de aproximadamente 2%. Para permitir uma melhor avaliação dos resultados desse estudo preferiu-se realizar os ensaios de lixiviação e solubilização no mesmo resíduo seco e moído, utilizado nas dosagens das argamassas. Os resultados estão apresentados juntamente com os ensaios de lixiviação e solubilização das argamassas com e sem resíduo. Do resíduo gerado na ETE foram separados 20,5 kg do resíduo, o qual foi seco em estufa por um período de 12 h à uma temperatura de 150°C, conforme ilustrado na Figura 44. Após a secagem, o resíduo foi moído manualmente em almofariz metálico, até passante totalmente em peneira ABNT Número 50 ( 0,3 mm).

**Tabela 1:** Resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização do resíduo de ETE

Parâmetro	Lixiviação			Solubilização	
	Unidade	Limite máximo NBR 10004	Resultado	Limite máximo NBR 10004	Resultado
Alumínio	mg Al/L	-	-	0,2	< 0,002
Arsênio	mg As/L	1,0	< 0,01	0,01	< 0,01
Bário	mg Ba/L	70,0	13,1	0,7	0,2
Cádmio	mg Cd/L	0,5	< 0,002	0,005	< 0,002
Chumbo	mg Pb/L	1,0	< 0,01	0,01	< 0,01
Cianeto	mg CN/L	-	-	0,07	< 0,005
Cloreto	mg Cl/L	-	-	250	78,8
Cobre	mg Cu/L	-	-	2	< 0,003
Cromo Total	mg Cr/L	5,0	< 0,006	0,05	< 0,006
Fenóis	Mg 6H5OH/L	-	-	0,01	< 0,001
Ferro	mg Fe/L	-	-	0,3	0,01
Fluoreto	mg F/L	150,0	5	1,5	2,7
Maganês	mg Mn/L			0,1	0,02
Merúrio	mg Hg/L	0,1	< 0,001	0,001	< 0,001
Nitrato	mg N/L	-	-	10	0,1
Prata	mg Ag/L	5,0	< 0,004	0,05	< 0,004
Selênio	mg Se/L	1,0	< 0,01	0,01	< 0,01
Sódio	mg Na/L	-	-	200	94,9
Sulfatos	mg SO4/L	-	-	250	7,6
Sulfactantes	mg LAS/L	-	-	0,5	< 0,2
Zinco	mg Zn/L	-	-	5	0,01
1,1-Dicloroetileno	mg/L	3,0	< 0,0025	-	-

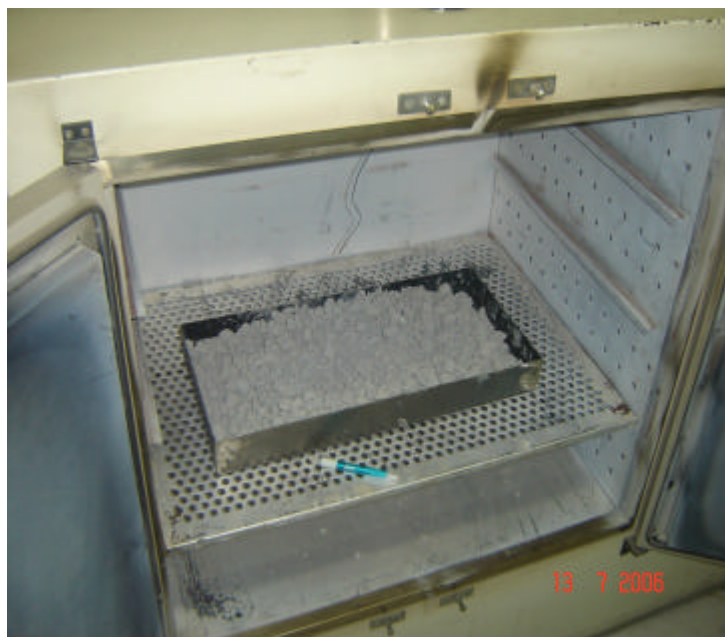
Fonte: Adaptado com dados do Renova (2005)

**Tabela 2** :Resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização do resíduo de ETE

Parâmetro	Lixiviação			Solubilização	
	Unidade	Limite máximo NBR 10004	Resultado	Limite máximo NBR 10004	Resultado
1,2-Dicloroetano	mg/L	1,0	< 0,0025	-	-
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	7,5	< 0,0025	-	-
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	400,0	< 0,0025	-	-
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	20,0	< 0,0025	-	-
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,13	< 0,0025	-	-
Benzeno	mg/L	0,5	< 0,0025	-	-
Benzo-a-pireno	mg/L	0,07	< 0,0025	-	-
Cloreto de Vinila	mg/L	0,5	< 0,0025	-	-
Clorofórmio	mg/L	6,0	0,055	-	-
Cresol Total	mg/L	200,0	< 0,0025	-	-
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,1	< 0,0025	-	-
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,5	< 0,0025	-	-
Hexacloroetano	mg/L	3,0	< 0,0025	-	-
m-cresol	mg/L	200,0	< 0,0025	-	-
Metil Etil Cetona	mg/L	200,0	< 0,0025	-	-
Monoclorobenzeno	mg/L	100,0	< 0,0025	-	-
Nitrobenzeno	mg/L	2,0	< 0,0025	-	-
o-cresol	mg/L	200,0	< 0,0025	-	-
p-cresol	mg/L	200,0	< 0,0025	-	-
Piridina	mg/L	5,0	< 0,0025	-	-
Tetracloroeto de carbono	mg/L	0,2	< 0,0025	-	-
Tetracloroetileno	mg/L	4,0	< 0,0025	-	-
Tricloroetileno	mg/L	7,0	< 0,0025	-	-

Fonte: Adaptado com dados do Renova (2005)





**Figura 44:** Aspecto do resíduo, durante a etapa de secagem em estufa.  
Fonte: Próprio autor (2006). Cortesia BSH Continental Ltda.

### **5.2.2 Materiais de Construção Utilizados nas Dosagens das Argamassas**

Foi utilizado cimento Portland tipo CP II-E, classe 32, marca Votoran, disponível no mercado e de uso comum na construção civil. Não foram feitos ensaios químicos e mecânicos no cimento por se considerar que os resultados a serem obtidos na argamassa de referência (sem adição de resíduo) são suficientes para balizar os resultados das argamassas com a adição de resíduo. A Tabela 3 apresenta os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 11578:1991 para o cimento Portland CP II-E classe 32, para efeito informativo.

**Tabela 3:** Parâmetros químicos e físico-mecânicos do cimento Portland CP II-E classe 32, de acordo com a ABNT NBR 11578:1991.

Parâmetros químicos	
Ensaio	Limites em %
Perda ao fogo	= 6,5
Óxido de magnésio (MgO)	= 6,5
Trióxido de enxofre (SO <sub>3</sub> )	= 4,0
Resíduo insolúvel	= 2,5
Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> )	= 5,0
Parâmetros mecânicos	
Resistência à compressão (por idade)	Limites em MPa
3 dias	=10,0
7 dias	= 20,0
28 dias	= 32,0

Fonte: Laboratório de Materiais de Construção Civil do CTObras do IPT (2006).

Quanto ao agregado foi utilizado uma areia preparada em laboratório, a partir de 25% de cada uma das frações de Areia Normal Brasileira (ABNT NBR 7214:1982) produzidas pelo IPT. Esta areia foi considerada adequada para este estudo pois se trata de uma areia de rio, lavada e praticamente isenta de impurezas e outros interferentes que possam comprometer os ensaios a serem executados nas etapas seguintes deste estudo. A Tabela 4 apresenta a composição granulométrica das frações n.º 6, n.º 30, n.º 50 e n.º 100 da Areia Normal Brasileira, utilizadas para compor a areia de estudo, bem como outras determinações.

**Tabela 4:** Parâmetros da Areia Normal Brasileira utilizada nas argamassas.

<b>Composição granulométrica</b>				
Parâmetro	Valores certificados (malha ABNT n.º)			
	16 (1,2mm)	30 (0,6mm)	50 (0,3mm)	100 (0,15mm)
Limites de porcentagem retida acumulada (ABNT NBR 7214:1982)	25±5	50±5	75±5	97±3
<b>Outras determinações</b>				
Ensaio	Limites (ABNT NBR 7214:1982)			
Material pulverulento, em %	= 1,0			
Umidade, em %	= 0,2			
Conglomerados argilosos, em %	= 1,0			
Teor de feldspatos entre as peneiras 2,4mm e 1,2mm, em %	= 15			
Teor de mica entre as peneiras 0,3mm e 0,15mm, em %	= 2,0			
Matéria orgânica, em ppm (parte por milhão)	= 100			

Fonte: Laboratório de Materiais de Construção Civil do CTObras do IPT

Para o amassamento das argamassas utilizou-se água deionizada, por atender aos requisitos de água de amassamento e por ser isenta de eventuais contaminantes orgânicos e inorgânicos. Dessa forma, o experimento possibilitará a comparação entre os resultados de uma argamassa com e sem a adição de resíduo, e avaliar a capacidade que a matriz cimentícia possui para incorporar e fixar os elementos provenientes do resíduo da ETE.

## 6 EXPERIMENTOS

### 6.1 Preparo das Argamassas

As argamassas foram preparadas de acordo com a ABNT NBR 13276:2005 em um misturador de 5 litros, sendo adicionado inicialmente à água de amassamento, posteriormente o cimento Portland e a areia. A quantidade de água foi adicionada procurando obter uma argamassa aparentemente trabalhável. Neste estudo adotou-se uma proporção de mistura cimento: areia de 1:4, em volume, transformando-os em massa para se obter melhor precisão na proporção dos constituintes na moldagem dos corpos-de-prova. A Tabela 5 apresenta os parâmetros de dosagem, com as respectivas nomenclaturas adotadas para identificação das argamassas. Para a transformação do traço em volume para traço em massa utilizaram-se as respectivas massas unitárias dos materiais empregados (obtidas de acordo com a ABNT NBR 7251:1982): areia seca: 1,48 g/cm<sup>3</sup>; cimento CP II-E-32: 1,11 g/cm<sup>3</sup>. Na transformação obteve-se uma proporção de mistura cimento: areia de 1:5, em massa. Peculiarmente, no caso das argamassas com a adição de resíduo, efetuou-se a substituição de parte da areia pelo resíduo, de forma a se obter proporções de resíduo de 0%, 1%, 5% e 10%, em relação a massa total de material seco (cimento+areia).

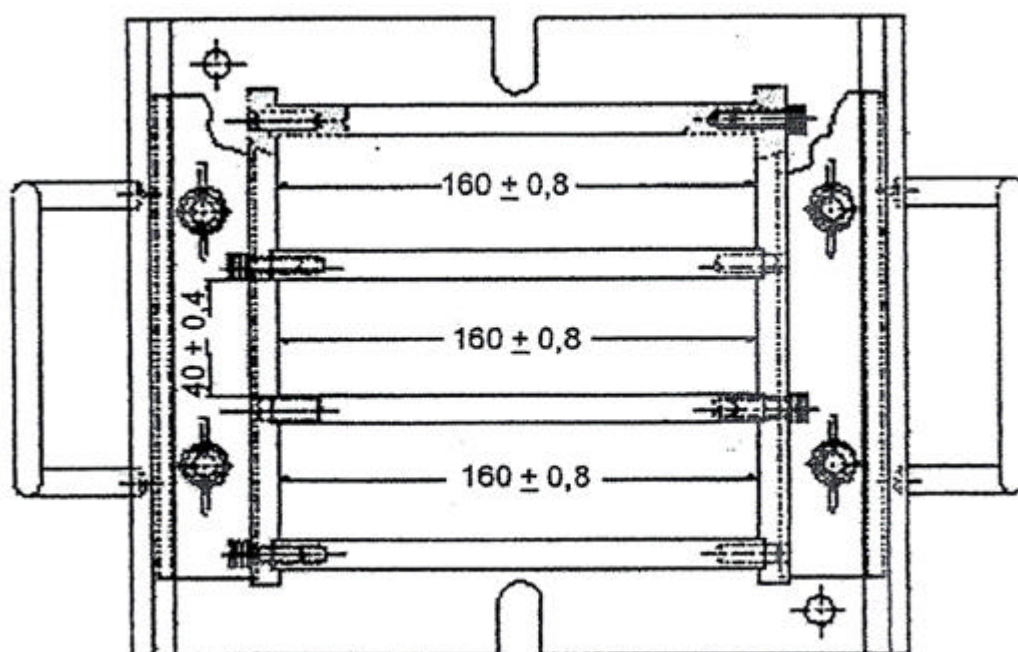
**Tabela 5:** Proporção dos materiais empregados nas argamassas e parâmetros no estado fresco.

Argamassa	Sigla	Cimento (g)	Fração de areia (g)	Resíduo da ETE	Relação água/materiais secos
Sem adição de resíduo	ARG 0%	250,0	1332,5	-	17,0%
Com adição de 1%, em massa	ARG 1%		1319,2	13,3	17,0%
Com adição de 5%, em massa	ARG 5%		1265,9	66,6	18,0%
Com adição de 10%, em massa	ARG 10%		1199,3	133,3	20,5%

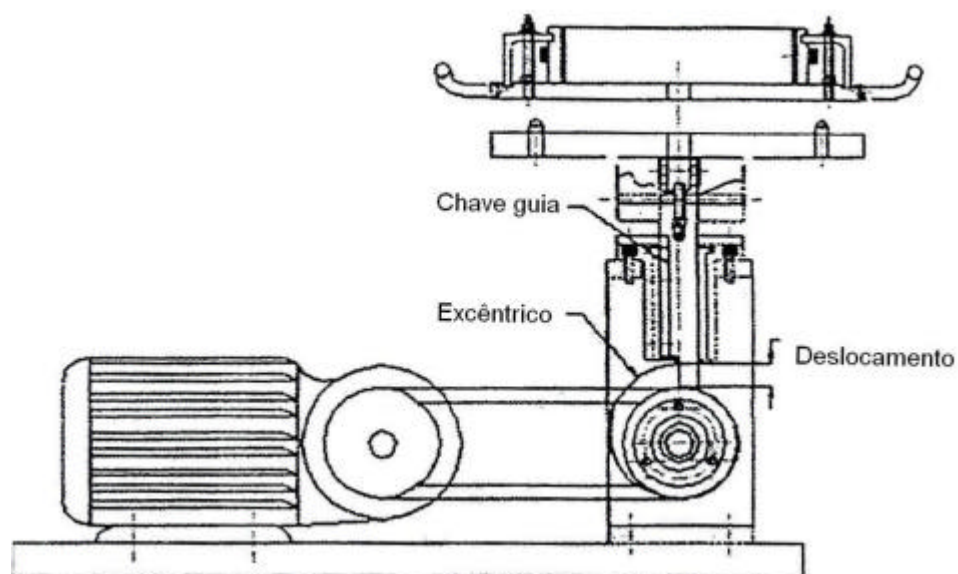
Fonte: Laboratório de Materiais de Construção Civil do CTObras do IPT

## 6.2 Moldagem e Cura

Para cada proporção de argamassa foram moldados seis corpos-de-prova de acordo com a ABNT NBR 13.279:2005. Imediatamente após o preparo e mistura de cada argamassa, introduziram-se porções de argamassa nos compartimento do molde fixado à mesa de adensamento (Figura 45 e Figura 46). Com o auxílio de um nivelador de camadas procedeu-se o espalhamento da argamassa em cada compartimento, formando camadas uniformes. Em seguida, aplicou-se 30 quedas através da mesa de adensamento e procedeu-se outra aplicação de camada e adensamento. Após esse procedimento, rasaram-se os corpos-de-prova com uma régua metálica.



**Figura 45:** Molde para corpos-de-prova prismáticos 40 mm x 40 mm x 160 m  
Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005).



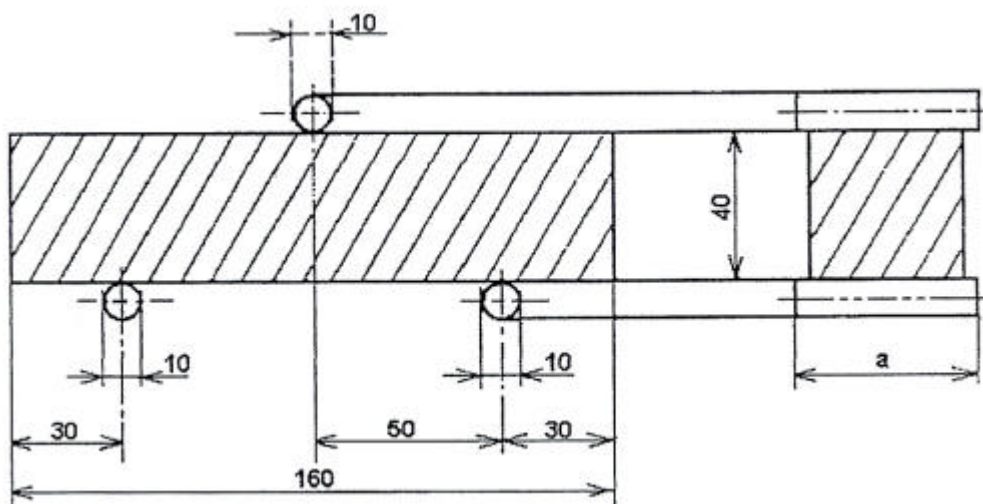
**Figura 46:** Mesa de adensamento para moldagem de corpos de prova.  
Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005).

Os corpos-de-prova permaneceram no molde por 48 h em ambiente de laboratório (temperatura de  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $60\pm 5\%$ ), sendo desmoldados e mantidos em ambiente de laboratório até a execução dos ensaios físico-mecânicos.

### 6.3 Ensaio de Resistência à Tração na Flexão e Compressão Axial

Após a cura, as argamassas foram rompidas para determinação da resistência à tração na flexão e compressão axial, de acordo com a ABNT (2005), sendo três corpos-de-prova ensaiados aos 7 dias e três aos 28 dias.

Para a determinação da resistência à tração na flexão posicionaram-se os corpos-de-prova nos dispositivos de apoio do equipamento de ensaio conforme a (Figura 47) de modo que a face rasada não fique em contato com os dispositivos de apoio nem com o dispositivo de carga.



**Figura 47:** Vistas frontal e lateral do corpo-de-prova encaixado no dispositivo de carga para determinação da resistência à tração na flexão.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005).

Em seguida aplicou-se a carga de  $(50 \pm 10)$  N/s até a ruptura do corpo-de-prova. Dessa forma, a resistência à tração na flexão é calculada segundo a equação (1):

$$R_t = \frac{1,5F_t x L}{403} \quad (1)$$

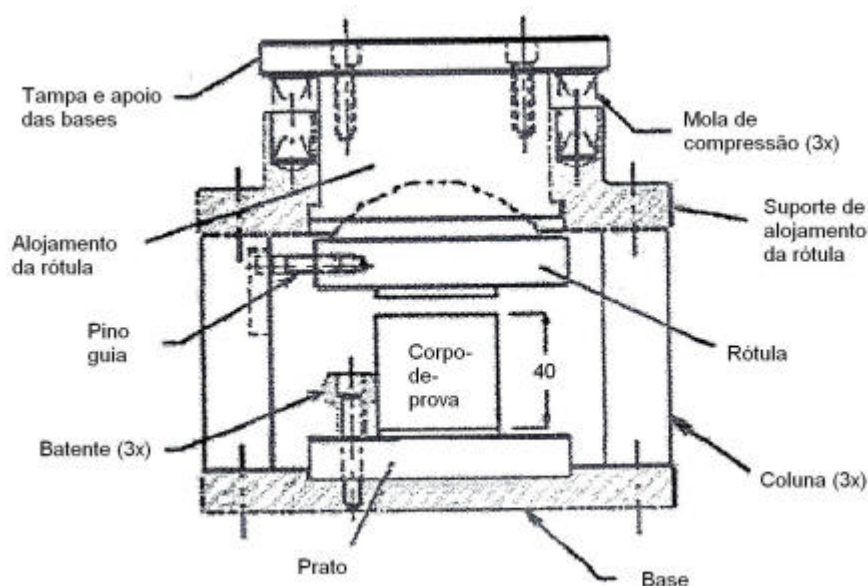
Onde:

$R_t$  é a resistência à tração na flexão, em megapascais;

$F_t$  é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newton;

$L$  é a distância entre os suportes, em milímetros.

Para a determinação da resistência à compressão axial utilizaram-se as metades dos três corpos-de-prova do ensaio de flexão, posicionando-as no dispositivo de apoio do equipamento de ensaio conforme a Figura 48, de modo que a face rasada não fique em contato com o dispositivo de apoio nem com o dispositivo de carga. Em seguida aplicou-se a carga de  $(500 \pm 10)$  N/s até a ruptura do corpo-de-prova.



**Figura 48:** Dispositivo de carga para determinação da resistência à compressão axial  
 Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005).

Assim, a resistência à compressão axial é calculada segundo a equação (2):

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (2)$$

$R_c$  é a resistência à compressão axial, em megapascais;

$F_c$  é a carga máxima aplicada, em newtons;

1600 é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga 40mm x 40mm, em milímetros quadrados.

#### 6.4 Ensaio de Lixiviação e Solubilização do Resíduo e das Argamassas

Parte dos fragmentos obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial de cada argamassa estudada foi separada para a realização dos ensaios de lixiviação e solubilização, juntamente com uma amostra do resíduo da ETE utilizado na dosagem das argamassas com resíduo.

A caracterização química pro lixiviação e solubilização dos fragmentos de argamassa e do resíduo foi baseada na norma técnica NBR 10004:2004 – Resíduos sólidos.



## 7 RESULTADOS

### 7.1 Resultados dos Ensaios de Resistência à Tração na Flexão e à Compressão Axial

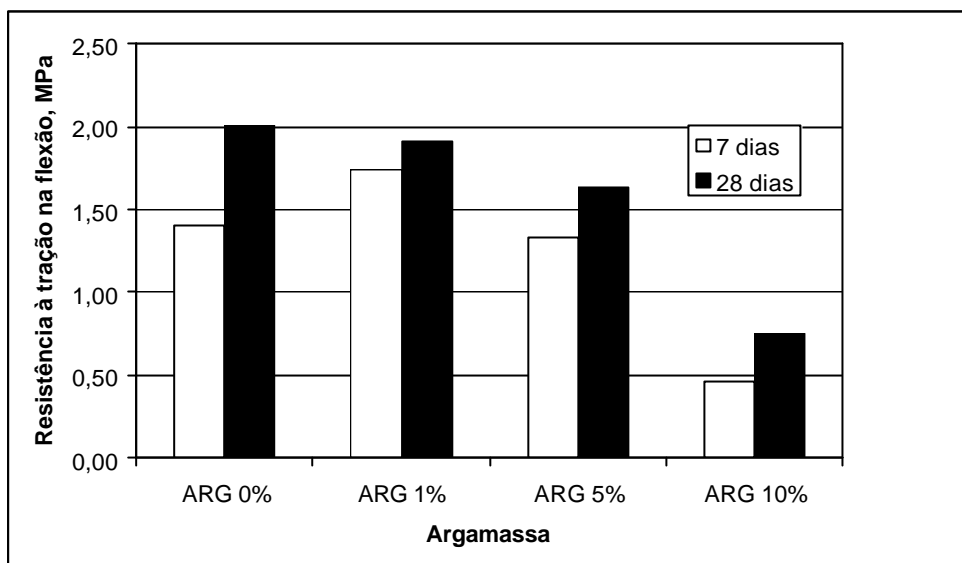
Os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão axial, obtidos nos corpos-de-prova de argamassa, estão apresentados na Tabela 6, Figura 49 e Figura 50.

**Tabela 6:** Resultados de resistência à tração na flexão e à compressão axial.

Argamassa	Resistência à tração na flexão, em Mpa <sup>1</sup>		Resistência à compressão axial, em Mpa <sup>1</sup>	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
ARG 0%	1,41	2,01	5,01	6,71
ARG 1%	1,74	1,92	5,81	6,16
ARG 5%	1,34	1,64	3,99	4,40
ARG 10%	0,47	0,75	1,66	1,83

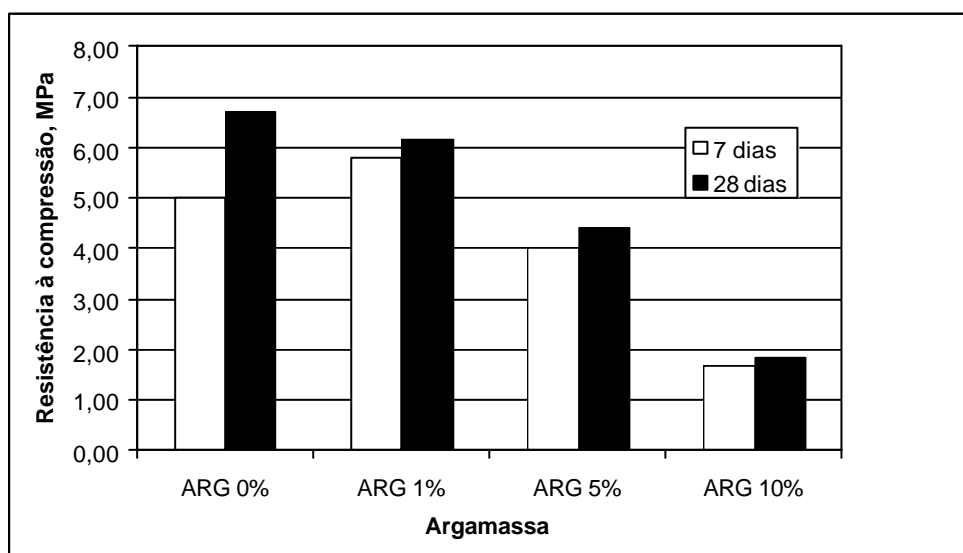
Fonte: Laboratório de Materiais de Construção Civil do CTObras do IPT

<sup>1</sup> Valores médios de resistência à tração na flexão e a compressão axial com desvio absoluto máximo de 0,3 MPa e 0,5 MPa, respectivamente



**Figura 49:** Resistência à tração na flexão aos 7 e aos 28 dias, em função das argamassas estudadas

Fonte: Laboratório de Materiais de Construção Civil do CTObras do IPT



**Figura 50:** Resistência à compressão axial aos 7 e aos 28 dias, em função das argamassas estudadas

Fonte: Laboratório de Materiais de Construção Civil do CTObras do IPT

## 7.2 Resultados de Solubilização e Lixiviação

Após os ensaios de resistência à compressão das argamassas foram separados fragmentos dos corpos-de-prova, de forma a produzir amostras de aproximadamente 500g, de cada proporção de mistura, a serem submetidas a ensaios de lixiviação e solubilização segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). A Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9 apresentam os resultados obtidos nesses ensaios.

**Tabela 7:** Avaliação preliminar para os ensaios de lixiviação e solubilização

Parâmetro	Unidade	Materiais ensaiados					Limite
		Resíduo	ARG 0%	ARG 1%	ARG 5%	ARG 10%	
Avaliação de corrosividade (*)	pH	8,5	12,0	11,7	11,9	10,5	Sem caráter de corrosividade: 2<pH<12,5
Avaliação de reatividade	-	Não reativo					-

Fonte: Renova (2006) - Cortesia: BSH Continental

\*: Valor de pH da solução obtida pela mistura da amostra com água na proporção de 1:1 em peso

**Tabela 8:** Teores dos elementos inorgânicos obtidos nos ensaios de lixiviação do resíduo da ETE e das argamassas estudadas.

Parâmetro	Unidade	Materiais ensaiados					Limite máximo
		Resíduo	ARG 0%	ARG 1%	ARG 5%	ARG 10%	
Arsênio	mg As/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1,0
Bário	mg Ba/L	0,7	0,3	0,4	0,8	0,7	70,0
Cádmio	mg Cd/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,5
Chumbo	mg Pb/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1,0
Cromo Total	mg Cr/L	< 0,006	0,08	0,1	0,1	0,05	5,0
Fluoreto	mg F/L	10,8	4,2	4,0	2,7	2,0	150
Merúrio	mg Hg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1
Prata	mg Ag/L	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	5,0
Selênio	mg Se/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	1,0
pH do extrato lixiviado obtido	pH	6,2	10,7	9,7	10,0	9,22	
Tempo Total de lixiviação	h	18	18	18	18	18	
Teor de Sólidos Secos	%	96,1	98,9	98,6	98,7	98,7	
Volume de Líquido Obtido	mL	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	

Fonte: Renova (2006) - Cortesia: BSH Continental  
 Limites máximos segundo anexo F da NBR 10.004/2004.

**Tabela 9:** Teores dos elementos inorgânicos obtidos nos ensaios de solubilização do resíduo da ETE e das argamassas estudadas.

Parâmetro	Unidade	Materiais ensaiados					Limite máximo
		Resíduo	ARG 0%	ARG 1%	ARG 5%	ARG 10%	
Alumínio <sup>1</sup>	Mg Al/L	1,1	0,9	1,0	1,2	1,1	0,2
Arsênio	Mg As/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
Bário	Mg Ba/L	0,06	0,03	0,1	0,2	0,02	0,7
Cádmio	Mg Cd/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005
Chumbo	Mg Pb/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
Cianeto	Mg CN/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,07
Cloretos	Mg Cl/L	14,5	< 0,01	2,9	< 0,01	< 0,01	250,0
Cobre	Mg Cu/L	1,0	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,05	2,0
Cromo Total	Mg Cr/L	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	0,05
Fenóis	Mg C6H5OH/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,01
Ferro	Mg Fe/L	0,3	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,02	0,3
Fluoretos	Mg F/L	8,8	1,3	1,0	1,2	1,4	1,5
Manganês	Mg Mn/L	0,2	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1
Mercúrio	Mg Hg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001
Nitrato	Mg N/L	9,0	< 0,01	0,1	< 0,01	0,5	10,0
Prata	Mg Ag/L	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	0,05
Selênio	Mg Se/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
Sódio	Mg Na/L	59,3	2,9	4,6	11,1	16,9	200,0
Sulfato	Mg SO4/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	250,0
Surfactantes	Mg LAS/L	1,0	0,2	< 0,05	< 0,05	0,2	0,5
Zinco	Mg Zn/L	0,4	< 0,001	0,01	0,01	< 0,001	5,0
pH final do extrato	pH	8,59	11,2	11,5	11,5	11,2	-
Teor de umidade	%	3,9	1,1	1,4	1,3	1,3	-

Fonte: Renova (2006) - Cortesia: BSH Continental Ltda. Limites máximos segundo anexo G da NBR 10.004/2004. <sup>1</sup> Origem não detectada

## 8 DISCUSSÃO

### 8.1 Análise dos Ensaios de Flexão e Compressão Axial

Dentro do que foi apresentado nos resultados dos ensaios de compressão e flexão (Tabela 6) pode-se observar que os corpos de prova que utilizaram 1% de adição de resíduo em sua composição foram os que apresentaram os melhores resultados em comparação aos corpos-de-prova de referência; os resultados de compressão de 28 dias foram de 6,16 MPa que representa apenas 8% de queda em relação ao corpo de prova de prova de referência que apresentou resultado de 6,76 MPa. Já os corpos-de-prova de 7 dias apresentaram um resultado de 5,81 MPa que representa aproximadamente 16% mais resistência em relação aos corpos de prova de referência que apresentaram resultado de 5,01 MPa. Para as porcentagens de 5% e 10% os resultados apresentaram uma elevada queda com relação a resistência à compressão tanto, com 7 com 28 dias de idade. Geralmente para o tipo de ensaio executado os valores de resistência são sempre comparados com os valores de referência (sem adição de resíduos), sendo assim não há menção em norma de um valor ótimo de resistência para os ensaios executados, pois estes tem como finalidade a simples comparativa entre as diversas dosagens, mas podemos citar Lima e Teixeira (2002), que, realizaram experimento semelhante e obtiveram resultados de resistência a compressão entre 2,58 à 4,72 Mpa para idades de 28 dias. Para a aplicação de fins não estruturais, o valor obtido de 5,81 Mpa esta dentro dos valores médios utilizados para fins não estruturais (FIORITO , 1994).

O cálculo que correlação é realizado para correlacionar dois fenômenos com uma variabilidade proveniente de fatores aleatórios ou grande variabilidade intrínseca dos mesmos, o cálculo de correlação é dado pela expressão (3):

$$R_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{N s_x s_y}} \quad (3)$$

Onde

$R_{xy}$  o resultado da correlação;

$x_i; y_i$  são os pares de valores observados numa série de ensaios de correntes entre duas propriedades;

$N$  o número de vezes em que a correlação foi observada;

$x_m; y_m$  são as médias de  $x_i; y_i$  ;

$s_x, s_y$  são os respectivos desvios padrões

Quanto mais o coeficiente  $R_{xy}$  aproxima-se de 1 (100%), mais próximos estarão os pontos de se alinharem, indicando uma forte correlação, se o coeficiente  $R_{xy}$  for negativo, significa que a correlação  $x$  e  $y$  é inversa,  $x$  cresce enquanto  $y$  decresce, mas, ainda assim valores próximos de 1, indicam pontos alinhados e correlação significativa. Em geral, uma correlação só é realmente significativa quando  $R_{xy} \geq 0,7$ .

Para o cálculo de correlação foi adotado como  $x$  os valores referentes ao valores de dosagem de resíduo na argamassa e como  $y$  os valores de resistência a compressão e flexão de 7 e 28 dias. Realizando o cálculo de correlação dos resultados dos ensaios obtidos verifica-se que existe forte correlação negativa entre a quantidade de resíduo na argamassa e sua resistência à compressão e flexão, tanto com 7 como em 28 dias conforme a tabela 10, isto quer dizer, quanto maior a quantidade de resíduo adicionado na argamassa, menor será a sua resistência.

**Tabela 10** – Resultados de correlação entre o resíduo e os resultados dos ensaios de compressão e flexão.

Argamassa	ARG 0%	ARG 1%	ARG 5%	ARG 10%	Correlação
Resistência a Compressão 7 dias	5,01	5,81	3,99	1,66	- 95,8%
Resistência a Compressão 28 dias	6,71	6,16	4,40	1,83	- 99,9%
Resistência a Flexão 7 dias	1,41	1,74	1,34	0,47	- 90,6%
Resistência a Flexão 28 dias	2,01	1,92	1,64	0,75	- 97,6%

Fonte: Laboratório de Materiais de Construção Civil do CTObras do IPT

A correlação foi efetuada Assim demonstra-se que quanto maior a adição de resíduo sólido no composto da argamassa menor a resistência à compressão e flexão e que esta correlação fica maior quanto maior for a idade.

## **8.2 Análise dos Ensaio de Lixiviação e Solubilização**

Analisando os dados da Tabela 7 onde é colocado os resultados do pH e da corrosividade, verifica-se que o menor valor encontrado é o do resíduo puro ( valor de 8,5). Com base nos valores observados pode-se afirmar que a adição do resíduo na argamassa reduz o pH; importante destacar que o resíduo também não apresentou reatividade.

### **Ensaio de Lixiviação**

Analisando de forma global os resultados de lixiviação obtidos na Tabela 88, tanto o resíduo puro como as argamassas que utilizaram dosagem do resíduo não tiveram nenhum parâmetro acima do limite superior.

Os resultados para mercúrio, arsênio, chumbo, selênio mantiveram para todas as dosagens uma relação de valor encontrado de 100 vezes menor do que o limite máximo, o elemento cádmio manteve para todas as dosagens uma relação de valor de 50 vezes menor do que o limite máximo, o resultado para o elemento prata manteve uma relação de 1250 vezes menor que o limite máximo para todas as dosagens, já os resultados de cromo total, bário e fluoreto, tiveram variações do valor de acordo com o valor da dosagem do resíduo na argamassa. Cromo total no resíduo puro apresentou um valor 833 vezes menor que o limite máximo enquanto que os valores das argamassas variam de apenas 50 a 100 vezes menor, podemos então deduzir que o aumento de cromo na argamassa não é de origem do resíduo, mas possivelmente do cimento. O elemento bário para o resíduo puro teve um resultado 100 vezes menor que o limite máximo, para argamassa sem dosagem de resíduo este valor sobe para 233 vezes menor e diminui esta relação com o aumento da dosagem do resíduo voltando ao mesmo patamar de 100 vezes para argamassa com 10% de adição de resíduo. O Fluoreto apresenta um resultado interessante, para o resíduo puro teve um valor 14 vezes menor que o máximo, mas adicionado na argamassa nas dosagens de 1%, 5% e 10% os resultados apresentaram respectivamente 38, 56 e 75 vezes menores do que o limite máximo, o que leva a concluir que o resíduo encapsulado na argamassa



minimiza a lixiviação de fluoretos.

### **Ensaio de Solubilização**

Analisando de forma global os resultados de solubilização obtidos na Tabela 99 verifica-se que o que caracterizou as argamassas como classe II A foi o elemento alumínio, mas é importante destacar que tanto a argamassa sem dosagem de resíduo como com dosagens de resíduo apresentaram valores acima do especificado, o que nos induz a afirmar que alumínio encontrado não é proveniente do resíduo podendo ser possivelmente do próprio cimento utilizado, tornando assim a argamassa teoricamente inerte, a presença assim do alumínio, se dá pelo processo de solubilização e precipitação dos silicatos e aluminatos presentes no clínquer, que é a principal matéria-prima do cimento. (TAYLOR, 1988).

O Ferro encontrado na amostra do resíduo é possivelmente proveniente da composição do fosfato de ferro utilizado no processo de pré-tratamento da pintura.

Comparando os valores dos ensaios para caracterização do resíduo da tabela 1 e 2 com os valores das tabelas 8 e 9, podemos observar que existe uma variação da composição do resíduo que esta diretamente ligada a composição dos banhos utilizados durante o pré-tratamento (Fornecedor), que afetam principalmente os valores de fluoreto.

Para os elementos mercúrio, cádmio, arsênio, chumbo e selênio os valores encontrados tiveram os resultados menores que o especificado e menores do que a resolução do equipamento utilizado no ensaio.

Os fenóis apresentaram valores 10 vezes menores que o limite máximo para qualquer dosagem, tanto o cromo, a prata e o cianeto mantiveram os valores constantes independentemente da dosagem utilizada com valores menores de 8, 13 14 vezes respectivamente, já o manganês e os surfactantes e os fluoretos apresentaram no resíduo puro, valores acima do limite máximo para o resíduo puro.

O elemento ferro no resíduo puro manteve-se no limite sendo reduzido em até 150 vezes após ser adicionado na argamassa, o bário e o sódio tiveram grande variação do resultado em relação a dosagem.

O cobre, o zinco e o nitrato também tiveram reduções consideráveis nas concentrações após a adição nas argamassas, chegando 667, 500 e 1000 vezes menores

respectivamente, e finalmente os sulfatos apresentaram valores 25000 vezes menores do que o limite máximo.

### 8.3 Correlação entre os Resultados Físicos e Químicos

A análise de correlação entre os resultados dos ensaios físicos e os químicos se faz necessário para se induzir às conclusões sobre a influência de determinados elementos químicos em fase a diferentes dosagens de resíduo na argamassa.

#### Correlação entre os Ensaio de Compressão e Solubilização

O estudo de correlação entre os resultados de compressão de 28 e 7 dias e os resultados de solubilização, são mostrados na Tabela 11 e Tabela 12, e pode-se observar que os elementos que apresentaram forte correlação acima de 80% foram o ferro, cobre, nitrato e sódio. A correlação apresentada foi negativa, ou seja, quanto maior for a concentração destes elementos na argamassa menor será a resistência a compressão, sendo que o elemento sódio foi o que apresentou a maior correlação com valor de 99%.

**Tabela 11 – Correlação entre os resultados de solubilização e compressão 28 dias.**

Parâmetros	ARG 0%	ARG 1%	ARG 5%	ARG 10%	Correlação
Compressão 28 dias (Mpa)	6,71	6,16	4,4	1,83	
Alumínio (mg Al/L)	0,900	1,000	1,200	1,100	-66%
Ferro (mg Fe/L)	0,002	0,002	0,002	0,020	-89%
Surfactantes(mg LAS/L)	0,200	0,050	0,050	0,200	-27%
Bário (mg Ba/L)	0,030	0,100	0,200	0,020	11%
Fluoretos (mg F/L)	1,300	1,000	1,200	1,400	-60%
Cobre (mg Cu/L)	0,003	0,003	0,003	0,050	-89%
Zinco (mg Zn/L)	0,001	0,010	0,010	0,001	27%
Nitrato (mg N/L)	0,010	0,100	0,010	0,500	-86%
Sódio (mg Na/L)	2,900	4,600	11,100	16,900	-99%
Cloretos (mg Cl/L)	0,010	2,900	0,010	0,010	42%

Fonte: Laboratório de Materiais de Construção Civil do CTObras do IPT. (Adaptado)

**Tabela 12** – Correlação entre os resultados de solubilização e compressão 7 dias.

Parâmetros	ARG 0%	ARG 1%	ARG 5%	ARG 10%	Correlação
Compressão 7 dias	5,01	5,81	3,99	1,66	
Alumínio (mg Al/L)	0,900	1,000	1,200	1,100	-52%
Ferro (mg Fe/L)	0,002	0,002	0,002	0,020	-91%
Surfactantes (mg LAS/L)	0,200	0,050	0,050	0,200	-50%
Bário (mg Ba/L)	0,030	0,100	0,200	0,020	27%
Fluoretos (mg F/L)	1,300	1,000	1,200	1,400	-80%
Cobre (mg Cu/L)	0,003	0,003	0,003	0,050	-91%
Zinco (mg Zn/L)	0,001	0,010	0,010	0,001	50%
Nitrato (mg N/L)	0,010	0,100	0,010	0,500	-83%
Sódio (mg Na/L)	2,900	4,600	11,100	16,900	-94%
Cloretos (mg Cl/L)	0,010	2,900	0,010	0,010	63%

Fonte: Laboratório de Materiais de Construção Civil do CTObras do IPT. (Adaptado)

### Correlação entre os Ensaios de Compressão e Lixiviação

O estudo de correlação entre os resultados de compressão de 28 e 7 dias e os resultados de lixiviação, são mostrados na Tabela 13 e Tabela 14, e podemos observar que os elementos que apresentaram forte correlação acima de 80% foram o cromo e o fluoreto. A correlação apresentada foi positiva, ou seja, quanto maior for a concentração destes elementos na argamassa maior será a resistência a compressão, sendo que o fluoreto foi o que apresentou a maior correlação com valor de 97%.

**Tabela 13** – Correlação entre os resultados de lixiviação e compressão 28 dias.

Parâmetros	ARG 0%	ARG 1%	ARG 5%	ARG 10%	Correlação
Compressão	6,71	6,16	4,4	1,83	
Cromo Total (mg Cr/L)	0,080	0,100	0,100	0,050	70%
Bário (mg Ba/L)	0,300	0,400	0,800	0,700	-78%
Fluoreto (mg F/L)	4,200	4,000	2,700	2,000	97%

Fonte: Laboratório de Materiais de Construção Civil do CTObras do IPT. (Adaptado)

**Tabela 14** – Correlação entre os resultados de lixiviação e compressão 7 dias.

Parâmetro	ARG 0%	ARG 1%	ARG 5%	ARG 10%	Correlação
Compressão	5,01	5,81	3,99	1,66	
Cromo Total (mg Cr/L)	0,080	0,100	0,100	0,050	82%
Bário (mg Ba/L)	0,300	0,400	0,800	0,700	-68%
Fluoreto (mg F/L)	4,200	4,000	2,700	2,000	92%

Fonte: Laboratório de Materiais de Construção Civil do CTObras do IPT. (Adaptado)

### Correlação entre os Ensaio de Flexão e Solubilização

O estudo de correlação entre os resultados de flexão de 28 e 7 dias e os resultados de solubilização, são mostrados na Tabela 15 e Tabela 16, e pode-se observar que os resultados são similares aos observados com relação ao ensaio de compressão sendo também os elementos ferro, cobre, nitrato e sódio, os quais apresentaram forte correlação negativa, ou seja, quanto maior for a concentração destes elementos na argamassa menor será a resistência a flexão.

**Tabela 15** – Correlação entre os resultados de solubilização e flexão 28 dias.

Parâmetros	ARG 0%	ARG 1%	ARG 5%	ARG 10%	Correlação
Flexão	2,01	1,92	1,64	0,75	
Alumínio (mg Al/L)	0,900	1,000	1,200	1,100	-51%
Ferro (mg Fe/L)	0,002	0,002	0,002	0,020	-96%
Surfactantes (mg LAS/L)	0,200	0,050	0,050	0,200	-40%
Bário (mg Ba/L)	0,030	0,100	0,200	0,020	30%
Fluoretos (mg F/L)	1,300	1,000	1,200	1,400	-65%
Cobre (mg Cu/L)	0,003	0,003	0,003	0,050	-96%
Zinco (mg Zn/L)	0,001	0,010	0,010	0,001	40%
Nitrato (mg N/L)	0,010	0,100	0,010	0,500	-93%
Sódio (mg Na/L)	2,900	4,600	11,100	16,900	-95%
Cloretos (mg Cl/L)	0,010	2,900	0,010	0,010	39%

Fonte: Laboratório de Materiais de Construção Civil do CTObras do IPT. Adaptado

**Tabela 16** – Correlação entre os resultados de solubilização e flexão 7 dias.

Parâmetros	ARG 0%	ARG 1%	ARG 5%	ARG 10%	Correlação
Flexão	1,41	1,74	1,34	0,47	
Alumínio (mg Al/L)	0,900	1,000	1,200	1,100	-35%
Ferro (mg Fe/L)	0,002	0,002	0,002	0,020	-95%
Surfactantes (mg LAS/L)	0,200	0,050	0,050	0,200	-64%
Bário (mg Ba/L)	0,030	0,100	0,200	0,020	44%
Fluoretos (mg F/L)	1,300	1,000	1,200	1,400	-85%
Cobre (mg Cu/L)	0,003	0,003	0,003	0,050	-95%
Zinco (mg Zn/L)	0,001	0,010	0,010	0,001	64%
Nitrato (mg N/L)	0,010	0,100	0,010	0,500	-87%
Sódio (mg Na/L)	2,900	4,600	11,100	16,900	-87%
Cloretos (mg Cl/L)	0,010	2,900	0,010	0,010	61%

Fonte: Laboratório de Materiais de Construção Civil do CTObras do IPT. Adaptado

### Correlação entre os Ensaio de Flexão e Lixiviação

O estudo de correlação entre os resultados de flexão de 28 e 7 dias e os resultados de lixiviação, são mostrados na Tabela 17 e Tabela 18, e pode-se observar que os resultados apresentaram forte correlação positiva para os elementos cromo e fluoreto, ou seja quanto maior a presença destes elementos na argamassa maior a resistência a flexão.

**Tabela 17** – Correlação entre os resultados de lixiviação e flexão 28 dias.

Parâmetros	ARG 0%	ARG 1%	ARG 5%	ARG 10%	Correlação
Flexão	2,01	1,92	1,64	0,75	
Cromo Total (mg Cr/L)	0,080	0,100	0,100	0,050	81%
Bário (mg Ba/L)	0,300	0,400	0,800	0,700	-65%
Fluoreto (mg F/L)	4,200	4,000	2,700	2,000	92%

Fonte: Laboratório de Materiais de Construção Civil do CTObras do IPT. Adaptado

**Tabela 18** – Correlação entre os resultados de lixiviação e flexão 7dias.

Parâmetro	ARG 0%	ARG 1%	ARG 5%	ARG 10%	Correlação
Flexão	1,41	1,74	1,34	0,47	
Cromo Total (mg Cr/L)	0,080	0,100	0,100	0,050	91%
Bário (mg Ba/L)	0,300	0,400	0,800	0,700	-54%
Fluoreto (mg F/L)	4,200	4,000	2,700	2,000	84%

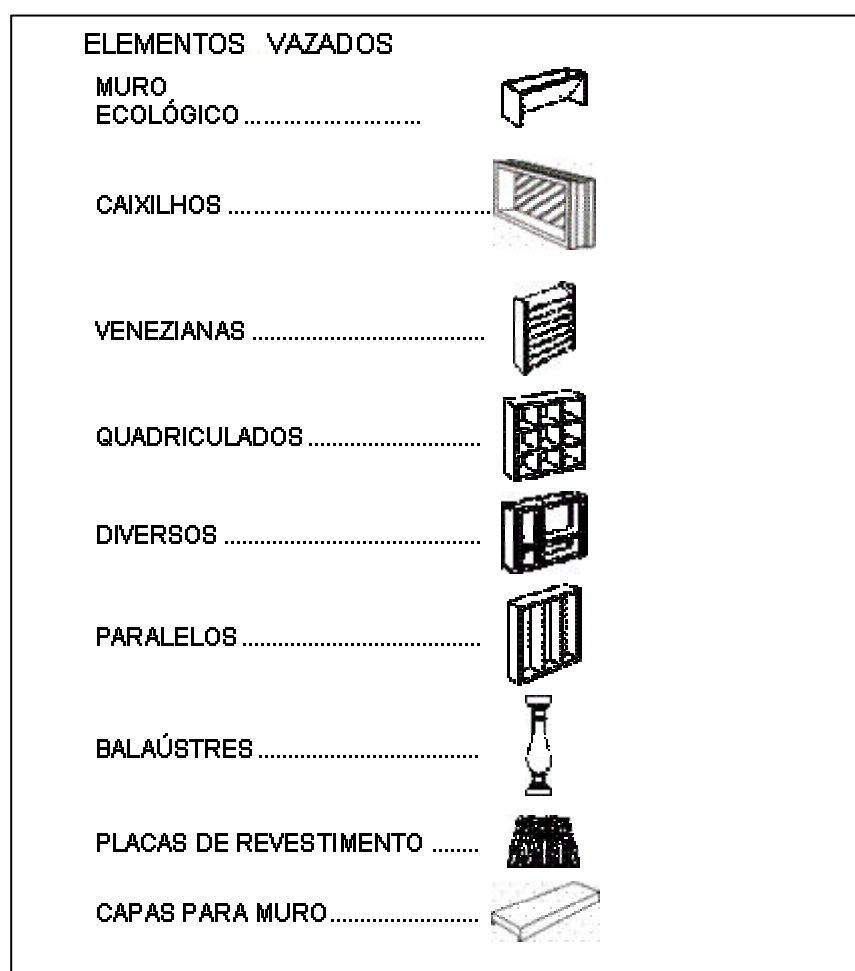
Fonte: Laboratório de Materiais de Construção Civil do CTObras do IPT. Adaptado

Com base nas correlações apresentadas é necessário criar mecanismos que possam controlar durante o processo de acabamento dos fogões a presença dos elementos químicos que reduzem a resistência mecânica das argamassas principalmente o ferro, o cobre, nitratos e o sódio.

Uma das formas de controlar o processo é a exigência dos certificados de matérias-primas contendo os valores dos elementos empregados.

## 9 ESTUDO PRELIMINAR DE APLICAÇÕES DO RESÍDUO

O estudo preliminar de aplicações visa identificar as possíveis aplicações práticas do resíduo bem como estimar a quantidade disponível para uso. Dentre os diversos artefatos produzidos em argamassa de cimento, foram identificados 02 grupos que têm as características necessárias para o uso do resíduo: os chamados elementos vazados, Figura 51, e os pré-moldados, Figura 52.



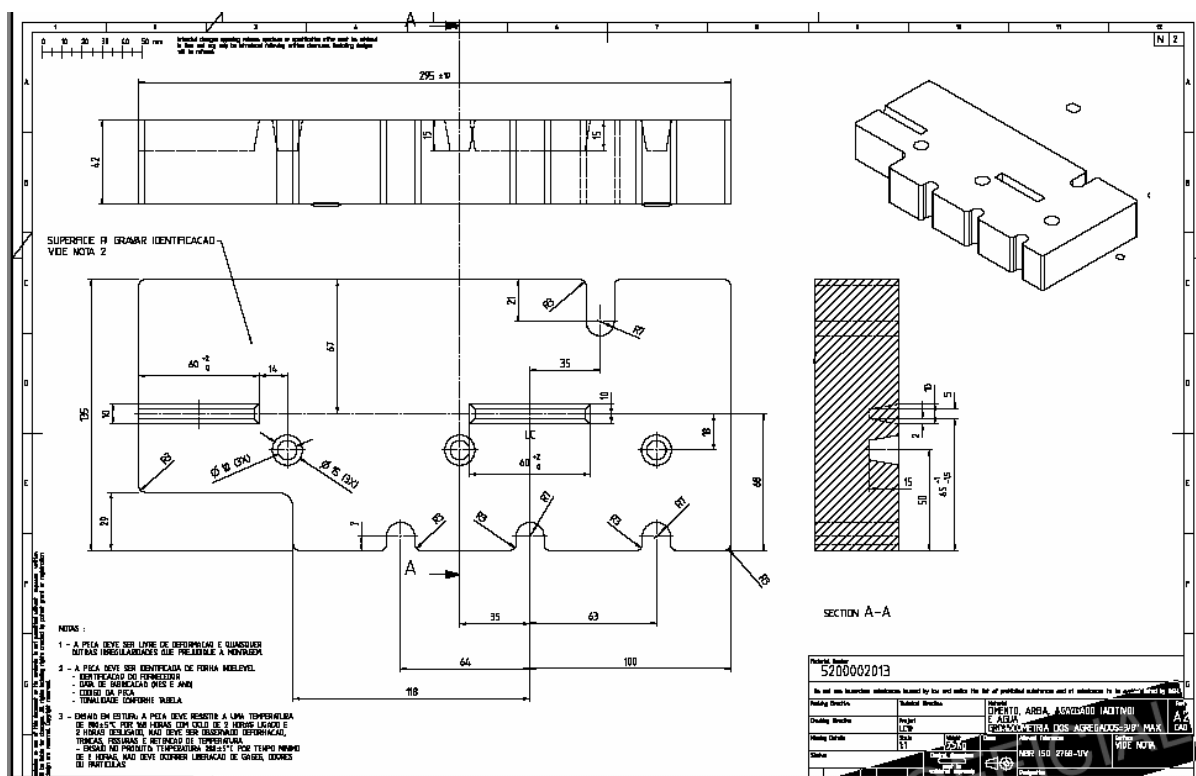
**Figura 51:** Elementos vazados de argamassa.  
Fonte: Catálogo Neo-Rex, 2006.



**Figura 52:** Pré-moldados em argamassa de cimento.  
Fonte: Catálogo Neo-Rex, 2006.

Dentre as aplicações apresentadas, a primeira alternativa a ser estudada será o pré-moldado chamado de contrapeso, o qual é utilizado em lavadoras de roupas e também em fogões domésticos. A figura 53 ilustra um típico contrapeso utilizado em um fogão doméstico, este é fixado na parte externa da cavidade do forno, a principal função do contrapeso é ajudar a contrabalancear a força exercida durante a abertura da porta do forno acidentalmente por uma criança. Atualmente alguns modelos de fogão são dotados internamente de contrapesos de areia e cimento utilizados para compensar o peso do fogão durante a abertura da porta acidentalmente por uma criança. Desta forma, parte do resíduo gerado pelo processo de fabricação de fogões poderá ser reutilizado nele mesmo.

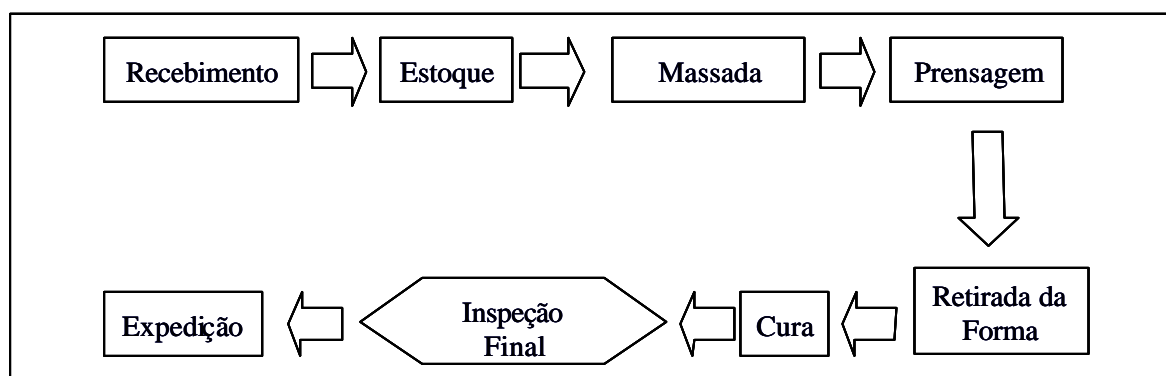




**Figura 53:** Desenho de contrapeso de fogão doméstico.  
Fonte: Engenharia de Produto da BSH Continental Ltda.

## 9.1 Processo de Fabricação de Contrapesos de Fogões

Como parte do estudo preliminar foi feito um primeiro mapeamento do processo de fabricação de contrapesos de areia e cimento por meio de um fluxograma (Figura 54).



**Figura 54:** Fluxograma de processo de fabricação de contrapeso de fogão.  
Fonte: Próprio autor, 2003.

O resíduo será adicionado no momento da mistura (massada) conforme Figura 55,

dentro de uma betoneira onde são adicionados a areia, cimento e água, após pronta a massa é encaminhada para o processo de prensagem em máquina própria onde a mesma tem o formato do contrapeso que se quer fabricar (Figura 56 e Figura 57) e em seguida o mesmo fica aguardando o processo de cura ao ar e pronto para uso (Figura 58).



**Figura 55:** Foto ilustrando o processo de mistura (massada) dos elementos areia, cimento, limalha de ferro.  
Fonte: Próprio autor, 2003.



**Figura 56:** Foto ilustrando máquina de prensar contrapesos de fogões.  
Fonte: Próprio autor, 2003.



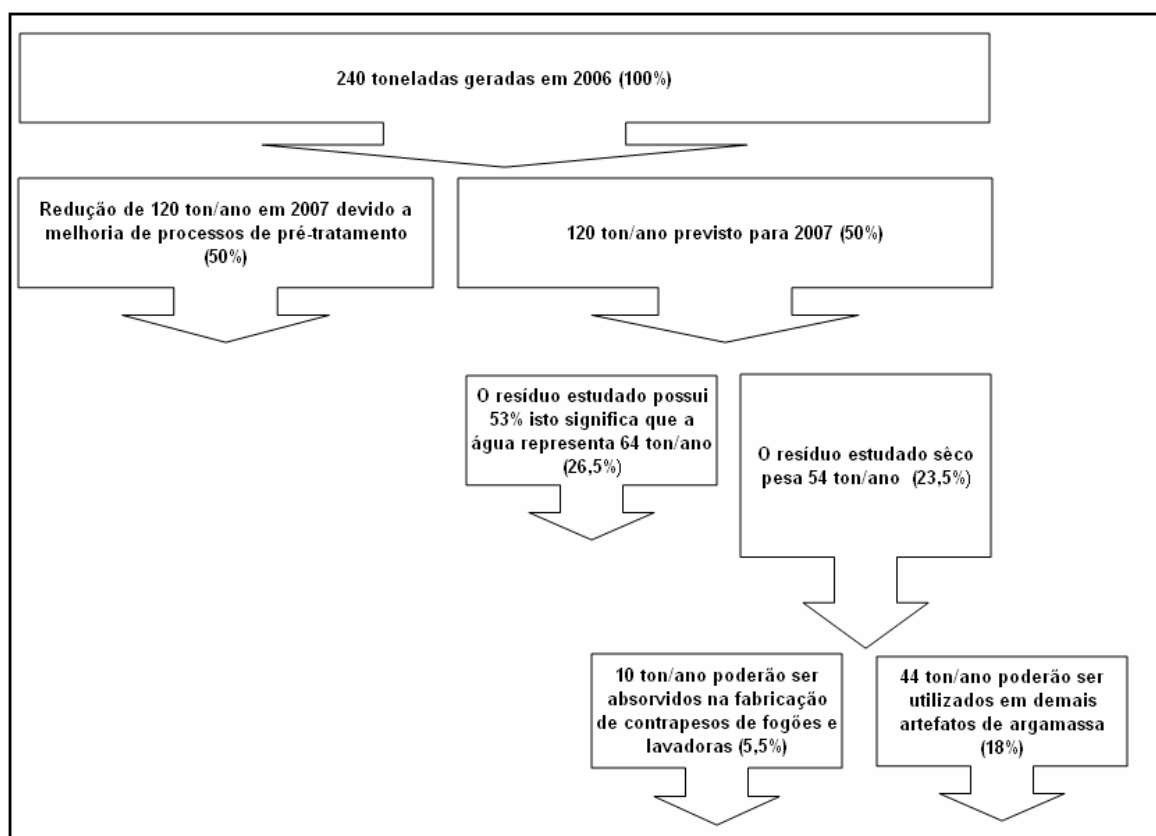
**Figura 57:** Foto de detalhe do molde de fabricação de contrapeso de fogão.  
Fonte: Próprio autor, 2003.



**Figura 58:** Foto ilustrativa de contrapesos de cimento prontos.  
Fonte: Próprio autor, 2003.

## 9.2 Diagrama de Fluxo para Mapeamento do Resíduo Sólido Disponível

O diagrama de fluxo (Figura 59) teve por objetivo ilustrar, de forma simples, o potencial quantitativo de uso do resíduo estudado em vistas de alterações futuras no processo de fabricação de fogões. Assim pode-se concluir que para a fabricação de contrapeso a possível quantidade absorvida deste material para uma dosagem de 1% no lugar da areia será de 10 toneladas por ano, restando 44 toneladas ano para as demais aplicações de elementos de construção sem fins estruturais.



**Figura 59:** Diagrama de fluxo para ilustrar o potencial quantitativo do resíduo sólido em argamassa de cimento.

Fonte; Próprio autor, 2006.

## 10 CONCLUSÃO

A possibilidade de aplicação de resíduo sem nenhum valor agregado e sua incorporação em um produto, como matéria-prima, resulta em um processo de manufatura que aumentam a sustentabilidade ambiental e social. O trabalho de pesquisa visa, portanto, buscar soluções que reduzam os riscos ambientais e de saúde quando se quer desenvolver, de forma sustentável, soluções para problemas ambientais. O desenvolvimento de projetos de pesquisa para problemas ambientais é uma tarefa complexa e envolve conhecimentos multidisciplinares, como no estudo de caso apresentado que abrangeu uma busca de referências de várias pesquisas visando a reutilização de resíduos dos mais diversos, conhecimentos de materiais de construção civil, processos de fabricação e acabamento de fogões, análises químicas de materiais, ensaios físico-mecânicos e estudos de aplicação prática.

Como resultado final da pesquisa, foi demonstrada a real possibilidade de utilização do resíduo da ETE do processo de acabamento de fogões na proporção de 1% em substituição da areia, obtendo boa resistência mecânica para artefatos de argamassa sem fins estruturais, como por exemplo, contrapesos de fogões e lavadoras, sem contaminação do solo após destinação final em aterro sanitário e/ou industrial reduzindo assim o atual impacto ambiental causado por este tipo de resíduo, reduzindo os custos de fabricação e contribuindo para um desenvolvimento sustentável e para efetiva implantação da reutilização do resíduo.

Para continuidade do trabalho são necessários, após a escolha da aplicação, novos ensaios de resistência mecânica e lixiviação, bem como avaliação do ciclo de vida dos componentes quando requeridos, pois é importante destacar que os ensaios realizados são considerados preliminares pois foram feitas em apenas uma amostra de cada dosagem de argamassa feita com uma amostragem recolhida e comparada com resultados obtidas de corpos de prova de referência.

## 11 REFERÊNCIAS

ACEITUNO, J. Já são 76 crianças contaminadas por chumbo em Bauru. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 18 abr. 2002.

ACEITUNO, J. Mais 22 crianças estão contaminadas com chumbo em Bauru. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 12 abr. 2002.

ACEITUNO, J. Ministério inspeciona atendimento aos contaminados por chumbo. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 07 maio 2002.

ALBUQUERQUE, S. M. **Estudo para uso de agregado de resíduos sólidos de construção e demolição em blocos de concreto para alvenaria**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Construção de Edifícios) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2005.

ARRIVABENE, L. F. et al. **A contribuição da petrografia no estudo de concreto-escória**. São Paulo: IBRACON, 2002. p.267-269.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

\_\_\_\_\_. **EB 294**: Chapas e bobinas finas a frio de aço carbono para esmaltagem vítrea - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, /1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, /2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 11578**: Cimento Portland composto: Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento: Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 7251**: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência: método de ensaio.

Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão: Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ALBUQUERQUE, A. S. Agregados. In: BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos, 2000. cap.4, p 63-120.

AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **Heat treating, cleaning and finishing**. 8. ed. Ohio: Metals Park, 1964. p. 575-586.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM C 150**: Specification of Portland cement. Philadelphia, 2002. 8p.

BAUER, L. A. F. Preparo, transporte, lançamento, adensamento e cura. In: BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos, 2000. cap.8, p.240-266.

BAUER, L. A. F; NORONHA, M.A. – Estudo de dosagens. In: BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos, 2000. cap.7, p.186-239.

BILLER, L.N., STIDHAM, A.C..**Enamel adherence to various steel types**, Ceramic Engineering and Science Proceedings.Vol. 17, n. 5. 1996. p. 141-151.

BINA, P. **Metodologia de utilização de rejeitos industriais na pavimentação: estudo de caos de uso de areia de fundição**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, São Paulo, 2002.

BITENCOURT, A. C. P. et al. Sistematização do reprojeto conceitual de produtos para o meio ambiente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO, 3., Florianópolis, 2001. **Anais...**Florianópolis: UFSC, 2001.

BITENCOURT, M. P. et al. Estabilização/solidificação E/S de efluentes de efluentes líquidos de uma lavanderia têxtil para reaproveitamento como material de construção:

estudos preliminares para Maringá, PR. In: SEMINÁRIO SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A CONSTRUÇÃO CIVIL, 5., São Paulo, 2002. **Anais...**São Paulo: 2002. p.309-314.

BORGES, C. Recicle: a natureza agradeça. **Revista Banas Ambiental**, São Paulo, n.91, p.32–37, dez. 1999.

BRADY, G.S.; VACCARI, J.A. CLAUSER, H.R. **Materials handbook**, McGraw-Hill Book Company. 15 ed. p. 284-569

CAMPANILI, M. Apenas 22% dos resíduos industriais têm tratamento adequado. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 02 maio 2002.

CHAVES, L. A. O.; MAINIER, F. B. Análise do ciclo de vida de produto e seus impactos no mercado: uso de produtos ecológicos. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO, 11., Bauru, 2004. **Anais...**Bauru: UNESP, 2004.

CHIUVITE, T. B. S., ANDRADE, T. C. S. Gerenciamento de resíduos sólidos na empresa. **Revista Meio Ambiente Industrial**, São Paulo, v.31, n.30/31, p.112– 115, maio/jun. 2001.

CHOTOLI, A. F.; SACHS, O. A. P.; COSTA, A. **Trabalho interdisciplinar de resíduos sólidos**. /Apresentado no Seminário de Pesquisa Interdisciplinar, São Paulo, 2004/.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Rede de produção mais limpa**: relatório de atividades (1999-2002). Rio de Janeiro: Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, 2003.

COSTA, M. Os caminhos para resolver o problema. **Revista Banas Ambiental**, São Paulo, v.1, n.5, p.14-18, abr. 2000.

DESCOBERTA a maior área de contaminação de lixo químico do Brasil. **Jornal Nacional**, Rio de Janeiro: Rede Globo, 09 abr. 2002.

FIORITO, A. J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos**: estudos e procedimentos de execução. São Paulo: Pini, 1994. 223p.



GORDON, A.W.. ***Factors influencing hydrogen-related defects in porcelain enamel coating***, Ceramic Engineering and Science Proceedings.V. 15, n. 6, 1994. p. 24-34.

GUAIME, S. Laudo comprova contaminação dos moradores de Paulínia. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 23 ago. 2001.

GÜNTHER, W. N. R. **Resíduos sólidos e poluição ambiental**. São Paulo: FSP USP, 2001. (Apostila de Curso de Pós-Graduação Lato Sensu Especialização Gestão Ambiental)

HYDE, R. L. ***Water vapor and its effect on porcelain enamel***. Ceramic Engineering and Science Proceedings. Vol. 18, n. 5, 1997. p. 112-118.

JOHN, V. M.; ÂNGULO, S. C. **Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos**. Porto Alegre: HABITARE, 2003. v.4, (Coletânea HABITARE)

JOHN, W. **Desenvolvimento sustentável, construção civil e reciclagem**. /Palestra Apresentada no Seminário de Resíduos sólidos urbanos – lixo e entulho – recursos recicláveis, Atibaia, 2003/.

JOSHI, N. R.. **Analyzing and avoiding fishscale phenomena in porcelain enameling**, Ceramic Engineering and Science Proceedings.Vol. 15, n. 3, 1994. p. 139-155

LEA, F. M. **The Chemistry of cement and concrete**. 3.ed. Glasgow: Bell and Bain, 1970. 741p.

LÉBEIS, V. D. L. **Viabilidade do uso do resíduo da fabricação do papel em argamassas**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

LIMA, F. B., TEIXEIRA, M. A. M. Contribuição ao estudo das propriedades das argamassas confeccionadas com agregados provenientes da reciclagem de resíduos de construção e demolição In: SEMINÁRIO SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A CONSTRUÇÃO CIVIL, 5., São Paulo, 2002. **Anais...**São Paulo: IBRACON, 2002. p.233-245

MARIOTTO, C. L. **Regeneração de areias de fundição**. São Paulo: IPT, 2000.

MARTINS, P.G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção**. São Paulo: Editora Saraiva, 2001.

MATTIO, J. A. Reuso de água industrial. **Revista Meio Ambiente Industrial**, São Paulo, v. 20, n. 19, p.130-134, jul./ago. 1999.

MELO, A. B. et al. Estudo para aproveitamento de resíduos das aparas de solados de sandálias na confecção de blocos leves de vedação. In: SEMINÁRIO SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A CONSTRUÇÃO CIVIL, 5., São Paulo, 2002. **Anais...**São Paulo: IBRACON, 2002. p.153-161.

MOURA, L. A. A. **Qualidade e gestão ambiental**: sugestões para implantação das normas ISO 14000 nas empresas. 2. ed. São Paulo: Editora Juarez de Oliveira, 2000.

MUNDOQUIMICO. **Informações gerais do site**. Disponível em: <<http://www.mundoquímico.hpg.com.br>>. Acesso em: 01 out. 2006.

MUNG, M. CPI vai pedir interdição de terminal da Shell em SP. **Estado de São Paulo**, São Paulo, 03 maio2002.

NEVES, L.; BINA, P.; NOTRISPE, E. N. Estudo de aproveitamento de resíduos diversos como componentes em concreto e argamassas. In: SEMINÁRIO SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A CONSTRUÇÃO CIVIL, 5. São Paulo, 2002. **Anais...**São Paulo: IBRACON, 2002. p.356-359.

OLIVEIRA, H. M. Cimento Portland. In: BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos, 2000. cap.3, p. 35-62.

PALACIOS, M.; JIMÉNEZ, A.M.F.; PALOMO, A. *Sistemas cementantes aplicados a la solidificación-estabilización de resduos tóxicos y peligroso*. In: SEMANA DE LA CIENCIA EM MADRID. **Reciclado de Materiales de Construcción**. Madrid. 2004. p. 43-54

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção**. Porto Alegre: Editora Globo, 1976.

QUARCIONI, V. A.; CHOTOLI, F. F.; ALEIXO, D. M. Ensaio acelerado para

simular eflorescência de sais solúveis em argamassas endurecidas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., São Paulo, 2003. **Anais...**São Paulo: USP/ANTAC, 2003. p.595-604.

RAMANATHAN, L. V. **Corrosão e seu controle**. São Paulo: Editora Hemus, 1993. p.224-227, p.248-266.

REBEIZ, K. S. **Precast se for polymer concrete using unsaturated polyester resin based on recycled PET waste**. Easton: Elsevier / Lafayette College, department of civil and Environmental Engineering, 1995.

RECENA, F. A. P.; RESCHKE, J. S.. A Utilização de resíduos de couro curtido à base de cromo na produção de componentes para construção civil. In: SEMINÁRIO SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A CONSTRUÇÃO CIVIL, 5., São Paulo, 2002. **Anais...**São Paulo: IBRACON, 2002. p. 99-111.

REIS, F. M.; BARITS, R. **A fosfatização**. Diadema: Chemetall do Brasil, 2000.

RENOVA. **Relatórios nº3289/06 a 3293/06**. São Bernardo do Campo: Renova, 2006. (Cortesia: BSH Continental))

RENOVA. **Relatórios nº953/2005**. São Bernardo do Campo: Renova, 2006. (Cortesia: BSH Continental))

RIBEIRO, I.; MALPIGHI, I. **Resíduos, destinações e legislações**. Monografia de MBA (Especialização em Gestão Ambiental) – Programa de Engenharia da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

RIPOLI FILHO; F. KOHLER, R.; WYPYSZYNSKI, F. Estudo comparativo entre diferentes traços de argamassa com agregados alternativos para execução de blocos com garrafas PET. In: SEMINÁRIO SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A CONSTRUÇÃO CIVIL, 5., São Paulo, 2002. **Anais...**São Paulo: IBRACON, 2002. p.91-99

ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. **Aproveitamento de resíduos na construção**. Porto Alegre: HABITARE, 2003. v.4, (Coletânea HABITARE)

ROCHA, J. C.; JOHN, V. M. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. Porto Alegre: HABITARE, 2003. v.4, (Coletânea HABITARE)

SACHS, O. A. P. **Uso de bio-sólidos na produção de mudas de *Cyrtanthus myrianthum* Cham. (pau-viola)**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, São Paulo, 2005.

SALGADO, P. E. T. Toxicologia dos metais. In: OGA, S. **Fundamentos de toxicologia**. São Paulo: Atheneu, 1996.

SANTOS, J. L. K.; AZEVEDO, A. A.; MARTINS, M. L. C. Análise da viabilidade técnica e econômica na utilização de E.V.A. para obtenção de concretos de baixa densidade. In: SEMINÁRIO SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A CONSTRUÇÃO CIVIL, 5., São Paulo, 2002. **Anais...**São Paulo: IBRACON, 2002.

SCHÖTTLER, J.; FLAXA, V. **Production and testing of steel sheet for enamelling applications**. *Steel Grips*. N. 2, 2004. p. 95-101.

SHIEU, F.; LIN, K.; WONG, J. **Microstructure and adherence of porcelain enamel to low carbon steel**. Leeds: Elsevier; Institute of Materials Engineering; National Chung-Hsing University, of Leeds, 1997.

SIQUEIRA, L. C. G. **Avaliação do Impacto das emissões de metais geradas no coprocessamento de resíduos em fábricas de cimento**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SILVEIRA, R. C. I. 30 anos de qualidade ambiental no Brasil. **Revista Banas Ambiental**, São Paulo, n.8, p.6-15, out. 2002.

SOUSA, F. J. P.; NEVES, W. F.; ALARCON, O. E. **Estudo da viabilidade de obtenção de isoladores elétricos a partir de resíduo de esmaltação**. *Revista Cerâmica*, São Paulo, v.50, n.315, jul./set. 2004.

SOUZA, R. S. **Entendendo a questão ambiental: temas de economia, política e gestão do meio ambiente**. Santa Cruz do Sul: Editora Edunisc, 2000.

VANZO, J. E. **Horizonte histórico da reciclagem: bio-sólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001.

XAVIER, L. L.; ROCHA J.C. Diagnóstico do resíduo sólido da construção civil: início do caminho para uso potencial do entulho. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL; MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, 4. São Paulo. **Anais...**São Paulo. IBRACON, 2001.

TAYLOR, H. F. W. **Cement chemistry**. 2.ed. London: Thomas Telford, 1998. 476p.

THE POWDER COATING INSTITUTE. **The Complete finisher's handbook**. 2 ed. USA: PCI, 1997. p. 44-156

ZATTERA, A. J. **Reuso de laminados de fibra de vidro na construção civil**. Caxias do Sul: Departamento de Engenharia Química. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia / Universidade de Caxias do Sul, 2000.

ZOOROB, S. E.; SUPARMA, L. B. **Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded Asphaltic concrete containing recycled plastic aggregate replacement (Plastiphalt)**. Leeds: Elsevier; School of Civil Engineering; The University of Leeds, 2001.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)