

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**ANÁLISE GRAVIMÉTRICA E AVALIAÇÃO DE METAIS  
TRAÇO PRESENTES EM MATERIAL PARTICULADO  
COLETADO DURANTE ABERTURA DOS FORNOS DE UMA  
INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO**

**Valéria Vidal de Oliveira**

**Florianópolis, (SC)  
Março/2009**

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**ANÁLISE GRAVIMÉTRICA E AVALIAÇÃO DE METAIS  
TRAÇO PRESENTE EM MATERIAL PARTICULADO  
COLETADO DURANTE A ABERTURA DOS FORNOS DE UMA  
INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO**

**Valéria Vidal de Oliveira**

**Trabalho apresentado à Universidade  
Federal de Santa Catarina para conclusão  
do curso de Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental.**

**Orientador  
Prof. Dr. Henrique de Melo Lisboa**

**Co-orientadora  
MSc. Schirlene Chegatti**

**Florianópolis, (SC)  
Março/2009**

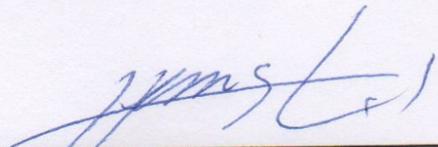
**Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro Tecnológico  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

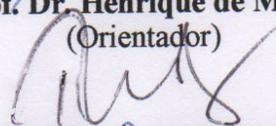
**ANÁLISE GRAVIMÉTRICA E AVALIAÇÃO DE METAIS TRAÇO PRESENTE  
EM MATERIAL PARTICULADO COLETADO DURANTE A ABERTURA DOS  
FORNOS DE UMA INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO**

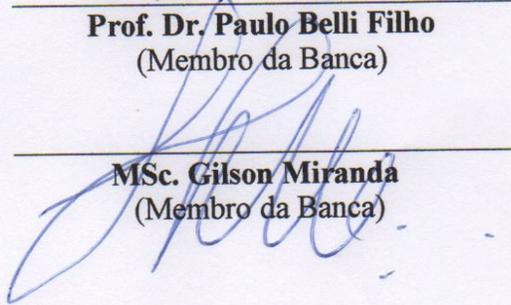
**Valéria Vidal de Oliveira**

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos  
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental – TCC II**

**BANCA EXAMINADORA:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Henrique de Melo Lisboa**  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Paulo Belli Filho**  
(Membro da Banca)

  
\_\_\_\_\_  
**MSc. Gilson Miranda**  
(Membro da Banca)

**Florianópolis, (SC)  
Março/2009**

*Dedico este trabalho aos  
meus pais Geny e Zacarias  
pelo amor, apoio e exemplo.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus e também a minha família, em especial ao meu marido Luciano, por todo apoio e incentivo em meus estudos.

Agradeço ao professor Dr. Henrique de Melo Lisboa por ter me proporcionado a oportunidade de ser pesquisadora do Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr) – UFSC, durante a graduação, por disponibilizar os equipamentos necessários para a realização deste trabalho, sem qualquer ônus, mesmo eu estando fazendo estágio em uma empresa privada, e por ter sido tão atencioso na sua revisão. Além disso, agradeço pelo exemplo profissional e pessoal como educador, e por me dar a oportunidade de continuar meus estudos em poluição atmosférica através do mestrado.

Agradeço a Schulz S.A, representada aqui pela minha co-orientadora Schirlene Chegatti e Tatiane Cristina da Silva, pelo apoio em todos os momentos, pela liberdade de execução do trabalho, pela confiança em mim depositada, pelo financiamento da pesquisa, e principalmente pela oportunidade do aprendizado e amizade adquiridos durante meu estágio curricular.

Agradeço ao Laboratório Integrado de meio Ambiente (LIMA) – UFSC, pela disponibilidade incondicional de equipamentos e espaço para execução das análises gravimétricas.

Agradeço ao Laboratório de Espectrometria Atômica e Massa – UFSC, representado aqui pelo químico Jairo, pela paciência em explicar os procedimentos e por se disponibilizar em ajudar nas análises semi-quantitativas e quantitativas.

Agradeço a todas as pessoas que, cada qual a sua maneira, contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. OBJETIVO GERAL.....	2
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
3.1. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	3
3.2. POLUENTES ATMOSFÉRICOS.....	3
3.2.1. DEFINIÇÃO.....	3
3.2.2. CLASSIFICAÇÃO.....	3
3.2.3. MATERIAL PARTICULADO.....	4
3.3. INDÚSTRIAS METALÚRGICAS – FUNDIÇÕES.....	8
3.3.1. POLUENTES ATMOSFÉRICOS GERADOS PELA INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO.....	11
3.4. MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DE METAIS E NÃO-METAIS NO AR.....	11
3.4.1. RADIAÇÃO MICROONDAS PARA O PREPARO DE AMOSTRAS.....	12
3.4.2. ESPECTROMETRIA DE MASSA COM PLASMA INDUTIVAMENTE ACOPLADO.....	13
3.5. FORMAS DE AMOSTRAGEM.....	15
3.6. LEGISLAÇÃO.....	15
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	16
4.1.1. FORNOS FUSORES.....	19
4.2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	20
4.2.1. PREPARAÇÃO E PESAGEM DOS FILTROS.....	20
4.2.2. MONTAGEM DAS UNIDADES DE FILTRAÇÃO.....	23
4.2.3. AMOSTRAGEM.....	23
4.2.4. PESAGEM FINAL DAS UNIDADES DE FILTRAÇÃO.....	26
4.3. ANÁLISE GRAVIMÉTRICA.....	27
4.4. AVALIAÇÃO DOS METAIS TRAÇO.....	27
4.4.1. ANÁLISES SEMI-QUANTITATIVA E QUANTITATIVA.....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
5.1. ANÁLISE GRAVIMÉTRICA.....	29
5.2. DETERMINAÇÃO DE METAIS TRAÇO (TOTAIS) POR ICP-MS.....	32
6. CONCLUSÕES.....	34
7. RECOMENDAÇÕES.....	34
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

## ***RESUMO***

O Brasil está entre os 10 maiores produtores de fundidos do mundo, principalmente por propiciar condições vantajosas às grandes multinacionais como: baixo custo com energia elétrica, matérias-primas e mão-de-obra. A indústria de fundição gera material particulado e/ou fumos metálicos em várias atividades durante o processo de fabricação. Entretanto, é na etapa de fusão sua maior geração, responsável por 94% das emissões, no caso de utilizar fornos elétricos. O resíduo proveniente desse processo é conhecido como pó de exaustão dos fornos, pó de óxido de zinco, ou ainda pó de aciaria (fundições de produção de aço), que, devido ao seu alto teor de zinco, é reutilizado em insumos agrícolas, o que lhe agrega alto valor econômico se comparado os demais resíduos gerados por fundições. O material é coletado por sistemas de exaustão, instalados, geralmente, em cima dos fornos (coifas), ou acoplados a tampa dos mesmos. Neste último, o sistema só é eficiente quando a tampa do forno está fechada. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a concentração de material particulado total, não captado pelo sistema de exaustão durante a abertura da tampa dos fornos de uma fundição de ferro, através de análises gravimétricas, com uma vazão coletada de 250L/h durante 10min em cada forno analisado, fazendo-se o ar passar por filtros de fibra de vidro com 7 $\mu$ m de porosidade e 37mm de diâmetro. Os resultados obtidos foram: Forno 1: 126,19mg/m<sup>3</sup>; Forno 3: 23,81mg/m<sup>3</sup>; Forno 5: 302,38mg/m<sup>3</sup>; Forno 7: 835,71mg/m<sup>3</sup>; e Forno 9: 780,95mg/m<sup>3</sup>. Cada um desses cinco fornos (exceto o Forno 7) possui um conjugado com mesma capacidade e modo de operação, portanto pode-se estimar suas emissões em: Forno 2: 126,19mg/m<sup>3</sup>; Forno 4: 23,81mg/m<sup>3</sup>; Forno 6: 302,38mg/m<sup>3</sup>; e Forno 8: 780,95mg/m<sup>3</sup>, para a mesma vazão de 250L/h durante 10 min. Também foram realizadas análises semi-quantitativas e quantitativas através da técnica de Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS). Nas primeiras foram avaliados os metais pesados presentes no material coletado. Foi constatada a presença de Manganês, Ferro, Zinco, Chumbo e Bismuto, sendo o elemento zinco seu maior representante. O zinco foi quantificado em uma amostra de cada forno analisado. Sua concentração em porcentagem ficou entre 46,98% a 64,75%.

**Palavras-chave:** emissões fugitivas, fundição, material particulado.

## ***ABSTRACT***

Brazil is among the 10 largest producers of castings in the world, mainly by providing advantageous conditions of large multinationals such as: low cost of electricity, raw materials and labor. The foundry industry to generate particulate matter and / or metal fumes in various activities during the manufacturing process. However, it is in the stage of merging its greatest generation, responsible for 94% of emissions in the case of using electric furnaces. The residue from this process is known as exhaustion of furnace dust, zinc oxide powder, or dust from steelworks (foundries for production of steel) which, due to their high zinc content is reused in agricultural inputs, the it adds economic value is high compared to other waste generated by foundries. The material is collected by exhaust systems, installed, usually on top of the furnace (cap), or coupled to cover them. In the latter, the system is only effective when the furnace lid is closed. This study aimed to evaluate the concentration of total particulate matter, not captured by the ventilation system during the opening of the lid of a furnace for smelting iron by means of gravimetric analysis, collected with a flow rate of 250L / h for 10min each furnace analysis, making up the air passing through glass-fiber filters with porosity of 7 $\mu$ m and 37mm in diameter. The results were: Oven 1: 126.19 mg/m<sup>3</sup>; Oven 3: 23.81 mg/m<sup>3</sup>; Oven 5: 302.38 mg/m<sup>3</sup>; Oven 7: 835.71 mg/m<sup>3</sup> and Oven 9: 780.95 mg/m<sup>3</sup> . Each of these five kilns (except the Oven 7) has a conjunction with the capacity and mode of operation, so you can estimate their emissions of: Oven 2: 126.19 mg/m<sup>3</sup>; Oven 4: 23.81 mg/m<sup>3</sup>; Oven 6: 302.38 mg/m<sup>3</sup> and Oven 8: 780.95 mg/m<sup>3</sup> for the same flow rate of 250L / h for 10 min. Tests were also performed semi-quantitative and quantitative through the technique of mass spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-MS). In the first were the heavy metals present in the material collected. Was the presence of Manganese, Iron, Zinc, Lead and Bismuth, the element zinc increased its representative. Zinc was measured in a sample of each furnace analysis. Their concentration in percentage was between 46.98% to 64.75%.

**Keywords:** Fugitive emissions, casting, particulate matter.

## ***1. INTRODUÇÃO***

O ar é um recurso disponível livremente, sem qualquer ônus ou esforço para obtê-lo. É importante para a comunicação, transporte, combustão, e processos industriais. Além disso, atua como coadjuvante dos fenômenos naturais meteorológicos. Caracteriza-se, principalmente por rezeptar e transportar resíduos sólidos e gasosos provenientes da atividade humana, ocasionando a poluição do ar.

Um dos problemas associados à poluição atmosférica é seu efeito sobre a saúde. Geralmente, os danos são ao sistema respiratório, doenças cardiovasculares e irritação dos olhos. Portanto, todas as interferências no ar devem estar sujeitas ao seu uso básico: promover a vida.

Os principais poluentes presentes na atmosfera são: o dióxido de nitrogênio ( $N_2$ ), dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), material particulado (MP), monóxido de carbono (CO), ozônio ( $O_3$ ), compostos orgânicos voláteis (COV), e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA).

As indústrias de fundição são uma das principais fontes de material particulado e gases para a atmosfera. Como material particulado encontra-se o ferro, a sílica e óxidos metálicos. Entre os gases encontram-se o monóxido de carbono, dióxido de enxofre, gás sulfídrico, formaldeído, amônia, hidrocarbonetos, fluoretos, entre outros (GALVÃO FILHO, 2008).

Na realidade, as indústrias metalúrgicas produzem diversos resíduos, que podem causar impactos ambientais, dependendo da sua destinação final. Além disso, o descarte correto pode ser dispendioso, elevando os gastos da empresa. O reaproveitamento de alguns resíduos pode reduzir esses custos e o impacto ambiental associado, por exemplo, o pó do Zinco emitido nos fornos, transformando-os em fertilizantes.

Segundo a Federação dos Estados de Santa Catarina – FIESC (2008) em 2006 havia 2.914 indústrias de metalurgia e produtos originados de metal, instaladas no estado. Com taxa crescimento de 5,3% ao ano. O pólo industrial desse tipo de indústria está concentrado principalmente na região norte-nordeste do estado.

O presente trabalho tem por objetivo principal determinar a quantidade de material particulado total proveniente da abertura da tampa dos fornos fusores de uma fundição de ferro, em Joinville, SC, não capturados pelo sistema de exaustão atual acoplado a tampa dos fornos. A coleta do material particulado total foi feita utilizando-se filtros de fibra de lã de vidro, e as concentrações avaliadas por gravimetria. Em posse da concentração, determinou-se a massa. Também foram realizadas análises para avaliar os metais traço presentes no ar retido por essas amostras. Além disso, o analito zinco foi quantificado, devido sua importância como caracterizador desse resíduo. A técnica utilizada para a análise semi-quantitativa e quantitativa do zinco foi a Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS), com introdução da amostra por nebulização pneumática.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

- Avaliar a concentração de material particulado total, não capturado pelo sistema de exaustão atual (fugitiva), emitido durante a abertura da tampa dos fornos de uma indústria de fundição de ferro para produção de peças de ferro nodular e cinzento, localizada em Joinville – SC.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a concentração de material particulado total emitido durante a abertura dos fornos e não captado pelo sistema de exaustão, através de análises gravimétricas;
- Estimar a emissão de material particulado total, em concentração, dos fornos conjugados aos fornos analisados;
- Avaliar a presença de metais traço no material particulado total coletado, através de análise semi-quantitativa, usando a técnica analítica de Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS);
- Quantificar o analito Zinco também através de ICP-MS.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo são apresentados conceitos gerais sobre poluição atmosférica e seus principais poluentes e problemas associados, com destaque para os materiais particulados (MP), representados neste estudo principalmente pelos metais pesados. Apresentam-se também as principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos, com destaque à indústria metalúrgica, precisamente às fundições de ferro para a produção de peças de ferro cinzento e nodular. Além disso, ao final do capítulo é exposta à legislação de controle ambiental pertinente aos poluentes atmosféricos, em ambientes industriais.

### 3.1. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Em linhas gerais, pode-se definir a poluição do ar “como sendo a presença ou lançamento no ambiente atmosférico de substâncias em concentrações suficientes para interferir direta ou indiretamente na saúde, segurança e bem estar do homem, ou no pleno uso e gozo de sua propriedade” (DERISIO, 2007, p.89).

Assunção (1998, p.271) define poluição do ar como sendo consequência da atividade antrópica, sob vários aspectos, dentre eles: “o rápido crescimento populacional, industrial e econômico; a concentração populacional e industrial; e dos hábitos da população”.

### 3.2. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Inicialmente ao estudo dos poluentes atmosféricos é imprescindível que se estabeleça a diferença entre poluição e contaminação.

Um contaminante não altera a composição média geoquímica do meio ambiente, já um poluente é responsável por alterá-la de forma negativa (WILLIAMSON, 1973 apud ZANETTI, 1990).

#### 3.2.1. DEFINIÇÃO

Poluentes atmosféricos são substâncias presente no ar cuja concentração torna esse ar impróprio, “nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial a segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade” (DERISIO, 2007, p.101).

Assunção (1998) define poluentes atmosféricos como sendo “qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa e de energia que, presente na atmosfera, pode torná-la poluída”.

#### 3.2.2. CLASSIFICAÇÃO

Considerando que existem várias substâncias presentes na atmosfera, se torna necessário dividir os poluentes segundo sua origem, estado físico e classe química (DERISIO, 2007; ASSUNÇÃO, 1998).

##### *Segundo sua origem:*

- a) poluentes primários: são os poluentes emitidos diretamente pelas fontes de emissão. Estão incluídos os materiais particulados (PM), dióxidos de

enxofre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e hidrocarbonetos (C<sub>x</sub>H<sub>x</sub>); e

- b) poluentes secundários: são formados na atmosfera através de reações químicas entre os poluentes primários e os constituintes naturais da atmosfera. Existem muitos compostos dessa origem, dentre eles o trióxido de enxofre (SO<sub>3</sub>) e o ozônio (O<sub>3</sub>).

***Segundo seu estado físico:***

- a) gases: como os compostos de enxofre (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, sulfatos), compostos de nitrogênio (NO, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, nitratos), compostos orgânicos de carbono (hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas, e ácidos orgânicos), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), e os compostos halogenados (HCL, HF, cloretos, fluoretos); e
- b) material particulado: apresentam-se como um mistura de compostos no estado sólido ou líquido. Esse grupo pode ser formado também por compostos de enxofre, nitrogênio, carbono, etc.

***Segundo sua classe química:***

- a) poluentes orgânicos: compostos orgânicos de carbono e os hidrocarbonetos;
- b) poluentes inorgânicos: os demais.

### **3.2.3. MATERIAL PARTICULADO**

Para condições normais, material particulado é qualquer substância, exceto água pura, que apresente dimensões microscópicas ou submicroscópicas, entretanto superiores às moleculares (2 ångstrons) (VASCONCELLOS, 1996).

Podem ser caracterizados pela mistura de substâncias orgânicas e inorgânicas no estado sólido; líquido e sólido juntos (aerossóis); e líquidos (SALGADO, 2003).

O material particulado contém substâncias com alta periculosidade, como os hidrocarbonetos poliaromáticos, ou compostos de baixa agressividade, como o sal marinho. Destacam-se por não possuir propriedades físicas e químicas bem definidas, como os poluentes gasosos (ALONSO e GODINHO, 1992). É um dos poluentes atmosféricos mais difíceis de ser avaliado (coleta, análise e interpretação de dados), bem como dos mais difíceis de controlar (ALONSO e GODINHO, 1992). Por estas razões faz-se necessário obter informações quanto à origem e subsequente histórico atmosférico, para que suas características possam ser determinadas (GODISH, 1991; VASCONCELLOS, 1996).

A distribuição das partículas no ar é descrita em níveis ambientais através dos seguintes parâmetros: a) da concentração de massa, em microgramas por metro cúbico (µg/m<sup>3</sup>); b) tamanho das partículas, cuja unidade é, geralmente, o diâmetro aerodinâmico (D<sub>ae</sub>) (SALGADO, 2003).

O diâmetro aerodinâmico depende da densidade da partícula. Corresponde ao tamanho de uma esfera de  $1\text{g/m}^3$  com as mesmas características aerodinâmicas. Assim, partículas com o mesmo tamanho e forma, mas diferentes densidades possuem diferentes diâmetros aerodinâmicos (WHO, 2000 apud SALGADO, 2003).

Outro parâmetro, desenvolvido pela Organização para Cooperação Econômica e de Desenvolvimento da Europa, segundo Derisio (2007), expressa o teor de material particulado em “fumaça internacional normalizada”. Esse parâmetro está relacionado intimamente com o teor de fuligem da atmosfera, pois é baseado na medida da refletância da poeira.

Os materiais particulados apresentam efeitos adversos sobre a saúde humana (valores acima de  $80\mu\text{g/m}^3$ , para o ar ambiente), fauna, flora e materiais (corrosão, sujeira, etc.), além de afetarem a visibilidade e servirem de catalizadores de reações normalmente lentas, devido à alta superfície específica (DE MELO LISBOA, 2008).

### *Tamanho das partículas*

O tamanho das partículas encontradas no ar é muito amplo, geralmente, varia de 0,005 até  $100\ \mu\text{m}$  de diâmetro<sup>1</sup>, ou seja, do tamanho de alguns átomos até a espessura do fio de cabelo (HEI Perspectives, 2002 apud SALGADO, 2003).

A literatura, em geral, faz menção ao material particulado através dos termos: partículas grosseiras; partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis<sup>2</sup> ( $\text{PM}_{10}$ ), partículas respiráveis<sup>3</sup> ( $\text{PM}_{2,5}$ ), partículas finas e ultrafinas (SALGADO, 2003).

As partículas com diâmetro acima de  $100\ \mu\text{m}$  correspondem às partículas grosseiras, as quais são retidas e/ou expelidas pelos mecanismos de defesa do aparelho respiratório. Possuem atração gravitacional mais efetiva; permitem menos oportunidade para reações com outros componentes do ar poluído (pequenas superfícies específicas); e causa menos incômodos a população quando comparadas às partículas de diâmetro inferior a  $100\ \mu\text{m}$  (DE MELO LISBOA, 2008).

As partículas totais em suspensão representam as partículas com diversos tamanhos. Nos EUA seu limite superior é de  $45\ \mu\text{m}$ , enquanto na Europa é de  $160\ \mu\text{m}$ . Neste caso, devem-se adotar procedimentos gravimétricos para a determinação da matéria particulada suspensa (MPS) (WORLD BANK GROUP, 1998 apud SALGADO, 2003).

Dentro do conjunto das partículas finas, abaixo de  $100\ \mu\text{m}$ , as que apresentam diâmetro menor ou igual a  $10\ \mu\text{m}$ , são denominadas de partículas inaláveis, e representadas por  $\text{PM}_{10}$ . Estas são constituídas de uma fração grosseira, com diâmetro entre  $2,5$  e  $10\ \mu\text{m}$ , e por uma fração fina, com diâmetro igual ou inferior a  $2,5\ \mu\text{m}$ , representada por  $\text{PM}_{2,5}$ , denominadas de partículas respiráveis (EPA, 1996).

---

<sup>1</sup> Será utilizado apenas o termo diâmetro, mas se refere ao diâmetro aerodinâmico.

<sup>2</sup> A principal característica das partículas inaláveis é que, apesar de estarem compreendidas na faixa do respirável ( $\text{PM}_{10-2,5}$ ), podem ficar retidas nas vias aéreas superiores (POZZA et al., 2008. p.2).

<sup>3</sup> Partículas respiráveis com diâmetro aerodinâmico médio de  $2,5\ \mu\text{m}$  “podem ultrapassar as defesas respiratórias e invadir o parênquima pulmonar, causando respostas inflamatórias ao organismo” (POZZA et al., 2008. p.2).

Aproximadamente 1% do  $PM_{10}$  e 80% do  $PM_{2.5}$  é respirável. Portanto, o segundo possui maior habilidade em penetrar nas regiões mais profundas do trato respiratório em comparação ao primeiro (EPA, 1996). A Figura 1 mostra a distribuição partículas com  $D_{ae}$  inferior a  $100 \mu m$ .

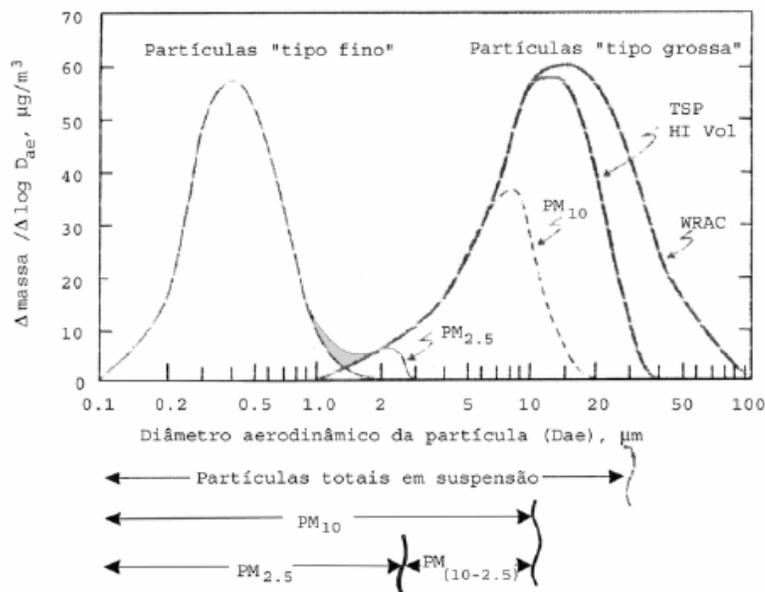


Figura 1 - Distribuição das partículas finas e suas frações  
 Fonte: Adaptado de Wilson and Suh (1996) apud EPA (1996, p.3-10)  
 NOTA: Hivol (*High volume*); WRAC (*Wide range aerosol classifier*)

As partículas finas são as mais importantes, pois causam efeitos adversos na saúde humana e alteram a visibilidade (DERISIO, 2007; ZANETTI, 1990; CANÇADO et al., 2006).

### ***Formação das partículas***

Assunção (1998) divide o material particulado em quatro classes:

- a) poeiras: são partículas sólidas, geralmente não esféricas, com diâmetros equivalente maior que  $1 \mu m$ , geralmente formadas por processos de desintegração mecânica, como as poeiras de cimento e amianto;
- b) fumos: são partículas sólidas de pequeno tamanho, geralmente de formato mais esférico do que as poeiras. Formadas pela resublimação de substâncias gasosas originadas da vaporização/sublimação de sólidos, como os fumos metálicos e de cloreto de amônia;
- c) fumaça: são partículas geralmente sólidas de diâmetro muito pequeno, formada pela queima de combustíveis fósseis, madeira e metais asfálticos. No caso da queima de madeira e carvão apresenta uma fração mineral, as cinzas, em geral contém fuligem e partículas líquidas;

- d) névoa: são partículas líquidas, em geral com diâmetro equivalente maior do que 5  $\mu\text{m}$ . São formadas pela condensação ou dispersão de um líquido.

### ***Composição química dos componentes dos aerossóis atmosféricos***

Os principais constituintes dos aerossóis atmosféricos são: os sulfatos, nitratos, compostos carbonáceos, água, íons de hidrogênio, íons amônio, cloreto de sódio, materiais biológicos e geológicos, e os metais (SALGADO, 2003; EPA, 1996).

### ***Metais pesados***

O termo “metais pesados”, apesar de comumente usado, não define bem seus constituintes, podendo ser substituído pelos seus sinônimos: metais traço, elementos traço, micronutrientes, microelementos, entre outros (DUARTE e PASCOAL, 2000).

Pequenas quantidades de metais pesados – Cobalto (Co), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Vanádio (V), Estrôncio (Sr) e Zinco (Zn), são utilizados pelo organismo dos seres vivos para realizar funções vitais. Entretanto, em altas concentrações podem ser altamente tóxicos (CAMPOS et al, 2009).

As principais fontes de metais traço no meio ambiente são: os fertilizantes e pesticidas agrícolas, a combustão de carvão e óleo, emissões veiculares, indústrias de fundição, além do refinamento e incineração de resíduos sólidos urbanos e industriais (EGREJA FILHO, 1993).

### ***Zinco***

As principais características do elemento zinco são: metal eletropositivo; em solução geralmente é encontrado na forma de  $\text{Zn}^{2+}$ ; quando em solução no solo sua atividade diminui 100 vezes para cada unidade de pH; em locais com pH básico aparece como  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  insolúvel; forma óxidos, hidróxidos, sulfetos, halogenetos e organometálicos (BREHM, 2004). Entre seus produtos, o composto óxido de zinco ( $\text{ZnO}$ ) é o mais utilizado, principalmente como micronutriente em fertilizantes agrícolas, agindo como regulador de crescimento e reprodução saudável das plantas. Por exemplo, nas colheitas de trigo, arroz e milho a deficiência de  $\text{ZnO}$  pode causar uma perda de 30% no rendimento de grãos. Outra importante aplicação é sua ação anti-corrosiva recobrando o aço ou ferro (metal galvanizado) (MINERA SANTA RITA, 2005).

O processo de zincagem é obtido através da imersão do metal em zinco fundido, a uma temperatura de 445 a 460°C. Desde modo, reagem e formam uma camada externa contendo apenas Zn e camadas internas intermetálicas (Figura 2). Em peças que requeiram maior proteção é realizada a metalização ou aplicação de tinta rica em zinco, teor de zinco maior que 90% (OLIVATO, 2000).

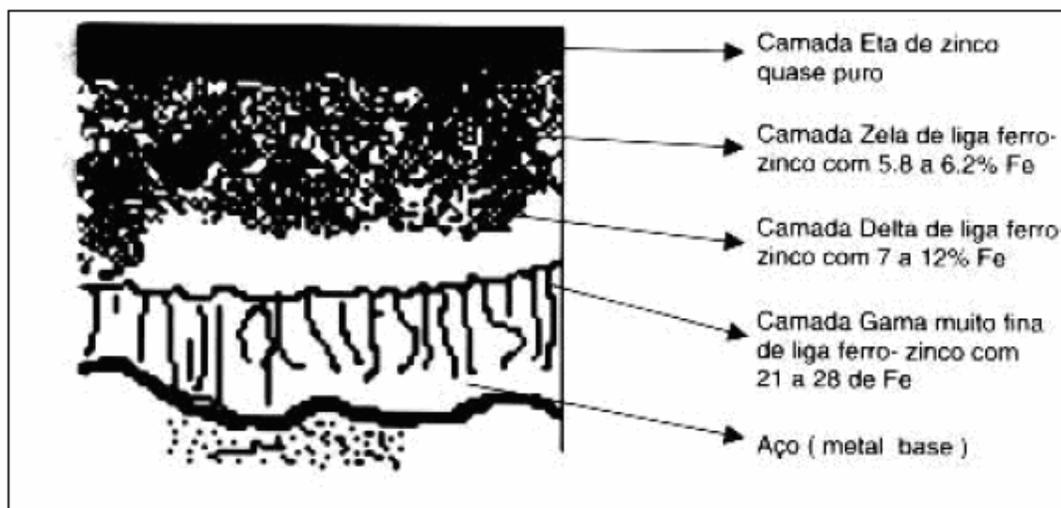


Figura 2 – Camadas que formam o revestimento na galvanização a fogo.  
 Fonte: Apostila da Sergal Galvanização (2002) apud (FALDINI e SILVA, 2004, p.7).

O óxido de zinco é um pó branco, inodoro cuja densidade aparente corresponde a 5,606. Causa explosão quando: aquecido com magnésio, pois este o reduz violentamente; e acima de 215 °C com misturas de borracha clorada (FLUKA CHEMICAL, 2002).

Os vapores de óxido de zinco podem irritar a região dita respiratória. O contato prolongado com o produto pode provocar uma dermatite severa chamada POX DERMATITE. A exposição em níveis altos de vapores ou fumos do produto causa gosto metálico na boca, pode causar sede, causa fadiga, tosse, fraqueza, dores musculares e náusea, seguidos de febre e arrepios. A exposição severa ao produto pode resultar em bronquite crônica ou pneumonia, com um ligeiro tom azulado na pele, principalmente nas pessoas claras (FLUKA CHEMICAL, 2002).

### 3.3. INDÚSTRIAS METALÚRGICAS – FUNDIÇÕES

As indústrias metalúrgicas podem ser divididas em Fundições e Produtos. As de Fundição podem ser primárias – àquelas que produzem o metal a partir do minério como as siderúrgicas; e secundárias – as que recuperam o metal de sucatas e refugos, e produzem ligas e lingotes. As de Produtos se referem às produções de peças forjadas, laminadas, trefiladas e extrudadas. A indústria automobilística (montadoras) é sua maior representante (DERISIO, 2007).

De acordo com a revista Modern Casting (2006) apud Associação Brasileira de Fundição – ABIFA (2006) o Brasil ocupa a 7ª posição mundial da produção de fundidos (ferro, aço, cobre, zinco, alumínio e magnésio), com receita anual média de 2,3 bilhões de dólares.

Segundo a Federação dos Estados de Santa Catarina – FIESC (2008) em 2006 havia 2.914 indústrias de metalurgia e produtos do metal instaladas no estado, gerando 42 mil postos de trabalho. O pólo industrial desse tipo de indústria está concentrado principalmente na região norte-nordeste do estado, onde está situada a maior fundição independente do continente latino-americano.

### *Classificação das indústrias de fundição*

As indústrias de fundição também podem ser classificadas de acordo com (EUROPEAN COMMISSION, 2004):

- a) a forma de trabalho: de mercado ou independentes, e cativas. As independentes trabalham sob encomenda e possuem vários clientes, geralmente empresas de pequeno a médio porte; as cativas produzem para consumo próprio, ou para um ou poucos clientes de grande porte;
- b) tipo de moldagem utilizada: em moldes permanentes ou perdidos. Os moldes permanentes são mais utilizados na fabricação de peças de alumínio e latão, que requerem melhor superfície de acabamento, fabricados em metal ou coquilha. Os moldes perdidos são, usualmente, utilizados em fundições de ferro e fabricados com areia; e
- c) tipo de metal: a principal divisão dentro do setor é baseada no tipo de metal fundido: em ferrosos (ferro e aço), e não-ferrosos (cobre, zinco, alumínio e magnésio).

### *Processos aplicados na Fundição*

Em síntese, o processo de fundição consiste no vazamento de ligas líquidas de metais ferrosos (ferro e aço) ou não-ferrosos (Cu, Zn, Al e Mg) em moldes, que reproduzem exatamente as dimensões da peça desejada, deixando-se solidificar por resfriamento (CARNIN, 2008; EUROPEAN COMMISSION, 2004; TORRE, 2004).

Em síntese, os processos aplicados na fundição de ferro, conforme fluxograma da Figura 3, e segundo Carnin (2008) são:

- a) **Modelos:** são moldes com as mesmas dimensões e conformações das peças que serão produzidas em série. Geralmente feitos de materiais resistentes como madeira, metal, resinas, etc. (TORRE, 2004).
- b) **Machos:** são peças de areia colocadas dentro dos moldes que reproduzem as cavidades e/ou detalhes de peças a serem fundidas (TORRE, 2004). O local dentro da fundição onde os machos são confeccionados é chamado de Macharia;
- c) **Moldes:** são obtidos através do empacotamento de areia, retirada de depósitos naturais, e aditivos como argila e o pó de carvão, em torno do modelo, dentro de uma caixa de moldagem. Quando o molde atinge rigidez suficiente, o modelo é retirado para ser usado na produção de outro molde. A função do molde é oferecer o formato negativo da peça que será vazado metal líquido (KONDIC, 1973 apud CARNIN, 2008; ADEGAS e BERNARDES, 2008).

- d) **Moldagem:** é o nome dado ao processo de produção do molde. Após a fabricação dos mesmos, remove-se o modelo, os machos são colocados em posição, fecham-se as diferentes partes do molde, e pela cavidade resultante é realizado o vazamento do metal (CARNIN, 2008).
- e) **Fusão:** é a passagem do metal do estado sólido para o líquido, quando colocado em fornos a altas temperaturas, por exemplo, 1600 °C. Nesta etapa ocorrem também o refino ou tratamento do metal, com o intuito de acertar sua composição química de acordo com a aplicação do produto final, bem como a remoção de gases e partículas (ALBA apud OLIVEIRA, 1998). A fusão consome cerca de 40 – 60 % de energia de uma fundição (EUROPEAN COMMISSION, 2004).
- f) **Vazamento:** é o processo onde o metal líquido é vazado no molde, resfriado e removido do molde (EUROPEAN COMMISSION, 2004);
- g) **Acabamento:** o processo de acabamento envolve os sub-processos de: jateamento, para limpeza bruta; escovação e esmerilhação, remoção de rebarbas (restos de metais); quebra de canais e massalotes, sucatas metálicas que não fazem parte da peça; e jateamento com granalha de aço, para realizar a limpeza refinada da peça (ALBA apud OLIVEIRA, 1998).

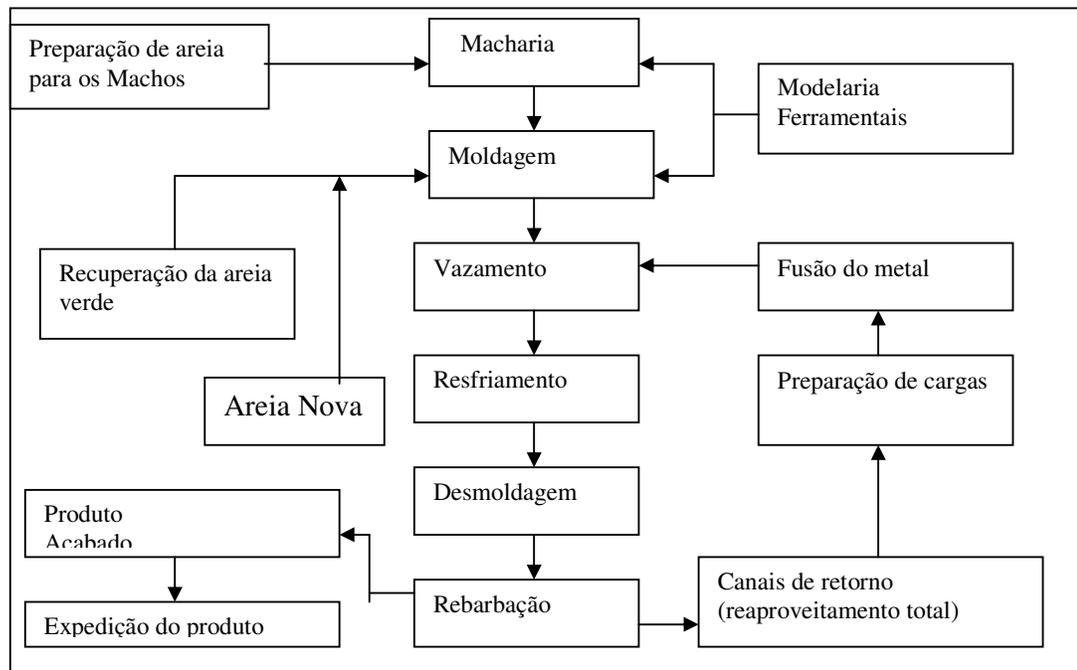


Figura 3 – Fluxograma do processo de fundição ferrosa.

Fonte: Adaptado de ADEGAS e BERNARDES (2008, p.7)

NOTA: Areia verde se refere a areia aglomerada com argila, e o termo “moldagem com areia verde” é usado quando os moldes não sofrem secagem antes do vazamento (CARNIN, 2008, p. 4).

### 3.3.1. POLUENTES ATMOSFÉRICOS GERADOS PELA INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO

A maioria dos impactos ambientais negativos da indústria de fundição está relacionada com a presença de um processo térmico e a utilização de aditivos minerais. Os efeitos estão relacionados principalmente com a emissão de gases, material particulado e destinação de resíduos sólidos gerados, como a areia de moldagem. As emissões são as principais preocupações ambientais (EUROPEAN COMMISSION, 2004).

O processo de fundição gera material particulado de origem mineral, compostos acidificantes, produtos da combustão incompleta e carbonos orgânicos voláteis COV. O material particulado é um dos principais problemas relacionado à poluição atmosférica, pois é gerado em todas as etapas do processo em diferentes tipos e composições: é emitido na fusão de metal, na moldagem, no vazamento e acabamento das peças. Qualquer poeira gerada pode conter metais, óxidos de minerais e óxidos metálicos, como o óxido de zinco (EUROPEAN COMMISSION, 2004).

No processo de fusão as sucatas de aço são refundidas em produtos novos. O forno elétrico atinge altas temperaturas e muitos componentes (como o ferro, zinco e chumbo) são volatilizados. Quando esse vapor é resfriado gera grande quantidade de pó (VIGANO et al, 2004). Este resíduo sólido industrial é chamado de pó de exaustão dos fornos, pó de óxido de zinco, pó de zinco ou pó de aciaria - quando produzido em indústrias siderúrgicas de produção de aço, na região da aciaria.

Vandergrift et al. apud Galvão Filho (2008) caracteriza as emissões (não fugitivas) das fundições de ferro em: material particulado e gases. Na fusão o diâmetro aerodinâmico do MP é abaixo de 2  $\mu\text{m}$ , com densidade de 2,0 a 5,0  $\text{g/cm}^3$ .

A Tabela 1 apresenta os fatores de emissão para fornos que produzem ferro fundido.

Tabela 1 – Fatores de emissão para fornos que produzem ferro fundido

Tipo de Forno	Material Particulado (Kg por tonelada de material carregado)
Cubilô	7,8
Revérbero	0,9
Elétrico de Indução	0,9

Fonte: DERISIO (2007, p.115).

### 3.4. MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DE METAIS E NÃO-METAIS NO AR

Existem diversos métodos analíticos utilizados para a determinação de metais e não-metais no ar (Tabela 2). Entretanto, é necessário um tratamento prévio da mesma para que os analitos sejam determinados, por exemplo, pela técnica instrumental Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado – ICP-MS.

Tabela 2 – Métodos instrumentais comuns e passos para a preparação de amostras antes da análise.

Analitos	Preparação da Amostra	Instrumento
Orgânicos	Extração, concentração, limpeza, derivação	GC, HPLC, GC/MS, LC-MS
Orgânicos Voláteis (COV)	Transferência da fase de vapor, concentração	GC, GC-MS
Metais	Extração, especiação, concentração	AA, GFAA, ICP, ICP-MS
Metais	Extração, derivação, concentração, especiação	UV-VIS espectrometria de absorção molecular, cromatografia iônica
Íons	Extração, concentração, derivação	IC, UV-VIS
DNA/RNA	Lise celular, extração, PCR	GC, HPLC, electroforese
Aminoácidos, gorduras	Decapagem, polimento, técnicas de reatividade iônica, bombardeamento de íons, etc.	Microscopia, espectroscopia de superfície

Fonte: Adaptado de MITRA (2003, p. 4).

NOTAS: CG, cromatografia gasosa; HPLC, cromatografia líquida de alta performance; MS, espectrometria de massa; AA, absorção atômica; GFAA, absorção atômica com forno de grafite; ICP, plasma indutivamente acoplado; UV-VIS, espectroscopia de absorção molecular com luz ultravioleta; IC, cromatografia iônica.

### 3.4.1. RADIAÇÃO MICROONDAS PARA O PREPARO DE AMOSTRAS

Microondas é uma energia de radiação eletromagnética não-ionizante que movimentam espécies em solução devido à migração de íons e/ou rotações de dipolo, provocado pelo elevado número de vezes em que o campo magnético é alterado. O aquecimento ocorre através da interação entre as microondas e as moléculas da amostra. Logo, para que haja aquecimento é necessária a presença de moléculas polares e de íons na solução. Portanto, a polaridade é um aspecto fundamental no aquecimento por microondas. Por exemplo, no aquecimento de 100 mL de água a temperatura vai a 70 °C em 80 segundos, porém aquecendo a mesma quantidade de tetracloreto de carbono (CCl<sub>4</sub>) por 140 segundos há um aumento de apenas 2 °C, ambos com potência de 700 W. A microonda compreende a faixa do espectro magnético com comprimento de onda entre 0,1 a 100 cm. A energia típica irradiada é de 600 a 700 W, com frequências variando entre de 300 a 300.00 MHz. A frequência mais utilizada no campo industrial e científico é 2450 ± 13 MHz (KINGSTON, 1988 apud ARRUDA e SANTELLI, 1997).

As principais vantagens do uso da radiação microondas são: reduz o tempo de preparo das amostras; contribui para a redução do branco analítico; utiliza menores volumes de reagentes ácidos, reduz perdas de compostos voláteis, em fornos com cavidade em frascos selados; e maior segurança do operador (KRUG, 2000). Dentro do procedimento analítico, o preparo de amostras é a etapa mais crítica. Geralmente é quando se gasta mais tempo, cerca de 70 a 95% do tempo de todo processo, e ocorre maior número de erros. Além disso, é a etapa que apresenta maior custo (ARRUDA e SANTELLI, 1997).

De forma simplificada, os fornos com cavidades podem ser caracterizados como equipamentos no qual a radiação microondas é espalhada em uma cavidade que contém um rotor com frascos reacionais. Existem rotores com capacidade para 6, 10, 12 e 36 frascos reacionais (GAIA, 2007).

### 3.4.2. ESPECTROMETRIA DE MASSA COM PLASMA INDUTIVAMENTE ACOPLADO

Segundo Kastenmayer (1997) há uma ampla variedade de métodos analíticos para análise de minerais e elementos-traço. Os métodos frequentemente utilizados são: Espectrofotometria; Fluorometria; Espectrometria de Absorção Atômica (AAS); Espectrometria de Absorção Atômica de Chamas (FAAS); Espectrometria de Absorção Atômica por Geração de Hidretos (HGAAS); Espectrometria de Absorção Atômica em Forno de Grafite (GFAAS); Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-AES); Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado<sup>4</sup> (ICP-MS). Ainda segundo o autor, apesar da Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry, ICP-MS*) ser uma técnica relativamente nova, se comparada com as demais citadas acima. Ela já se firmou como uma das técnicas mais úteis e versáteis para a determinação de elementos traço. O desenvolvimento da primeira ICP-MS foi ocasionado pela combinação da capacidade multielementar e amplo campo de trabalho linear da ICP-AES com o limite de detecção excepcionalmente baixo das GFAAS.

No ICP-MS ocorrem à combinação de uma fonte de plasma a alta temperatura e pressão atmosférica, com o espectrômetro de massa. O plasma é acoplado para fazer que o ar seja exposto a uma descarga elétrica que cria elétrons e íons. Sob a influência de um campo magnético de alta frequência, as partículas carregadas esquentam o argônio até que o plasma alcance temperatura de 5700 – 8300 °C. Desta forma, os compostos do analito no aerossol são dissociados eficientemente, levando a uma vaporização quase completa do analito, alta eficiência de atomização e a formação de íons com uma carga positiva. A forma mais comum de introduzir a amostra é por injeção direta de soluções utilizando um nebulizador pneumático e uma câmara *spray* (Figura 4) (KASTENMAYER, 1997).

Segundo Shibata e Morita (1989) o método de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP) está entre as técnicas mais eficientes para a análise de elementos em amostras líquidas. Devido à facilidade de engate do plasma com técnicas modernas de cromatografia líquida, como Espectrometria de Absorção Atômica (ICP-AES) e Espectrometria de Massa (ICP-MS). Entretanto, alguns problemas são inertes a essa técnica, tais como interferências de íons moleculares e deterioração da sensibilidade através do depósito de materiais não-voláteis dentro do sistema. A Figura 5 apresenta o esquema de um plasma acoplado indutivamente.

---

<sup>4</sup> Este trabalho de conclusão de curso irá se ater ao método ICP-MS devido ao foco da pesquisa, para maiores informações sobre os demais citados consultar as referências.

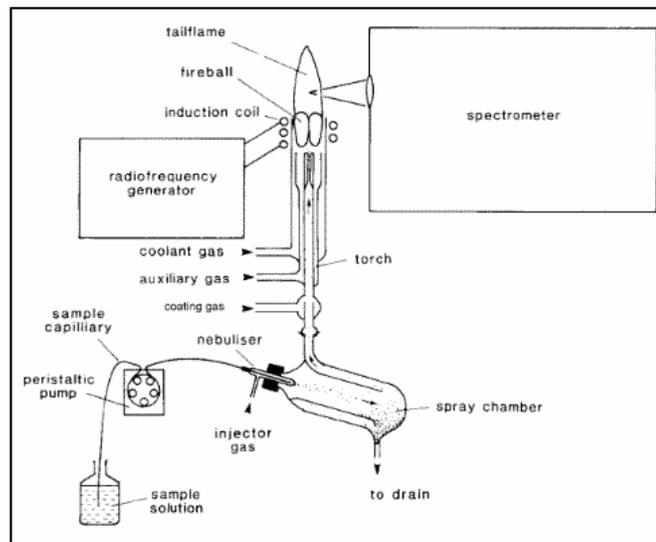


Figura 4 - Nebulizador típico para a injeção de amostras em uma fonte de plasma  
 Fonte: MANNING e GROW, 1997, p.9.

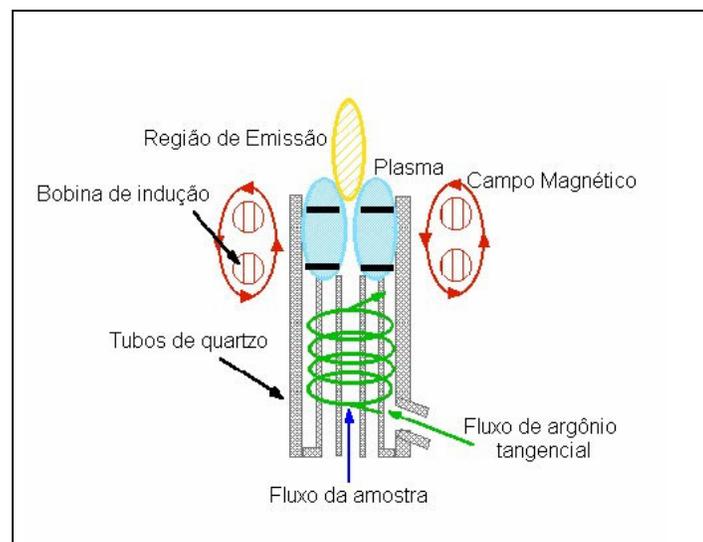


Figura 5 – Plasma Acoplado Indutivamente.  
 Fonte: MANNING e GROW, 1997, p.8.

### 3.5. FORMAS DE AMOSTRAGEM

Segundo Cruz e Campos (2008) os métodos de amostragem para componentes do ar podem ser divididos em três principais grupos: amostragem passiva; ativa contínua e descontínua; e sensoriamento remoto.

Na amostragem ativa, o ar é succionado dentro de um amostrador auxiliado por uma bomba a vácuo, utilizando-se dispositivos medidores de fluxo de ar, para que o volume ou a taxa de amostragem sejam estabelecidos. Apesar da amostragem passiva não utilizar nenhum tipo bomba e conseqüentemente não necessitar de energia, é a amostragem ativa a mais utilizada atualmente. Pode ocorrer de forma contínua ou descontínua (CRUZ e CAMPOS, 2008).

Na amostragem ativa contínua ocorre à presença de um instrumento ou monitor instalado no local de amostragem, responsável pela coleta e análise dos resultados. As principais vantagens desse método são: medir as variações das concentrações de um poluente num período curto de tempo; monitoramento da qualidade do ar; dados para modelagem da dispersão dos poluentes, etc. Entretanto, essa técnica requer altos investimentos e tempo para sua implantação. Por esse motivo é menos utilizada do que a amostragem ativa descontínua (CRUZ e CAMPOS, 2008).

Na amostragem ativa descontínua as amostras são coletadas e encaminhadas para posterior análise em laboratório. Os resultados representam uma integração da atmosfera do local da coleta num determinado intervalo de tempo. Apesar da desvantagem de necessitar de um laboratório, esse método apresenta baixo custo e facilidade de execução. As amostras podem ser pré-concentradas (amostragens integradas em um tempo determinado) ou não (amostragens instantâneas). No primeiro caso o ar passa por um meio sorvente ou por um sistema criogênico. No segundo caso a coleta ocorre num intervalo reduzido de tempo, com auxílio de recipientes evacuados como: ampolas de vidro, botijões de aço inoxidável ou alumínio, bolsas plásticas, etc. As amostras também podem ser absorvidas em soluções ou filtros impregnados, ou adsorvidas em sólidos (por exemplo, filtros porosos) ou metais. Qualquer processo de pré-concentração durante a amostragem deve ser quantitativo para que posteriormente seja analiticamente útil (CRUZ e CAMPOS, 2008).

### 3.6. LEGISLAÇÃO

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária ANVISA através da Resolução nº 9, de 16 de Janeiro de 2003, em seu artigo 3º, item b, estabelece que: um ambiente interno é aceitável, em relação à qualidade do ar, quando está livre de contaminantes em concentrações que possam causar perigo ou desconforto a saúde dos ocupantes. Esta resolução trás orientações técnicas sobre “Padrões Referenciais da Qualidade do Ar de Interiores em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo” e define os parâmetros mínimos para uma boa qualidade do ar de interiores.

Os parâmetros de qualidade do ar interior relativo às atividades industriais são apresentados pelas regulamentações de saúde ocupacional, sob responsabilidade do Ministério do Trabalho, através do Decreto-Lei 5.452 de 1943, estabelecidas na Lei 6514 de 22/12/1977.

A Norma Regulamentadora NR-15 do Ministério do Trabalho estabelece as atividades e operações insalubres e define os limites de exposição no ar interno industrial para alguns agentes químicos, poeiras minerais, manganês e seus compostos, e sílica livre cristalizada.

O Ministério do Trabalho baseia suas regulamentações nos valores de limite de tolerância publicados pela American Conference of Governmental Industrial Hygienists ACGIH (EUA). A diferença é que os limites de exposição são em  $\text{mg}/\text{m}^3$  baseados em 48h/semana no Brasil e 40h/semana nos Estados Unidos (GIODA e DE AQUINO NETO, 2003).

Os parâmetros em ambientes internos industriais que não estão definidos pela NR-15 seguem outros padrões nacionais ambientais, como o Conselho nacional do Meio Ambiente CONAMA na Resolução nº 03 de 28 de junho de 1990, que dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Os parâmetros internacionais de saúde ocupacional são utilizados apenas com fins comparativos (GIODA e DE AQUINO NETO, 2003).

A Norma Regulamentadora NR nº 14 do Ministério do Trabalho, estabelece as recomendações técnico-legais pertinentes à construção, operação e manutenção de fornos industriais nos ambientes de trabalho, e em seu item 14.3.1 recomenda que os fornos sejam dotados de chaminé dimensionada suficientemente para permitir a livre saída dos gases queimados.

## ***4. MATERIAIS E MÉTODOS***

Neste capítulo é descrito o cenário e as metodologias adotadas para a coleta e análise das amostras para a realização desse trabalho de conclusão de curso, a partir dos dados teóricos levantados, conforme consta no capítulo 3.

### **4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

O local de estudo foi a indústria Schulz S.A do ramo Automotivo (fundição e usinagem de produtos ferrosos) e de Compressores, localizada em Joinville, SC. A Figura 6 apresenta o layout atual da empresa com destaque para a área dos fornos.

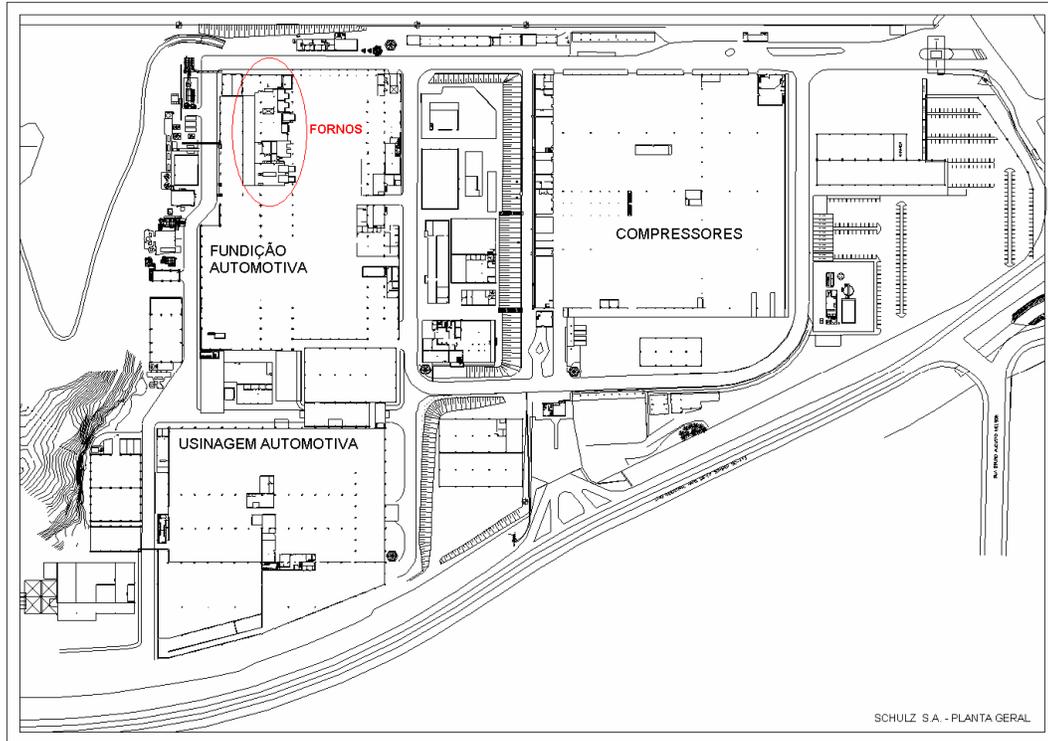


Figura 6 – Layout da empresa, com destaque para a área em estudo (fornos da fundição).

O processo desta fundição engloba os seguintes sub-processos: preparação de areia de moldagem, macharia, fusão, modelação, moldagem, vazamento, desmoldagem e o acabamento das peças produzidas. Na Figura 7 o fluxograma do processo é mostrado.

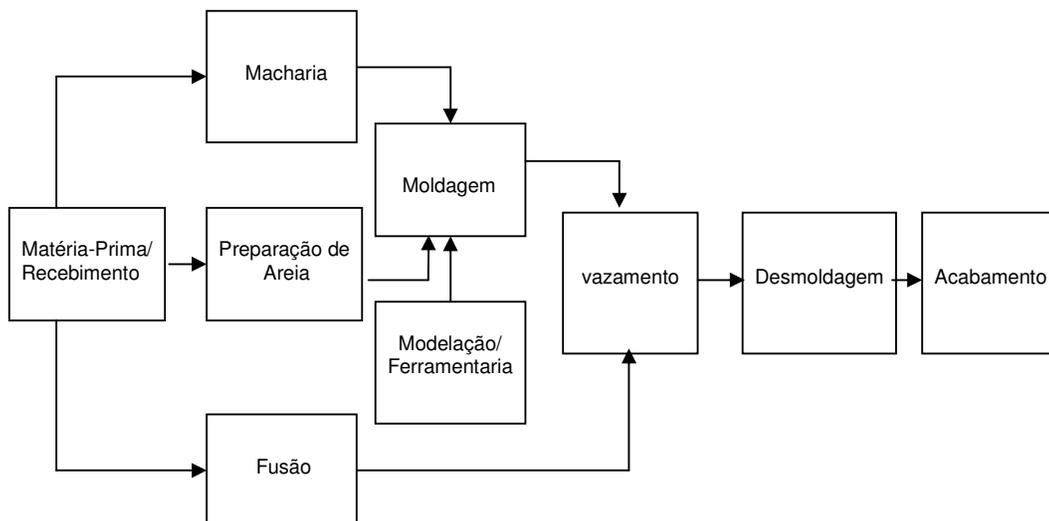


Figura 7 – Fluxograma do processo de fundição da Schulz S.A.

Recentemente essa indústria assinou um Termo de Ajuste de Conduta (TAC) junto à Fundação do Meio Ambiente do estado de Santa Catarina (FATMA) comprometendo-se a reduzir as emissões fugitivas provenientes da fundição.

O problema ocorre porque o material particulado e fumos metálicos, inevitavelmente, provenientes do processo de fusão não são totalmente capturados pelo sistema de exaustão atual existente na tampa de cada forno (Figura 8), porque quando os mesmos ficam abertos (Figura 9) o sistema se torna pouco eficiente, comprometendo a qualidade do ar.



Figura 8 – Forno com a tampa fechada.



Figura 9 – Forno com a tampa aberta.

As exaustões existentes na tampa de cada forno estão ligadas a um único sistema, que ao final é conectado ao sistema de Filtro de Mangas da marca Kuttener, conforme consta na Figura 10.

O pó de exaustão dos fornos retido no Filtro de Mangas é recolhido em *bags*, de 300 a 350 kg e vendido a indústrias de beneficiamento do zinco. Em 2008 a geração desse resíduo foi de 312,956 ton.



Figura 10 – Filtro de Mangas da exaustão dos fornos.

#### 4.1.1. FORNOS FUSORES

A fundição é composta por oito fornos fusores à indução e um para armazenamento (Holding), conforme Anexo 1.

O aquecimento por indução é aquele em que um objeto eletricamente condutor é mergulhado num campo magnético variável. O objeto que está sendo aquecido não precisa ser um material magnético para aquecer eficientemente. A maior parte dos metais ferrosos e não ferrosos podem ser aquecidos e fundidos indutivamente. O aquecimento e aquecimento por indução só são possíveis com materiais condutores de eletricidade. As correntes parasitas induzidas na peça ou carga são responsáveis pelo aquecimento inicial (INDUCTOTERM, [2004]).

Cada par de fornos possui um par de cadinhos usados para realizar a transferência de ferro fundido nos fornos até a área de vazamento. Ao processo de retirada do ferro fundido dos fornos e preenchimento dos cadinhos dá-se o nome de basculamento.

A Tabela 3 apresenta algumas características dos fornos obtidas através de pesquisa ao arquivo físico do Departamento de Manutenção Automotiva.

Tabela 3 – Características técnicas dos fornos fusores

Forno	Cadinho		Descrição	Modelo	Capacidade (ton)
	Identificação	Capacidade			
1 e 2	3 e 4	8 ton cada	Forno fusor a indução	ABB – ITM8000	4
3 e 4	5 e 6	8 ton cada	Forno fusor a indução	ABB - ITM5000	2
5 e 6	7 e 8	8 ton cada	Forno fusor a indução	INDUCTO - SS8TON	8
7	9 e 10	8 ton cada	Forno Holding a indução	INDUCTO - MH30TON	30
8 e 9	11 e 12	8 ton cada	Forno fusor a indução	JUNKER - MFT GE1200	12

### *Procedimento Operacional*

Inicialmente, os fornos são carregados em batelada com ferro gusa e sucata de aço, a qual contém zinco (matérias-primas). Além disso, são utilizados aditivos e ligas específicas dependendo do tipo de produto desejado (ferro nodular ou ferro cinzento), tais como: carburante, minérios de ferro-manganês (Fe-Mn), ferro-silício (Fe-Si) e pedra calcária. A temperatura de fusão fica entre 1400 a 1600 °C.

Após estudo realizado em parceria com o Departamento de Métodos e Tempos da Fundição (Anexo 2), foi constatado que os fornos permanecem abertos durante cada batelada para a realização de certas atividades, a saber: carregamento de matéria-prima; remoção de escórias; retirada de amostras, para análises físico-químicas; medição da temperatura; e correções, adição de ligas especiais.

## **4.2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

Foram amostrados os fornos 1, 3, 5, 7, 9. Em cada um realizaram-se três coletas de material particulado total, com mesma vazão, duração e posição, porém em tempos diferentes. A Tabela 4 apresenta os parâmetros físicos de coleta.

As amostragens foram realizadas com os fornos funcionando, bem como os sistemas de exaustão / Filtro de Mangas em regime normal. A característica do fluxo era vertical, levemente deslocado.

### **4.2.1. PREPARAÇÃO E PESAGEM DOS FILTROS**

As unidades de filtração foram preparadas e montadas segundo a MB-3422/91 - Agentes Químicos – Coleta de Aerodispersóides por filtração, da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT, no Laboratório Integrado de Meio Ambiente

(LIMA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Foram selecionados 16 filtros de fibra de vidro, com 7  $\mu\text{m}$  de porosidade e 47 mm de diâmetro da marca Carvalhaes, sendo 15 para as coletas nos fornos (3 em cada forno selecionado) e 1 para ser o branco das análises.

Os filtros foram retirados cuidadosamente da embalagem original com auxílio de uma pinça metálica e luvas cirúrgicas, e cortados para um diâmetro de 37 mm, a fim de se adequar ao diâmetro de 37 mm do porta-filtro (cassete), da marca Environmental Express (Figura 11). Esses materiais foram cedidos pelo Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.



Figura 11 – porta-filtro (cassete)

Em seguida, todos os filtros foram dessecados em estufa a 100°C (Figura 12) durante 20 min, dentro de placas de *petri* de vidro e sem tampa. Depois, acondicionados em um dessecador (Figura 13) por um período de 24 horas - 16:00horas do dia 31/10/2008 (sexta-feira) às 16:00horas do dia 01/11/08 (sábado), visando a aclimatização dos mesmos com as condições ambientais do local de pesagem, no caso, a sala onde fica a balança analítica, isolada e independente, dentro do LIMA.



Figura 12 – Filtros sendo colocados em estufa a 100°C no LIMA.



Figura 13 – Filtros acondicionados em dessecador, sendo encaminhados à sala de pesagem.

A temperatura da sala durante a pesagem foi de 23 °C com umidade de 74% , medidos no console da estação meteorológica marca Davis modelo Vantage Pro2 também cedido pelo LCQAr.

A NHO 03/2001 – Análise gravimétrica de aerodispersóides sólidos coletados sobre filtros de membrana, do Ministério do Trabalho e Emprego (FUNDACENTRO), recomenda que a temperatura ideal da sala de medição fique na faixa de 20 – 25°C. Em relação à umidade, recomenda-se que seja fixada segundo as características da região onde se localiza o laboratório, não variando mais de 10% entre a mínima e a máxima observadas durante o ano.

Cada filtro foi pesado em balança analítica, limpa a cada nova pesagem, com precisão de 0,1 mg da marca Shimadzu modelo AY 220 (Figura 14). Os valores encontrados constam na Tabela 8.



Figura 14 – Pesagem dos filtros em balança analítica.

#### 4.2.2. MONTAGEM DAS UNIDADES DE FILTRAÇÃO

Cada filtro selecionado e pré-pesado foi inserido em seu respectivo porta-filtro, já codificado. Houve cuidado para que o filtro cobrisse todo o diâmetro do porta-filtro (Figura 15), para garantir a eficiência da coleta. O lado mais poroso do filtro ficou voltado para o lado onde é feita a captação do contaminante, conforme item 5.1.2 da MB-3422/91. Em seguida, a lateral de cada porta-filtro foi vedada com fita tipo teflon da marca Tigre, a fim de evitar qualquer tipo de contaminação.

Para facilitar a identificação, os lados de entrada e saída de ar do porta-filtro são compostos de 2 *plugs* coloridos: azul representa a entrada, e vermelho a saída de ar. Além disso, constam as inscrições *inlet* (entrada) e *outlet* (saída) gravadas nas duas peças que o compõe.



Figura 15 – Filtro inserido no porta-filtro recobrimdo toda a superfície.

#### 4.2.3. AMOSTRAGEM

A coleta foi realizada no dia 03/11/2008 (segunda-feira), no local onde estão situados os fornos, dentro da fundição.

Neste trabalho foi adotado o método de amostragem de ar do tipo ativa e descontínua, com pré-concentração da amostra, e retenção de partículas totais em suspensão em filtros de fibra de lã de vidro. Também foram seguidas às orientações da MB-3422/1991.

Foram utilizados os seguintes equipamentos: rotâmetro (Figura 16a), para calibrar a vazão de sucção da bomba; console de uma estação meteorológica da marca Davis modelo Vantage Pro2 (Figura 16b), para medir pressão atmosférica, temperatura e umidade; bomba diafragma de vácuo/pressão (Figura 16c); cronômetro da marca Technos modelo YP2151/8P; mangueiras flexíveis de poliuretano; haste de

alumínio com 3 m de comprimento; extensão elétrica de 30 m; transformador de voltagem 110/220V da marca Ragtech modelo Sd 1000Va MONO; e Equipamentos de Proteção Individual (EPI): luvas; óculos de plástico; guarda-pó com mangas compridas; sapato reforçado (sapatão); protetor auricular; e capacete, cedidos pela própria empresa.

O local de coleta foi definido como sendo acima do ponto onde está instalado o sistema de exaustão, a pouco mais de 3m do chão (a haste de alumínio de 3m foi utilizada para dar rigidez à mangueira), nesta altura o sistema de exaustão é totalmente ineficaz. Deste modo foi amostrado apenas o material particulado total fugitivo.



Figura 16 – (a), Rotâmetro; (b) console de uma estação meteorológica; (c) bomba a vácuo/pressão.

O esquema de montagem dos equipamentos seguiu a seguinte configuração: o orifício de saída do ar da unidade de filtração foi ligado orifício de entrada de ar do rotâmetro, através de uma mangueira. O orifício de saída de ar do rotâmetro foi ligado ao orifício de entrada de ar da bomba, também com auxílio de uma mangueira (Figura 17a).

O tempo individual de coleta foi de 10 min. A vazão no rotâmetro foi ajustada para 250 L/h. Durante as amostragens o rotâmetro permaneceu em nível, com auxílio de pesos, para que o ajuste de vazão não sofresse alteração (Figura 17b).

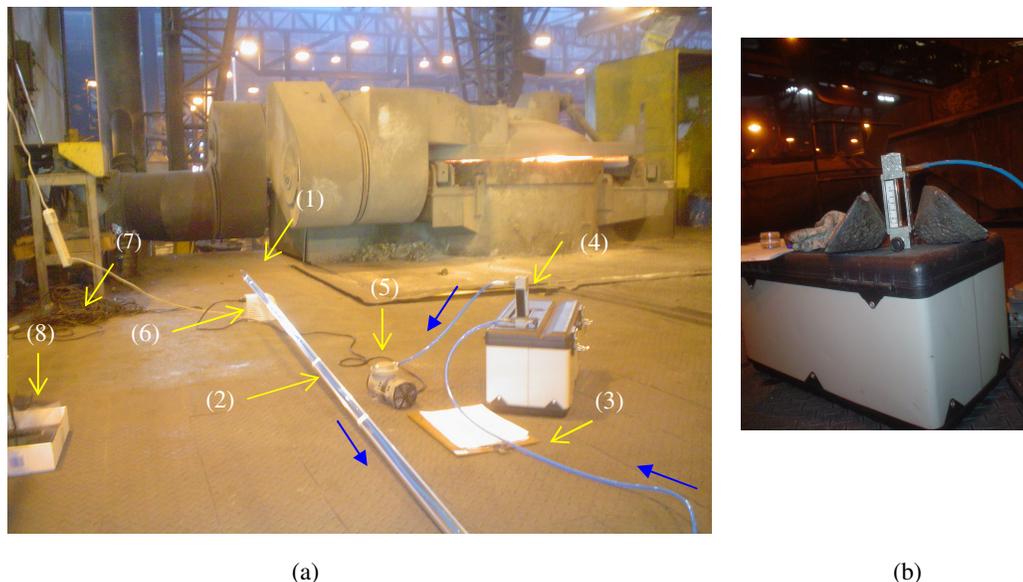


Figura 17 – (a) Configuração dos equipamentos para coleta de PTS em um dos fornos; (b) rotâmetro apoiado por pesos de metal.

NOTA: (1) porta-filtro; (2) mangueira no suporte de alumínio; (3) mangueira; (4) rotâmetro; (5) bomba diafragma; (6) transformador de voltagem; (7) extensão elétrica; (8) console para medir pressão atmosférica, temperatura e umidade. → Sentido do fluxo de ar.

Quando da abertura dos fornos o orifício de entrada de ar, localizado na parte superior do porta-filtro, foi retirado e a bomba ligada simultaneamente à cronometragem do tempo de coleta. Durante a coleta foram efetuadas anotações da temperatura ambiente e pressão atmosférica.

Finalizada a amostragem a bomba foi desligada e o horário de término anotado. O cassete desconectado da mangueira e acondicionado dentro de um recipiente em posição vertical para evitar deslocamento, e conseqüentemente, perda de material coletado. Também foi verificado se a vazão final do rotâmetro estava de acordo com o calibrado, pois caso contrário à amostra deveria ser descartada (item 5.4.1.6 da MB 3422/1991). O filtro branco acompanhou o lote de filtros amostrados a fim de passar pelas mesmas condições ambientais, porém permaneceu fechado dentro do cassete.

Todas as amostras seguiram essa metodologia proposta pela MB 3422/1991. A Figura 18 mostra o momento de uma das coletas realizada no Forno 5.



Figura 18 – coleta de material particulado total sobre filtros de membrana.

#### 4.2.4. PESAGEM FINAL DAS UNIDADES DE FILTRAÇÃO

Como a coleta foi realizada no dia 03/11/2008 (segunda-feira) as pesagens foram feitas no dia seguinte em 04/11/2008 (terça-feira).

A pesagem final das unidades de filtração teve como base a MB 3422/1991 e NHO 03/2001.

Os filtros foram pesados no LIMA, após serem dessecados novamente (20 minutos em estufa a 100°C) para não haver interferência da umidade também na segunda pesagem. A temperatura e umidade da sala foram monitoradas, conforme a primeira pesagem. A Figura 19 mostra um filtro com material particulado total retido.



Figura 19 – Material particulado total retido em um dos filtros.

A coloração branca, do material particulado total retido no filtro, era esperada, pois a principal matéria-prima é a sucata de aço zincada, que ao fundir emite óxido de zinco, um pó branco. Os valores anotados durante a coleta e as massas obtidas após a segunda pesagem ( $m_f$ ) estão apresentados na Tabela 10.

Na seqüência as amostras foram guardadas individualmente em placas de *petri*, cedidas pelo LIMA, lacradas com fita adesiva crepe, e encaminhadas para as próximas análises de ICP-MS.

### 4.3. ANÁLISE GRAVIMÉTRICA

A técnica de gravimetria consiste em calcular a razão entre as massas do filtro, pesados antes e depois da coleta, e o volume de ar amostrado (Equação 2). Este volume representa a vazão volumétrica de amostragem multiplicada pelo tempo de coleta (MB 3422/1991).

$$PM_x = \frac{M_f - M_i}{V} \left[ \frac{mg}{m^3} \right] \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

- $PM_x$  é a concentração de material particulado na amostra x, em  $mg/m^3$ ;
- $M_i$  é a massa inicial do filtro, em mg;
- $M_f$  é a massa final do filtro após a coleta em mg;
- V é o volume de ar coletado, em  $m^3$ .

Conhecidos o tempo de coleta e vazão, o volume de ar coletado é calculado pela Equação 3 abaixo:

$$V(m^3) = Vazão(L/min) * tempo(min) * 10^{-3} \quad (\text{Equação 3})$$

### 4.4. AVALIAÇÃO DOS METAIS TRAÇO

A técnica utilizada para a avaliação de metais traço presente nas amostras (analisadas no todo) e quantificação do zinco (analisado em cada amostra selecionada) foi a Espectrometria de Massa com fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS), com introdução da amostra por nebulização pneumática.

Foram selecionadas 5 amostras: Filtro 1, Filtro 3a, Filtro 5a, Filtro 7a, e Filtro 9a, uma de cada forno. Não foram analisadas todas as amostras porque a técnica de ICP-MS é cara.

Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Espectrometria Atômica e Massa no Departamento de Química da UFSC. Como este laboratório estava ocupado, por ocasião de um curso, os filtros ficaram acondicionados em dessecadores até o dia 06/12/2008. Resumindo: a coleta foi realizada dia 03/11/2008, a segunda pesagem dia 04/11/2008 e as análises analíticas dia 06/12/2008, porque os equipamentos estavam ocupados nos dias anteriores.

#### 4.4.1. ANÁLISES SEMI-QUANTITATIVA E QUANTITATIVA

As amostras foram digeridas em vasos reacionais de teflon (Figuras 20b e 20c) utilizando o método de ataque tri-ácido: com a adição de 2 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) bi-destilado, 1 mL de peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e 1 mL de ácido fluorídrico (HF). Assistidos de forno de microondas da marca Milestone modelo Ethos Plus (Figura 20a).

Seguiu-se o seguinte programa de aquecimento: Programa 1: etapa1: 0 – 85 °C por 2 minutos; etapa 2: 85 – 145 °C por 5 minutos; etapa 3: 145 a 210 °C por 5 minutos e etapa 4: 210 °C por 10 minutos.

Finalizada a quarta etapa de aquecimento, esperou-se os volumes dos frascos reacionais esfriarem, para, então, serem transferidos para frascos de 50 mL. Após isto, foi realizada uma diluição das amostras em 10 vezes, sendo que o volume final de cada uma ficou em 50 mL. Em seguida, foi realizada a determinação do analito Zinco – Zn.

O filtro testemunho também foi digerido como os demais. Entretanto, quando da quantificação foi subtraído da amostra, ou seja, no resultado final já foi diminuído o valor do branco. Por exemplo, se existisse uma concentração muito grande de zinco no filtro branco não seria encontrado valores tão altos nos resultados para o zinco.

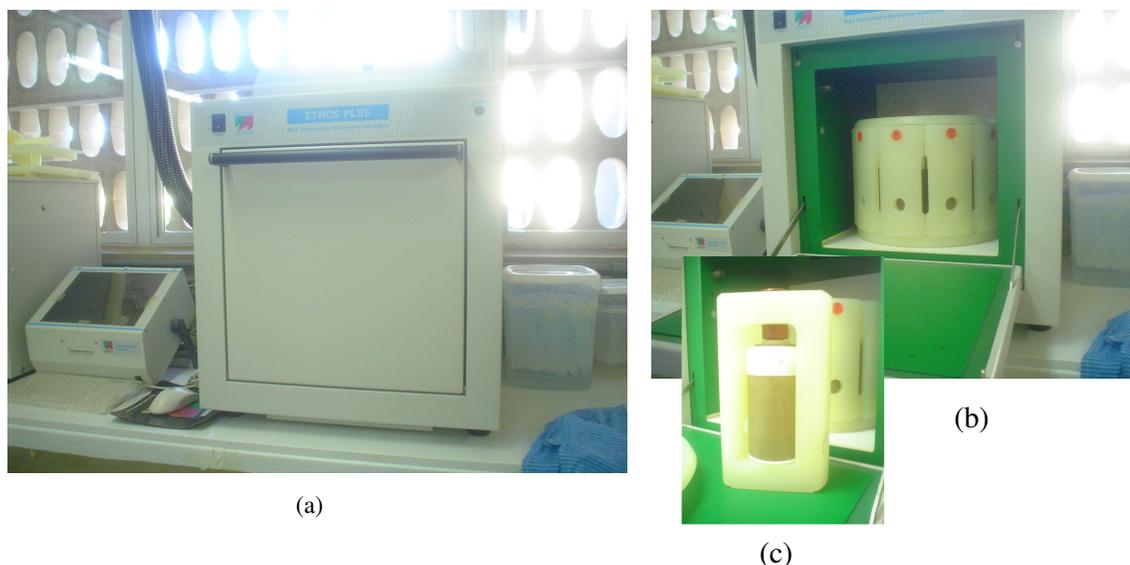


Figura 20 – (a) Forno microondas Ethos Plus; (b) e (c) vasos reacionais de teflon.

A metodologia utilizada é a recomendada pelo manual do microondas para a determinação dos metais: Prata (Ag), Arsênio (As), Bário (Ba), Berílio (Be), Cálcio (Ca), Cádmi (Cd), Cério (Ce), Cobalto (Co), Crômio (Cr), Césio (Cs), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Gálio (Ga), Potássio (K), Lítio (Li), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Molibidênio (Mo), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Rubídio (Rb), Selênio (Se), Antimônio (Sb), Estrôncio (Sr), Titânio (Ti), Tálcio (Tl), Vanádio (V) e Zinco (Zn).

O equipamento utilizado foi o Espectrômetro de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) modelo Elan 6000, marca Perkin Elmer SCIEX (Figura 21), localizado no laboratório de Espectrometria Atômica e Massa no Departamento de Química da UFSC.



Figura 21 – Foto ilustrativa de um ICP-MS modelo Elan 6000.

## ***5. RESULTADOS E DISCUSSÕES***

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos através das análises gravimétricas e da técnica do ICP-MS, realizados com as amostras de filtro contendo material particulado total, coletados durante a abertura dos fornos.

### **5.1. ANÁLISE GRAVIMÉTRICA**

Os parâmetros de coleta estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros de coleta

Amostra	Local	Filtro	Temperatura (°C)	Pressão (mmHg)	Umidade (%)	Final de coleta (horas)
1	Forno 1	1	37	757,8	54	18h26min
2	Forno 3	3	36	758,0	56	20h17min
3	Forno 5	5	29	753,4	67	9h47min
4	Forno 7	7	38	757,8	50	14h20min
5	Forno 9	9	37	757,8	51	16h23min
6	Forno 1	1-a	37	757,9	54	19h00min
7	Forno 3	3-a	33	758,1	66	20h59min
8	Forno 5	5-a	32	753,7	60	11h05min
9	Forno 7	7-a	37	757,9	50	14h56min
10	Forno 9	9-a	37	757,5	52	17h10min
11	Forno 1	1b	36	758,0	56	19h36min
12	Forno 3	3-b	31	758,2	71	21h13min
13	Forno 5	5-b	35	758,1	63	12h12min
14	Forno 7	7-b	37	758,8	52	15h30min
15	Forno 9	9-b	37	757,8	53	18h03min

As massas dos filtros pesados antes e depois da coleta constam na Tabela 5.

Tabela 5 – Massas inicial e final dos filtros, em gramas.

Amostra	Local da Coleta	Filtro	M <sub>i</sub> (g)	M <sub>f</sub> (g)	(M <sub>f</sub> -M <sub>i</sub> ) (g)
1	Forno 1	1	0,0557	0,0628	0,0071
2	Forno 3	3	0,0578	0,0587	0,0009
3	Forno 5	5	0,0546	0,0576	0,0030
4	Forno 7	7	0,0578	0,0596	0,0018
5	Forno 9	9	0,0553	0,0577	0,0024
6	Forno 1	1-a	0,0546	0,0596	0,0050
7	Forno 3	3-a	0,0570	0,0582	0,0012
8	Forno 5	5-a	0,0553	0,0685	0,0132
9	Forno 7	7-a	0,0559	0,0934	0,0375
10	Forno 9	9-a	0,0607	0,0975	0,0368
11	Forno 1	1b	0,0565	0,0618	0,0053
12	Forno 3	3-b	0,0549	0,0559	0,0010
13	Forno 5	5-b	0,0563	0,0690	0,0127
14	Forno 7	7-b	0,0571	0,0922	0,0351
15	Forno 9	9-b	0,0603	0,0931	0,0328
-	-	branco	0,0571	0,0571	0

NOTA: M<sub>i</sub> = corresponde à massa inicial do filtro antes da coleta; e  
M<sub>f</sub> = corresponde à massa do filtro após a coleta.

Para uma vazão de coleta de 250 L/h durante 10 min, as concentrações encontradas, conforme Equações 2 e 3, constam na Tabela 6.

Tabela 6 – valores de emissão encontrados, em mg/m<sup>3</sup>.

Amostra	Local da Coleta	Filtro	PM <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )
1	Forno 1	1	169,05
2	Forno 3	3	21,43
3	Forno 5	5	71,73
4	Forno 7	7	42,86
5	Forno 9	9	57,14
6	Forno 1	1-a	119,05
7	Forno 3	3-a	28,57
8	Forno 5	5-a	314,29
9	Forno 7	7-a	892,86
10	Forno 9	9-a	876,19
11	Forno 1	1b	126,19
12	Forno 3	3-b	23,81
13	Forno 5	5-b	302,38
14	Forno 7	7-b	835,71
15	Forno 9	9-b	780,95

NOTA: M<sub>i</sub> = corresponde à massa inicial do filtro antes da coleta; e  
M<sub>f</sub> = corresponde à massa do filtro após a coleta.

Com a concentração pôde-se calcular a massa de material particulado total emitido para a vazão de 250L/h, durante 10min (Tabela 7), conforme Equação 4:

$$M_x = PM_x * V \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

M<sub>x</sub> = massa de material particulado total retido no filtro x, em mg.

Tabela 7 – Massa final dos filtros, em gramas.

Amostra	Local da Coleta	Filtro	Massa (mg)
1	Forno 1	1	7,1
2	Forno 3	3	0,9
3	Forno 5	5	3,0
4	Forno 7	7	1,8
5	Forno 9	9	2,4
6	Forno 1	1-a	5,0
7	Forno 3	3-a	1,2
8	Forno 5	5-a	13,2
9	Forno 7	7-a	37,5
10	Forno 9	9-a	36,8
11	Forno 1	1b	5,3
12	Forno 3	3-b	1,0
13	Forno 5	5-b	12,7
14	Forno 7	7-b	35,18
15	Forno 9	9-b	32,8

Como a capacidade, número de bateladas, operações, e horas de funcionamento dos fornos se repetem par a par (Tabela 8), as concentrações dos fornos 2, 4, 6 e 8 foram estimadas como sendo a mesma dos seus conjugados: fornos 1, 3, 5 e 9, respectivamente.

Foram adotados como valores de referência, as concentrações médias dentre 3 coletas em cada ponto de amostragem. Optou-se pelo descarte dos filtros 5, 7 e 9, pois suas concentrações são extremamente diferentes das outras duas amostradas nos mesmos locais. Além disso, o Filtro 9 foi rasgado quando da sua retirada do porta-filtro, o que pode ter ocasionado tal discrepância de valores, se comparado aos outros dois filtros amostrados no Forno 9.

A Tabela 8 apresenta os valores encontrados para os fornos com numeração ímpar e as estimativas para os fornos com numeração par.

Tabela 8 – Concentrações e massas adotadas como referência

Forno	Concentração (mg/m <sup>3</sup> )	Massa (mg)
Forno 1	126,19	5,3
Forno 2	126,19	5,3
Forno 3	23,81	1,0
Forno 4	23,81	1,0
Forno 5	302,38	12,7
Forno 6	302,38	12,7
Forno 7	835,71	35,18
Forno 8	780,95	32,8
Forno 9	780,95	32,8
<b>TOTAL</b>	<b>3.302,37</b>	<b>138,78</b>

## 5.2. DETERMINAÇÃO DE METAIS TRAÇO (TOTAIS) POR ICP-MS

A determinação de metais traço foi realizada após as análises gravimétricas. Foram escolhidas 5 amostras: Filtro 1, Filtro 3a, Filtro 5a, Filtro 7a, e Filtro 9a, uma de cada forno. Não foram analisadas todas as amostras porque a técnica de ICP-MS é cara.

### *Análise semi-quantitativa*

A análise semi-quantitativa determinou quais metais traço estavam presentes em todos os filtros selecionados, a saber: Manganês (Mn), Ferro (Fé), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), e Bismuto (Bi). O Gráfico 1 apresenta esses resultados .

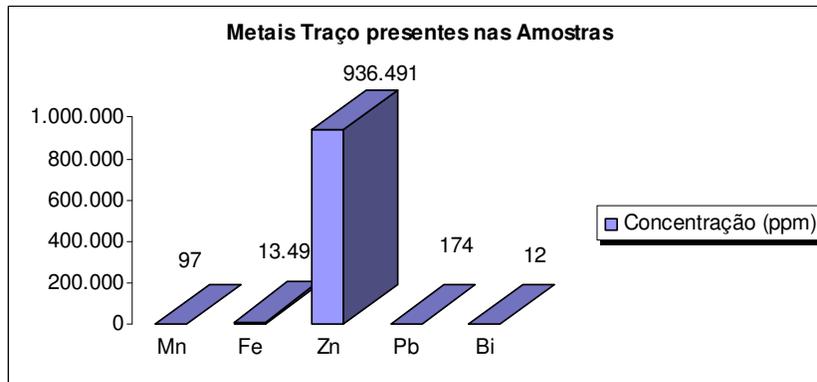


Gráfico 1 – Metais traço presente nas amostras.

### *Análise quantitativa (Zn)*

O resultado da análise quantitativa do Zinco representa a concentração deste elemento em cada um dos 5 filtros, em porcentagem (Gráfico 2) e em partes por milhão (Gráfico 3).

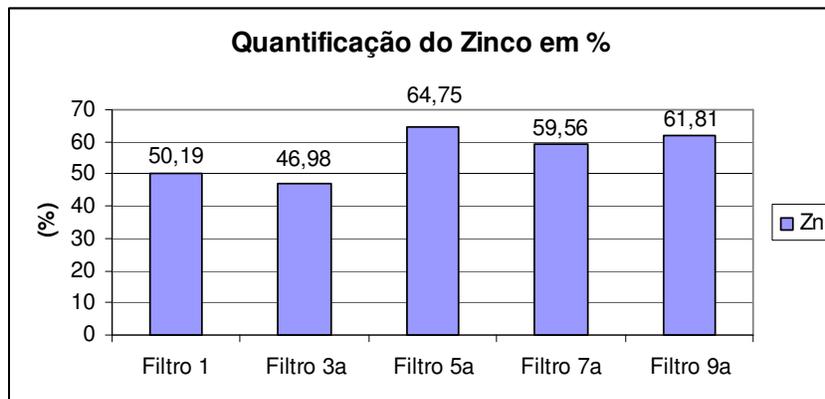


Gráfico 2 – Resultado das quantificações do Zinco, em %.

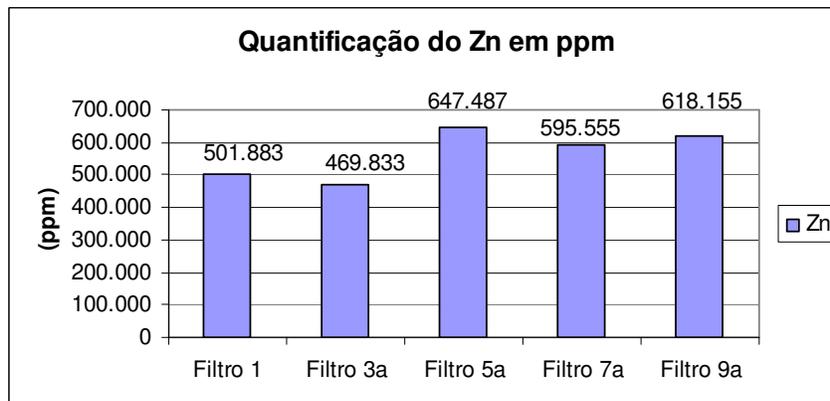


Gráfico 3 – Resultado das quantificações do Zinco, em ppm.

## 6. CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos pode-se concluir que:

- A análise gravimétrica revelou que o valor mediano da (de 3 coletas em momentos distintos, com mesma vazão e tempo de coleta), concentração de material particulado total não captado pelo sistema de exaustão atual, emitido pelos fornos 1, 3, 5, 7 e 9, por uma vazão de 250L/h durante 10min (volume de 0,042 m<sup>3</sup>) é de: (a) *Forno 1*: 126,19mg/m<sup>3</sup>; (b) *Forno 3*: 23,81mg/m<sup>3</sup>; (c) *Forno 5*: 302,38mg/m<sup>3</sup>; (d) *Forno 7*: 835,71mg/m<sup>3</sup>; e (e) *Forno 9*: 780,95mg/m<sup>3</sup>;

- A determinação da concentração de material particulado total emitida pelos dos Fornos 1, 3, 5, 7 e 9 permitiu que fossem estimadas as mesmas concentrações para os fornos 2, 4, 6 e 8, ou seja: (a) *Forno 2*: 126,19mg/m<sup>3</sup>; (b) *Forno 4*: 23,8mg/m<sup>3</sup>; (c) *Forno 6*: 302,38mg/m<sup>3</sup>; e (d) *Forno 8*: 780,95mg/m<sup>3</sup>, para a mesma vazão de 250L/h durante 10 min. Esta estimativa só foi possível porque estes possuem o mesmo modo de operação e capacidade daqueles que são seus conjugados.

- O valor das concentrações mostrou que para um volume de 0,042 m<sup>3</sup> (vazão de 250L/h durante 10 min) são emitidos 86,98mg de material particulado pelos fornos 1, 3, 5, 7 e 9, considerando o maior valor de concentração entre 3 coletas em cada forno;

- Também se pode estimar que: para um volume emitido de 0,042 m<sup>3</sup> em cada forno, é lançado ao ambiente 138,78mg de material particulado (considerando os 9 fornos);

- A análise semi-quantitativa apontou a presença de Manganês, Ferro, Zinco, Chumbo e Bismuto no material particulado total proveniente dos fornos, considerando as amostras analisadas: Filtro 1, Filtro 3a, Filtro 5a, Filtro 7a, e Filtro 9a). A presença de Chumbo, mesmo que em pequena quantidade, o caracteriza como resíduo de classe I (NBR 10004/2004 – Classificação de Resíduos Sólidos).

- A presença do analito Zinco nas análises semi-quantitativa e na análise quantitativa desse elemento, justifica o reaproveitamento do pó de exaustão dos fornos e aponta para a necessidade de um sistema mais eficiente para que o pó das emissões fugitivas também possa ser reaproveitado;

## 7. RECOMENDAÇÕES

A partir das conclusões são recomendados para novos trabalhos:

- Coletar todo o volume emitido pelos fornos 1, 3, 5, 7 e 9, durante 10min para que esse volume coletado (m<sup>3</sup>) possa ser multiplicado pelas respectivas concentrações (mg/m<sup>3</sup>) encontradas por esse estudo. O resultado obtido será a massa,

real, total emitida por cada forno durante a abertura desses fornos. Estimar a massa para os fornos 2, 4, 6 e 8 a partir desse novo volume encontrado, conforme procedimento desse estudo. A razão entre a vazão encontrada multiplicada pelo tempo que cada forno permanece aberto por dia (Anexo 2) pela tonelada de metal fundido por forno por dia permitirá que sejam encontrados os fatores de emissão de cada forno que compõem a fundição, os quais poderão se tornar referência para fundições de produção de ferro;

- Instalar um sistema de exaustão em forma de coifas sobre cada um dos 9 fornos, estes poderão ser interligados ao atual sistema e encaminhados para o filtro manga já existente no local;

- Realizar trabalhos dentro da fundição relacionados a qualidade do ar interno.

## **8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABIFA – Associação Brasileira de Fundição; APEX – Agência de Promoção de Exportações e Investimentos. **Relatório de Mercado**. São Paulo, dez. 2006. 29 slides.

ADEGAS, Roseane Gonçalves; BERNARDES, Andrea Moura. Avaliação do gerenciamento das areias geradas nas fundições de ferro do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Fepam em Revista**: revista da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler. Porto Alegre: FEPAM, v. 2, n. 1, p. 4-10. jan./dez. 2008.

ALONSO, Claudio D; GODINHO, Roberto. A evolução da qualidade do ar em Cubatão. **Química Nova**, v. 15, n. 2, 1992, p.126-136.

ARRUDA, Marco Aurélio Zezzi; SANTELLI, Ricardo Erthal. Mecanização no preparo de amostras por microondas: o estado da arte. **Química Nova**, v. 26, n. 6, p. 638 – 643, 1997.

ASSUNÇÃO, J. V. Poluição Atmosférica. In: CASTELHANO, E. G. **Desenvolvimento Sustentado**: problemas e estratégias. São Paulo: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1998. 308p.

BREHM, Feliciane Andrade. **Adição de óxido de zinco (ZnO) em pastas de cimento visando viabilizar a reciclagem de pós de aciária elétrica (PAE) na construção civil**. 2004. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CAMPOS, Antonio Eduardo Lopes; NUNES, Gilvanda Silva; OLIVEIRA, José Crediciomar Silva de.; TOSCANO, Ilda Antonieta Salata. Avaliação da contaminação do iguapé do sabino (bacia do rio Tibiri) por metais pesados, originados dos resíduos e efluentes do aterro da Ribeira, em São Luiz, Maranhão. **Química Nova**, p.1-5, publicado na Web em 12 fev. 2009.

CANÇADO, José Eduardo Delfini; BRAGA, Alfesio; PEREIRA, Luiz Alberto Amador; ARBEX, Marcos Abdo; SALDIVA, Paulo Hilário Nascimento. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 32, n.2, maio 2006.

CARNIN, Raquel Luísa. **Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas**. 2008. 152f. Tese. (Doutor em Química) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

CRUZ, Lícia P. S.; CAMPOS, Vânia P.; Métodos de amostragem e análise para compostos reduzidos de enxofre atmosférico. **Química Nova**, v. 31, n. 5, p. 1180-1189, 2008.

DE MELO LISBOA, Henrique; SCHIRMER Waldir Nagel. Capítulo I. In: **Controle da poluição atmosférica**. Florianópolis: 2008. 93p.

DERISIO, José. Poluição do ar. In: **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 3. ed. São Paulo: Signus Editora, 2007. 192 p.

DUARTE, Rogéria P. Saez; PASQUAL, Antenor. Avaliação do Cádmo (Cd), Chumbo (Pb), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. **Energia na Agricultura**, v. 15, n. 1, p.46-58, 2000.

EGREJA FILHO, F.B. **Avaliação da ocorrência e distribuição dos metais pesados na compostagem de lixo domiciliar urbano**. 1993. 176p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1993.

EPA – Environmental Protection Agency. **Air quality criteria for particulate matter**. Washington, v 1-3, april 1996. 1076 p.

EUROPEAN COMMISSION, Institute for Prospective Technological Studies. **Integrated pollution prevention and control reference document on best available techniques in the smitheries and foundries industry**. Sevilla: IPTS, july 2004. 14p.

FALDINI, S. B.; SILVA, F. C. Galvanização a quente: processo por batelada. **Revista Mackenzie On Line de Engenharia**, 2004. Disponível em: <[http://www4.mackenzie.com.br/ee\\_atividades\\_revista\\_ol\\_relacao.html](http://www4.mackenzie.com.br/ee_atividades_revista_ol_relacao.html)>. Acesso em: 27 dez. 2008.

FIESC – Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina. **Santa Catarina em Dados / Unidade de Política Economia e Industrial**. Florianópolis: FIESC, v. 18, 2008. 152p. Publicação anual.

FLUKA CHEMICAL Corp. **Zinc Fluoride**: Chemical product and company identification. Milwaukee: FCC, 2002. 5p

GAIA, Grupo de Análise Instrumental Aplicada; EMBRAPA Pecuária Sudeste. **Preparo de amostras por radiação microondas: uma compilação de procedimentos da literatura**. São Carlos: GAIA, 2007. 783p.

GALVÃO FILHO, João Baptista. **A Indústria de fundição e o meio ambiente**. Disponível em: <<http://www.auditoriaambiental.com.br/artigos/>>. Acesso em: 7 nov. 2008.

GIODA, Adriana; DE AQUINO NETO, Francisco Radler. Considerações sobre estudos de ambientes industriais e não industriais no Brasil: uma abordagem comparativa. **Cadernos de Saúde Pública**. Rio de Janeiro, v. 19, n. 5, sept./oct. 2003.

GODISH, T. **Air Quality**. 2. ed. Chelsea: Lewis, 1991.

INDUCTOTHERM GROUP BRASIL LTDA. **Manual de operação e manutenção do sistema “Vip Power Trak” e “Power Melt” Séries R e C/R**. [2004].

KASTENMAYER, Peter. Análisis de minerales y elementos traza en alimentos. In: **Producción y manejo de datos de composición química de alimentos em nutrición**. Santiago, 1997, p. 271 – 294. (Capítulo 20).

KRUG, F. J.; Métodos de decomposição de amostras. In: Workshop sobre preparo de amostras, 3., 2000, São Carlos. **Anais...São Carlos: FAPESP, 2000**.

MANNING, Thomas J.; GROW, William R. Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. **The Chemical Educator**, v. 2, n., p. 1 – 19, 1997.

MINERA SANTA RITA. **Óxido de Zinco 90 MSR-ZnO**: Ficha de produto. Argentina: Minera Santa Rita, 2005. 2005. 4p.

MITRA, Somenath. **Sample Preparation Techniques in Analytical Chemistry**. New Jersey: Wiley-IEEE. 2003. 458 p.

NHO – Norma de Higiene Ocupacional. **NHO 03**: Análise Gravimétrica de Aerodispersóides Sólidos Coletados Sobre Filtros e Membranas. FUNDACENTRO, 2001. 35p. Método de ensaio.

OLIVATO, Dárcio José. Zincagem a quente. **Zinco e corrosão**, n.1. p. 6-8. [2000].

OLIVEIRA, Thereza M. N. **Eco-Estratégia Empresarial no setor Metal-Mecânico da Escola Técnica Tupy**. 1998. 125f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

POZZA, Simone Andréa; LIMA, Pinheiro Ed; COMIN, Tatiane Tagino; GIMENES, Marcelino Luiz; COURRY, José Renato. Utilização de modelos sazonais ARIMA para análise de tendências temporais nas concentrações de MP<sub>10-2,5</sub> e MP<sub>2,5</sub> para a cidade

de São Carlos – São Paulo, Brasil. In: CONGRESO INTERAMERICANO AIDIS, 31., 2008, Santiago. **Anais...** . Santiago: AIDIS, 2008. p. 1 - 8.

SALGADO, Paulo Eduardo de Toledo. **Informações gerais e ecotoxicológicas de material particulado**. Salvador: Centro de Recursos Ambientais – CRA, 2003. 156p. (Caderno de Referência Ambiental; v.14).

SHIBATA, Yasuyuki; MORITA, Masatoshi. Speciation of Arsenic by Reversed – Phase High Performance Liquid Chromatography-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. **Analytical Sciences**, fev. 1989, v. 5, p. 107 -109.

TORRE, Jorge. **Manual prático de fundição e elementos de prevenção da corrosão**. São Paulo: Hemus, 2004. 243 p.

VASCONCELLOS, Pérola de Castro. **Um estudo sobre a caracterização de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e seus derivados, e hidrocarbonetos alifáticos saturados em material particulado atmosférico proveniente de sítios urbano, suburbanos e florestais**. 1996. 103 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

VIGANO, Jocelaine B.; WILBERG, Katia Q.; KAUTZMANN, Rubens M.; LENZ, Denise M. Recuperação de Zinco do pó de exaustão de indústria siderúrgica em meio alcalino. **Revista Matéria**, v. 9, n. 4, 2004, p.437-444.

ZANNETTI, Paolo. **Air Pollution Modeling: Theories, computational methods and available software**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 443 p.

## ANEXO 1

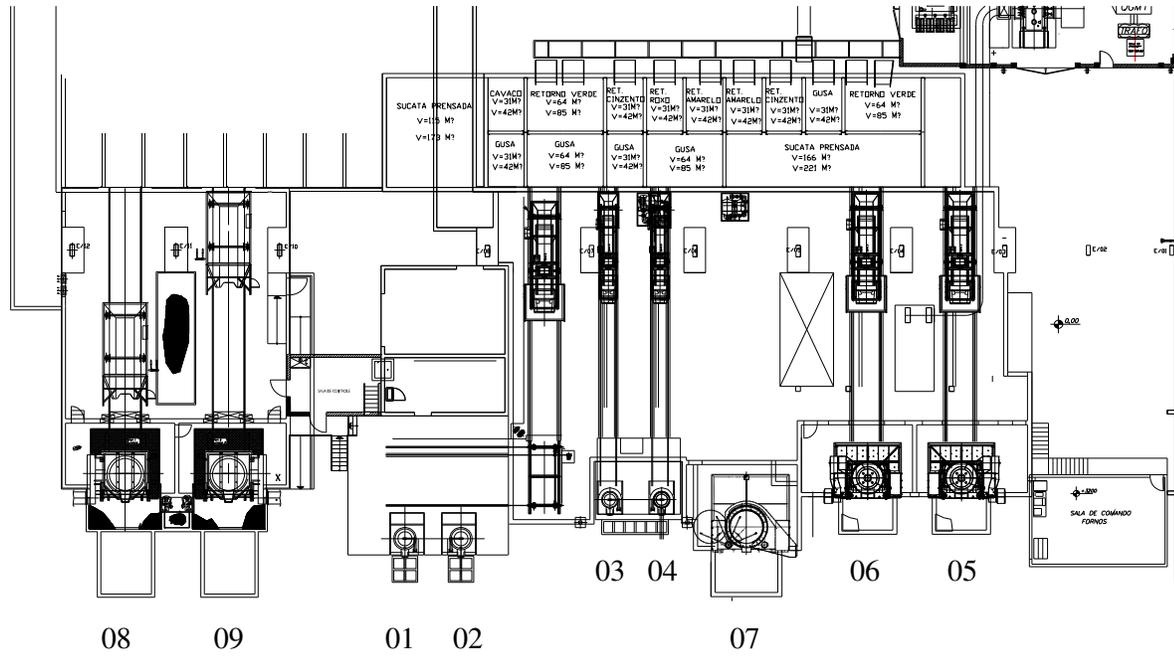


Figura - Planta baixa da área dos fornos da fundição estudada.