**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA AMBIENTAL**

GABRIELA PENKAITIS

**IMPACTO AMBIENTAL GERADO PELA DISPOSIÇÃO DE AREIAS
DE FUNDIÇÃO: ESTUDO DE CASO**

**SÃO PAULO
2012**

GABRIELA PENKAITIS

IMPACTO AMBIENTAL GERADO PELA DISPOSIÇÃO DE AREIAS DE FUNDIÇÃO:
ESTUDO DE CASO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Ciência Ambiental (PROCAM) da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciência
Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Joel Barbujani Sigolo

Versão Corrigida

(versão original disponível na Biblioteca da Unidade que aloja o Programa e na Biblioteca Digital de Teses e
Dissertações da USP)

SÃO PAULO
2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Penkaitis, Gabriela.

Impacto ambiental gerado pela disposição de areias de fundição: estudo de caso./ Gabriela Penkaitis; orientador Joel Barbujianni Sigolo. – São Paulo, 2012.

91 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental) – Universidade de São Paulo

1. Impactos ambientais 2. Resíduos sólidos - classificação I. Título.

**IMPACTO AMBIENTAL GERADO PELA DISPOSIÇÃO DE AREIAS DE
FUNDIÇÃO: ESTUDO DE CASO**

Autor: Gabriela Penkaitis

Orientador: Joel Barbujani Sigolo

São Paulo, ____/____/____

Comissão Julgadora

Nome: _____

Instituição: _____

Nome: _____

Instituição: _____

Nome: _____

Instituição: _____

DEDICATÓRIA

Mãe e Pai, com amor, admiração e gratidão.

João Carlos, com gratidão pela força e por acreditar em mim, sempre.

AGRADECIMENTO

Ao Prof. Dr. Joel Barbujani Sigolo, pela oportunidade e aprendizado proporcionado nesses dois anos de trajetória.

Ao Eng. Isaac Jamil Sayeg, do Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Instituto de Geociências – USP, pela presteza, paciência e pelo aprendizado.

Ao Rafael Schramm Bolomini e a Almíria da Rosa Beckhauser, do Laboratório Beckhauser & Barros, pelo apoio a esta pesquisa e pela troca de experiência realizada.

A amiga Aline Barrence, companheira na “empreitada” das áreas contaminadas, por novamente compartilhar um projeto e dividir seu conhecimento.

RESUMO

PENKAITIS, Gabriela. **Impacto ambiental gerado pela disposição de areias de fundição: estudo de caso.** 2012. 91 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

A disposição de areia de fundição em áreas não licenciadas foi uma prática até pouco tempo empregada por muitas empresas do setor. Em função dessa prática estuda-se nessa dissertação um passivo ambiental produzido em uma área no estado de São Paulo, que recebeu resíduos de fundição e pouco se sabe sobre o impacto ao meio ambiente ocasionado pela disposição inadequada desse material. O presente trabalho propõe avaliar potenciais impactos no meio ambiente pela disposição deste resíduo em um aterro não controlado de uma indústria de fundição e promover análise crítica diante das atuais normas e ferramentas de análises de impactos ambientais e classificação de resíduos sólidos, verificando eventuais conflitos entre as atuais ferramentas aplicadas. Para essa avaliação, foram empregadas algumas ferramentas de investigação científica como Microscopia Eletrônica de Varredura compreendendo análise morfológica e química qualitativa do resíduo depositado, análise granulométrica e análise química das águas subterrâneas, a partir de amostragens realizadas em campo e dados fornecidos por empresa de recuperação ambiental que atua na área. Assim foram obtidos dados que permitiram caracterizar a área, monitorar a qualidade das águas subterrâneas dentro e no entorno do aterro e caracterizar o resíduo sólido em questão, onde se analisou as questões ambientais e legais com base nas atuais normas e ferramentas de gestão de áreas contaminadas e resíduos sólidos. Os dados obtidos a partir das análises das amostras de água e resíduo demonstram clara e forte concentração de metais nas águas (ferro, manganês, boro e selênio) e no resíduo (cromo, cobre, cobalto, níquel, zinco, alumínio, ferro, manganês), no caso desse último, dentro dos limites da atual normatização para classificação, identificando-o como resíduo “não perigoso”. Ainda que esse não seja considerado perigoso, a identificação de elementos nas águas em concentrações acima do permitido compromete a qualidade ambiental do local, colocando em risco a população do entorno, visto que em suas adjacências algumas propriedades realizam cultivo agrícola, além de extrair água do subsolo. Evidencia-se, a partir desse cenário, a necessidade de estreitamento técnico entre as atuais normas e ferramentas de análises de impacto ambiental e classificação de resíduos sólidos, permitindo realizar avaliações de passivos gerados pela disposição inadequada de resíduos que levem em consideração suas possíveis interações com o ambiente ao longo de seu tempo de exposição.

Palavras-chave: Caracterização de areias de fundição. Resíduos Sólidos. Impacto Ambiental.

ABSTRACT

PENKAITIS, Gabriela. **Environmental impact generated by foundry sand disposal: case study**. 2012. 91 f. Thesis Master's Dissertation – Graduate Program os Environmental Science, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

The disposal of foundry sand illegal areas was a practice until recently employed by many companies. Because this practice is studied in this dissertation an environmental liability produced in a land in the state of São Paulo that received foundry waste and little is known about the environmental impact caused by inadequate disposal of this material. This issue proposes detected the real effect in the environment by the disposal of this waste in an uncontrolled landfill foundry industry and promote critical analysis before the current standards and tools of environmental impact analyses and classification of solid waste, checking possible conflicts between the current tools applied. For this evaluation, some scientific research tools were employed as Electronic Microscopy of Scan including morphological and chemical waste analyses, particle size analysis and chemical analysis of groundwater samples collected from the field and data provided by an environmental recovery company that operates in the area. Thus data were obtained which allowed to characterize the area, monitor the groundwater quality in and around the landfill and to characterize the solid waste in question, which examined the environmental and legal issues based on current standards and management tools of contaminated lands and solid waste. The data from the analyzes of samples of water and waste show a clear and strong concentration of metals in water (iron, manganese, boron and selenium) and in the waste (chromium, copper, cobalt, nickel, zinc, aluminum, iron, manganese), in the last one according to current regulation for classification, identifying it as not dangerous. Although the waste is not considered dangerous, the identification of elements in water at concentrations above permitted to compromise the quality of the local environment, endangering the surround population, since in its surrounding some properties carry out agricultural, in addition extracting groundwater. It is evident from this scenario, the need for technical narrowing between the current standards and environmental impact analyzes tools and classification of solid waste, permitting carry out evaluations of liabilities generated by inadequate disposal of waste that take into account their possible interactions with the environment over time of exposure.

Keywords: Characterization of foundry sands. Solid waste. Environment impact.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Profundidade e localização dos poços de monitoramento instalados.....	44
Tabela 2 – Medições de nível de água dos poços e cotas topográficas	44
Tabela 3 – Campanhas de coletas de águas subterrâneas	45
Tabela 4 – Comparação dos resultados de águas com parâmetros de referência nacionais (mg/L) – Campanha 1.....	48
Tabela 5 – Comparação dos resultados de águas com parâmetros de referência nacionais (mg/L) – Campanha 2.....	49
Tabela 6 – Comparação dos resultados de águas com parâmetros de referência nacionais (mg/L) – Campanha 3.....	49
Tabela 7 - Elementos inorgânicos identificados nos poços de monitoramento.....	50
Tabela 8 - Comparação dos resultados de águas com parâmetros de referência internacionais (mg/L) - Campanha 1	52
Tabela 9 - Comparação dos resultados de águas com parâmetros de referência internacionais (mg/L) - Campanha 2	53
Tabela 10 - Comparação dos resultados de águas com parâmetros de referência internacionais (mg/L) - Campanha 3	53
Tabela 11 - Dados das escavações para coleta de amostras do resíduo	58
Tabela 12 – Variação granulométrica das amostras do Grupo A	61
Tabela 13 - Variação granulométrica das amostras do Grupo B	62
Tabela 14 - Resultados analíticos das amostras de resíduos e comparação com valores orientadores (mg/kg)	70
Tabela 15 - Resultados analíticos de cromo e comparação com a NBR 10004 (mg/L).....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Representação esquemática da fundição em molde de areia.	20
Figura 2 - Mapa geológico da região de Sorocaba e localização da área de estudo.....	39
Figura 3 - Área de deposição do resíduo.	42
Figura 4 - Sondagem a trado manual.....	43
Figura 5 - Localização dos poços de monitoramento instalados.	43
Figura 6 - Fluxo das águas subterrâneas.....	45
Figura 7 - Perfil de coleta das amostras do resíduo – Grupo A.....	55
Figura 8 - Escavação para coleta das amostras de resíduo (Grupo A).	55
Figura 9 - Profundidade do resíduo coletado (Grupo A).....	56
Figura 10 - Perfil de coleta das amostras do resíduo – Grupo B.	57
Figura 11 - Trincheira 1.....	57
Figura 12 - Trincheira 2.....	58
Figura 13 - Perfis de solo ao longo da deposição da areia.	59
Figura 14 - Esquema exibindo as malhas das peneiras utilizadas na análise granulométrica do resíduo.	60
Figura 15 - Peneira utilizada na análise granulométrica do resíduo.....	60
Figura 16 - Equipamento de vibração com coluna de peneiras.	61
Figura 17 - Retenção de materiais grosseiros da amostra do Grupo B.....	62
Figura 18 - Microscópio Eletrônico de Varredura.....	63
Figura 19 - Sessão de MEV.....	63
Figura 20 - Imagem de MEV com aumento de 50 vezes da amostra II-A.	65
Figura 21 - Espectro de EDS da amostra II-A: destaque para o pico de Ca seguido de Si, Al, Cr e Fe.	65
Figura 22 - Espectro de EDS da amostra II-A: destaque para o pico de Fe seguido de Si, Al e Mg.	65
Figura 23 - Imagem de MEV com aumento de 50 vezes da amostra IV-A.	66
Figura 24 - Espectro de EDS da amostra IV-A: destaque para o pico de Ca seguido de Fe, Mn, Cr e Zn.	66
Figura 25 - Espectro de EDS da amostra IV-A: destaque para o pico de K seguido de Fe, Mn, Si e Cr.	66
Figura 26 - Imagem de MEV com aumento de 50 vezes da amostra II-B.	67

Figura 27 - Espectro de EDS da amostra II-B: destaque para o pico de Ca seguido de Fe, Mn e Cr.	67
Figura 28 - Espectro de EDS da amostra II-B: destaque para o pico de Si seguido de Cr, Fe, Ca, Al e K.	67
Figura 29 - Imagem de MEV com aumento de 50 vezes da amostra III-B.	68
Figura 30 - Espectro de EDS da amostra III-B: destaque para o pico de Ca seguido de Fe, Cr, Al e Mg.	68
Figura 31 - Espectro de EDS da amostra III-B: destaque para o pico de Fe seguido de Mn, Al, Si, Cr e K.	68
Figura 32 - Localização do riacho e área de plantio de milho próximo ao depósito do resíduo.	74

LISTA DE SIGLAS

ABETRE	Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos Sólidos
ABIFA	Associação Brasileira de Fundição
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
EDS	Energy Dispersive x-ray Spectrometer
EPA	Environmental Protection Agency
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry
IGC	Instituto de Geociências
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
NA	Nível d'Água
NBR	Norma Brasileira
PH	Potencial Hidrogeniônico
PM	Poço de Monitoramento
P+L	Produção Mais Limpa
SSL	Soil Screen Levels
SVOC	Semivolatile Organic Compounds (Compostos Orgânicos Semi Voláteis)
TAC	Termo de Ajustamento de Conduta
USEPA	United States Environmental Protection Agency
USP	Universidade de São Paulo
VMP	Valores Máximos Permitidos
VOC	Volatile Organic Compounds (Compostos Orgânicos Voláteis)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. A indústria da fundição e a geração de resíduos	16
1.2. Objetivos.....	17
1.2.1. Objetivo Geral	17
1.2.2. Objetivos específicos.....	17
1.3. Justificativa.....	18
2. A INDÚSTRIA DA FUNDIÇÃO, IMPACTOS AMBIENTAIS E GERAÇÃO DE RESÍDUOS	19
2.1. O processo de fundição.....	19
2.2. Areias de fundição	21
2.3. Impactos ambientais relacionados à atividade de fundição e geração de resíduos	22
3. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL.....	30
3.1. Avaliação de impacto ambiental.....	30
3.2. Gerenciamento de áreas contaminadas.....	30
3.3. Gerenciamento e destinação de resíduos sólidos.....	33
3.4. Gerenciamento e destinação de resíduos de areia de fundição.....	34
4. GEOLOGIA DA REGIÃO DE ESTUDO	38
5. MÉTODOS E RESULTADOS	41
5.1. Dimensionamento do corpo depositado	41
5.2. Instalação dos poços de monitoramento.....	42
5.3. Amostragem das águas subterrâneas	45
5.4. Análise química das águas subterrâneas.....	46
5.4.1. Parâmetros de qualidade	47
5.4.2. Resultados de água subterrânea e comparação com valores de referência nacionais	47
5.4.3. Resultados de água subterrânea e comparação com valores de referência internacionais.....	52
5.5. Coleta de amostras do resíduo depositado.....	54
5.6. Determinação da variação granulométrica do resíduo	59

5.7. Análise morfológica, mineralógica e química qualitativa do resíduo por	
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	62
5.8. Conteúdo químico quantitativo do resíduo.....	69
5.8.1. Parâmetros de Qualidade	69
5.8.2. Resultados da análise química do resíduo e comparação com valores de	
referência	70
6. DISCUSSÃO	72
7. CONCLUSÕES	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXO A - Perfis construtivos dos poços de monitoramento	88
ANEXO B - Laudos de análise das amostras do resíduo	90

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com as questões de saneamento básico como a coleta e o tratamento de resíduos está se propagando por muitos municípios brasileiros com a criação de alternativas de destinação que minimizem o impacto no meio ambiente. No Brasil, toneladas de resíduos são geradas diariamente pelos domicílios, indústrias e setores de serviços. Os resíduos industriais, tendo em vista seu potencial de periculosidade e consequente geração de impactos ambientais graves quando não destinados de forma adequada, devem ser alvo de maior controle por parte dos órgãos ambientais.

Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos Sólidos (ABETRE), apenas 22% dos resíduos industriais gerados têm destinação correta, sendo que 16% desses resíduos vão para aterro, 1% é incinerado e 5% é co-processado, transformando-se em combustível para a indústria de cimento. E os restantes 78% são despejados no meio ambiente de maneira irregular. Ainda em seu levantamento, anualmente são gerados cerca de 3 milhões de toneladas de resíduos industriais no Brasil (ABETRE, 2010).

Embora muitos esforços tenham sido empreendidos nos últimos anos no sentido do desenvolvimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, sua aprovação recente ainda segue como primeiro passo para o estabelecimento de critérios para a gestão de resíduos sólidos no Brasil. Entretanto, segundo a Constituição Federal de 1988, em seu Art. 225, parágrafo 3º, estabelece que: “As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados”. Isso significa que a gestão inadequada de resíduos pode levar seus responsáveis ao pagamento de multas e a sanções penais (prisão, por exemplo) e administrativas. Além disso, o dano causado ao meio ambiente, como poluição de corpos hídricos, contaminação de lençol freático e danos à saúde, deve ser reparado pelos responsáveis pelos resíduos. A reparação do dano, na maioria dos casos, é muito mais complicada tecnicamente e envolve muito mais recursos financeiros do que a prevenção, isto é, do que os investimentos técnico-financeiros na gestão adequada de resíduos.

A correta gestão de resíduos principalmente industriais implica, além da questão ambiental e de saúde pública, a questão legal, pois hoje as empresas identificadas como

geradoras de passivos no passado estão sendo autuadas pelos órgãos ambientais, para que adotem medidas corretivas cabíveis e em prazos devidamente estabelecidos. A questão econômica também está fortemente relacionada aos passivos gerados, pois hoje é necessário investir grandes quantias quando se trata da disposição de resíduos industriais (principalmente de resíduos classe I) e mais ainda da recuperação de áreas contaminadas pela disposição inadequada de resíduos.

Além dos problemas de saúde relacionados à contaminação de áreas, a disposição de resíduos no solo pode causar contaminação direta do mesmo pela possível presença de metais, além de poder potencialmente contaminar as águas subterrâneas e o meio superficial em seu entorno. As areias descartadas nos processos produtivos das indústrias de fundição podem conter concentrações elevadas de metais dependendo do processo empregado.

Frente a esse cenário, para a indústria da fundição, geradora de grande volume de resíduos de areias, a reutilização desse resíduo torna-se alternativa ambiental e economicamente interessante, seja através da reutilização no próprio processo após tratamento, seja em processos de outras empresas. Essa prática permite a redução dos descartes destas areias em aterros industriais e conseqüentemente os impactos ambientais relacionados, além da redução dos custos com a disposição final destes resíduos. Entretanto, torna-se necessário assegurar a qualidade do material, através da implantação de sistemas específicos para coleta e armazenamento do produto descartado, além do controle de qualidade através de análises regulares.

Diversos trabalhos técnicos e científicos defendem a reutilização de areias de fundição. O grande obstáculo para a promoção da reutilização desse material é ainda o preconceito com relação a possíveis riscos relacionados à concentração de metais no material, independente dos níveis de concentração. Certamente devem ser levadas em consideração as concentrações dos metais presentes nas areias, visando impedir qualquer situação de risco não só ao meio ambiente quanto à saúde pública. Entretanto o poder público deve caminhar em conjunto, visando principalmente à adoção de limites máximos para a regulamentação da reutilização desses materiais.

Há alguns anos já são estudadas técnicas de reutilização dos resíduos de areia de fundição no país, onde grande parte das pesquisas é voltada à reutilização do resíduo na área da construção civil. Em outros países, principalmente nos Estados Unidos, essa prática já foi concretizada há alguns anos, baseadas em legislações e diretrizes dos órgãos ambientais locais, para uso principalmente na construção civil, pavimentação e até mesmo como composto na agricultura. Dessa forma, um monitoramento e proposta de solução para esse

tipo de passivo faz-se necessária à luz da atual legislação ambiental principalmente no estado de São Paulo, que abriga um expressivo polo de fundição no país, bem como de soluções que venham a minimizar o impacto desse tipo de resíduo nos processos industriais de origem metalúrgica.

1.1. A indústria da fundição e a geração de resíduos

De modo geral, o setor de fundição, apesar de consumir sucatas metálicas como matéria-prima, gera grandes volumes de resíduos sólidos, entre os quais escórias, areia de moldagem e poeiras diversas (DANTAS, 2003). A areia de moldagem corresponde ao maior volume de resíduos gerados pela indústria de fundição, com características diferenciadas em função das peculiaridades de cada processo utilizado. Dados da Associação Brasileira de Fundição (ABIFA) indicam que o Brasil gera mais de um milhão de toneladas anuais, correspondendo a mais de três quartos do total de resíduos sólidos gerados pela Indústria de Fundição no país (MARIOTTO, 2001).

A disposição de areia de fundição em áreas não licenciadas foi uma prática até pouco tempo empregada por muitas empresas do setor. Entretanto, a ação de entidades não governamentais, do Ministério Público e dos órgãos ambientais fez com que essa prática fosse reduzida, forçando as empresas a aumentar a taxa de reciclagem da areia e a dispor os seus resíduos em aterros sanitários licenciados perante os órgãos ambientais. Porém, um passivo ambiental foi deixado em muitas das áreas que receberam os resíduos de fundição e pouco se sabe sobre o impacto ao meio ambiente ocasionado pela disposição inadequada desse material.

Atualmente, o gerenciamento de resíduos de areias de fundição vem sendo alvo de controle por parte dos órgãos ambientais. Alguns órgãos como a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) têm fiscalizado com certo rigor diversas indústrias deste setor, frequentemente requisitando registros de destinação da areia e laudos ambientais do subsolo das fábricas. Caso seja identificada a presença de impacto no solo ou na água subterrânea, estas indústrias devem proceder com ações de correção do(s) dano(s) visando evitar sanções civis, penais e criminais, bem como manter a licença de operação em conformidade com as regulamentações do órgão.

Algumas propostas de reutilização de areias de fundição são conhecidas, principalmente para uso na produção de concreto asfáltico e artefatos de cimento ou de concreto. Entretanto, é necessário que se siga os critérios estabelecidos pelos órgãos ambientais, evitando-se, desta forma, a sua reutilização de forma inadequada.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

O presente projeto de pesquisa visa avaliar potenciais impactos no meio ambiente de um aterro não controlado localizado em uma indústria de fundição, com a finalidade de se obter diagnóstico balizando subsídios para uma análise crítica das atuais normas e ferramentas de análise de impactos ambientais e classificação de resíduos sólidos. Nesse projeto o resíduo a ser estudado provém de uma indústria que utiliza como principal matéria-prima, minerais a partir de compostos de manganês, cromo, ferro, carbono, titânio e outros metais para produção de aço carbono, adquiridos através de terceiros. Esse aterro é resultado da disposição de areia de fundição no solo ao longo de aproximadamente 35 anos de atividade.

1.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Caracterização geológica da região;
- ✓ Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas na área do aterro;
- ✓ Caracterização do resíduo sólido em questão (areia de fundição) - características físicas, químicas e granulométricas empregando técnicas laboratoriais como Microscopia Eletrônica da Varredura, espectrofotometria, análise química qualitativa;
- ✓ Avaliação das implicações legais relacionadas à destinação do resíduo;

✓ Discussão sobre a questão ambiental e legal com base nas atuais normas e ferramentas de gestão de áreas contaminadas e classificação de resíduos sólidos.

1.3. Justificativa

Sorocaba e as cidades de Biritiba-Mirim, Limeira e Sumaré abrigam o principal polo de fundições do Estado de São Paulo. A região produz cerca de 10 mil toneladas de areia de fundição por mês. Segundo informações da ABIFA, o passivo ambiental das fundições da região é considerado grave (ABIFA, 1999).

A geração deste resíduo implica em três considerações importantes: a primeira de que este procedimento ao longo de anos tenha criado condições favoráveis a um comprometimento ambiental por esse material, cujo destino tem sido muito diversificado incluindo disposição em aterros industriais classe I e classe II ou até disposição no solo dentro das próprias fábricas. A segunda de que se torna fundamental a necessidade de uma investigação que permita diagnosticar com segurança se estes materiais ali dispostos estão ou não impactando a área circunjacente. Se assim for verdadeiro, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas que recuperem as propriedades funcionais da areia para que ela retorne ao processo, além de técnicas de recuperação da própria área. A terceira de que se torna necessária uma análise das atuais normas e ferramentas relacionadas à análise de impactos ambientais e classificação de resíduos sólidos, de forma a identificar eventuais conflitos em seus formatos quando aplicadas conjuntamente.

2. A INDÚSTRIA DA FUNDIÇÃO, IMPACTOS AMBIENTAIS E GERAÇÃO DE RESÍDUOS

2.1. O processo de fundição

O processo de fundição tem por objetivo a fabricação de peças metálicas. Os metais são fundidos e adicionados aos moldes, com as características do modelo da peça a ser fabricada, e esses moldes são confeccionados à base de areia. Porém, antes da fusão do material é necessária a preparação desse molde.

Pablos (1995) afirma que existem diversos processos de moldagem utilizados na fundição, sendo o mais utilizado é a moldagem em areia. Estima-se que mais de 80% das peças fundidas produzidas utilizam moldes feitos de areia aglomerada. O aglomerado mais comum é a argila.

Segundo Matos & Schalch (1997), o processo de moldagem se inicia com alimentação de argila, areia base, areia de retorno e aditivos necessários que entram num misturador para garantir a homogeneização dos componentes de onde saem como areia de moldagem, que segue para a fase de preparação dos moldes onde são colocados os machos. O macho é usado quando a peça a ser fundida necessita de reentrâncias ou furos, nesse caso o modelo já é projetado com os alojamentos dos machos, que são moldados em material refratário (geralmente o mesmo do molde) e montados dentro do molde.

A produção de peças de metal fundido pode ser realizada tanto em moldes permanentes como em moldes perdidos. Os moldes permanentes, feitos de metal, grafite ou cerâmica, são geralmente usados para fundição de metais não ferrosos de baixo ponto de fusão. Os moldes perdidos consistem de areias refratárias de composição mineralógica variável, um agente ligante (orgânico ou inorgânico) e aditivos (KNOP & SHCHEIB, 1979). Após a confecção dos moldes e machos, ocorre propriamente a fusão e vazamento do metal líquido para dentro dos moldes, conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1 Representação esquemática da fundição em molde de areia.

Fonte: (Centro de Informação Metal Mecânica, 2010).

Por fim, é feita a desmoldagem e acabamento da peça fundida. No acabamento, as peças uma a uma são passadas pelo rebolo para eliminar as rebarbas, e depois levadas a um jateamento por granalha para melhorar o acabamento externo. Algumas peças não precisam ser usinadas, mas a maioria passa pela usinagem para um melhor acabamento e para fazer alguns detalhes não permitidos no molde. Após a peça pronta, ela é pintada ou é dado um banho de óleo para evitar a corrosão (DANTAS, 2003; MARINO, 2003).

A areia resultante da desmoldagem pode ser, em proporções variáveis, reutilizada no próprio processo de moldagem que a originou, constituindo um sistema de areia recirculante, ao qual fica agregada, parcial ou totalmente, a areia que constituía os machos. Após diversos ciclos, a areia recirculada apresenta um acúmulo de materiais residuais, como restos de resinas curadas ou de argilas, carvões e outros aditivos termicamente degradados no processo de vazamento. Para evitar problemas de qualidade dos moldes, em função destes contaminantes, torna-se necessário a diluição da areia recirculada com a adição de areia nova, criando um excedente de areia de desmoldagem e consequentemente o descarte da referida parcela (ABIFA, 1999; THOMAS, 1996; KNOP & SHCHEIB, 1979).

2.2. Areias de fundição

O principal componente da areia de moldagem ou de macharia utilizada nas fundições é um agregado fino, mineralogicamente puro, denominado “areia-base” (ABIFA, 1999) definido como um material mineral, sem consideração de composição química, com granulometria que varia de 0,05 mm a 2 mm em seu diâmetro, sendo os tipos mais usados na indústria de fundição a areia de sílica (SiO_2), de olivina ($(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$), de zircônia (ZrSiO_4) e de cromita (FeCr_2O_3 ou FeCr_2O_4) (WEDDINGTON & MOBLEY, 1991; FERNANDES, 2001; RAMPAZZO et al., 1989). Devido à abundância do material na natureza, a areia de sílica tem sido a mais comum utilizada nos processos de fundição. Nesta areia são misturados ligantes ou aglomerados que têm a finalidade de garantir a manutenção da forma dos machos e das cavidades internas dos moldes durante a fundição.

Com relação à liga metálica empregada, podem ser descritos dois principais tipos de areias de moldagem: a chamada “areia verde” e a “areia ligada quimicamente”. Segundo a ABIFA (1999), na areia verde o principal aglomerante é a argila, e estas areias apresentam materiais orgânicos provenientes do emprego de aditivos. A areia verde é mais largamente utilizada, pois o processo de moldagem é mais econômico e rápido, utilizado principalmente na fundição de peças de ferro. Já areia ligada quimicamente é utilizada em processos de moldagem que utilizam sistemas ligantes orgânicos (resinas fenólicas, furânicas, entre outras), inorgânicos (cimento portland, entre outros) e sistemas mistos. Essas areias podem conter aditivos como óxidos de ferro e também são utilizadas na confecção de machos e alguns tipos de moldes.

Os requisitos básicos para um desempenho satisfatório destas areias são:

- ✓ Possuir estabilidade dimensional-térmica a elevadas temperaturas;
- ✓ Possuir tamanho e formato de partículas adequados;
- ✓ Ser quimicamente inerte a metais fundidos;
- ✓ Não ser facilmente molhada por metais fundidos;
- ✓ Não conter elementos voláteis que produzam gás no aquecimento;
- ✓ Ser disponível em grandes quantidades e preços razoáveis;
- ✓ Possuir pureza e pH de acordo com os requisitos dos sistemas ligantes;
- ✓ Ser compatível com os atuais e novos ligantes químicos à medida que são desenvolvidos (GARNAR, 1977; LE SERVE & WARD, 1976).

Apesar do baixo preço, as areias de sílica não podem ser usadas em todas as aplicações de fundição pelas seguintes razões:

- ✓ Não são estáveis dimensionalmente, expandindo no aquecimento e retraindo no resfriamento, causando defeitos de expansão especialmente em grandes fundidos;
- ✓ São molhadas por alguns metais;
- ✓ Os requisitos ligantes, valores de pH e demanda ácida variam de depósito para depósito;
- ✓ Possuem baixa densidade e não promovem resfriamento rápido;
- ✓ Podem ser perigosas à saúde (GARNAR, 1977; KNOP & SHCHEIB, 1979).

Segundo Scheunemann (2005), qualquer que seja o tipo genérico da areia de moldagem empregada em uma dada fundição, a areia resultante da desmoldagem é, em proporções variáveis passível de ser reutilizada no próprio processo de moldagem que a originou, constituindo assim um sistema de areia recirculante, ao qual fica agregada, parcial ou totalmente, a areia que constituía os machos.

2.3. Impactos ambientais relacionados à atividade de fundição e geração de resíduos

Pode-se afirmar que não existe atividade industrial que não gere impactos ambientais, em pequena, média ou larga escala. Seja pela extração de recursos da natureza, seja pelos rejeitos gerados nos processos produtivos. A indústria siderúrgica é considerada uma atividade que consideravelmente gera impactos ambientais, tanto pela demanda de extração de recursos naturais utilizados em seus processos quanto pelos descartes de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas.

Um dos principais aspectos ambientais da atividade de fundição é a geração de resíduos sólidos. Segundo a ABIFA, o Brasil é um dos maiores produtores de peças fundidas no mundo, com uma produção aproximada de 2.829.000 toneladas de metais fundidos no ano de 2004. A Associação informa que até esse mesmo período já eram 1.315 empresas de fundição cadastradas no país. Estima-se que, para suprir esta demanda de produção, são descartadas cerca de 2 milhões de toneladas de areia, correspondendo a mais de três quartos do total de resíduos gerados pela indústria de fundição (ABIFA, 2006). Os dados demonstram

que o descarte desse resíduo é um aspecto ambiental a ser considerado pelas fundições, tendo em vista o grande volume e ao fato de que ele pode não ser totalmente inerte.

Segundo dados da Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), são gerados anualmente no Brasil 69 milhões de toneladas de resíduos industriais (ABRELPE, 2005). Considerando a estimativa de descarte de 2 milhões de toneladas de areia de fundição, pode-se prever que o percentual desse resíduo gira em torno de 2,8% do total de resíduos industriais gerados no país.

Segundo Armange et al. (2005), no Estado de São Paulo, o total de excedentes de areia de fundição atinge cerca de 1 milhão de toneladas anuais, requerendo a mineração de igual quantidade de areia nova. Por outro lado a indústria da fundição é responsável pela reciclagem de grandes quantidades de metais, como aço, alumínio e ferro que são fundidos novamente e transformados em novas peças.

A areia de fundição é o principal resíduo gerado no processo. De acordo com Bina (2002), por diversos motivos como perda do volume quando em contato com o metal, descaracterização do composto de moldagem, perda das características dos componentes da mistura, torna-se necessária a frequente reposição de elementos no processo de fundição, entre eles a areia. Naturalmente ocorrerá o descarte da parcela que não é passível de reaproveitamento interno.

Segundo Peixoto (2003) a areia de moldagem apresenta características quantitativas e qualitativas diferenciadas em função das peculiaridades de cada processo em particular. Depois de utilizada em moldes a areia fica contaminada por metais pesados, dependendo do material de fundição, e por resinas poliméricas empregadas na compactação.

Mariotto (2001) afirma que se não fosse considerada a presença de contaminantes, muitas areias descartadas pelas fundições poderiam ser classificadas como “inertes” (Classe IIB) segundo a norma NBR 10.004 de 2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Entretanto, a maioria acaba sendo classificada como não inerte (Classe IIA), enquanto que algumas, por conter quantidades elevadas de torrões (que têm concentrações de fenóis superiores aos limites estabelecidos na norma), são classificadas como resíduo perigoso (Classe I). Embora alguns autores afirmem que as areias de fundição em geral, são consideradas resíduos não perigosos, sua classificação depende exclusivamente do processo de moldagem, ou seja, da concentração e tipos de “contaminantes” que com as areias entraram em contato. O que pode ocorrer também, é que a partir de uma análise que classifique o resíduo de areia como classe IIA, o mesmo passe por tratamento para se enquadrar na classe IIB.

A disposição inadequada desses resíduos pode gerar impactos ambientais principalmente em solo e águas superficiais e subterrâneas. Áreas contaminadas são geradas na medida em que os contaminantes dessas areias entram em contato com solo e água e lixiviam a contaminação em limites de aceitação acima do previsto pelos órgãos ambientais. Em São Paulo, o último levantamento de áreas contaminadas realizado pela CETESB identifica duas áreas contaminadas relacionadas a indústrias de fundição, em decorrência principalmente de armazenagem, descarte e disposição de substâncias não divulgadas, com contaminação em solo, subsolo e águas subterrâneas (CETESB, 2011). Certamente outras áreas podem apresentara mesma situação, mas não foram identificadas pelo órgão e encontram-se em situação clandestina.

As quantias envolvidas com o descarte dessas areias são um fator a ser considerado também. A criação e inclusão de regulamentos ambientais mais restritivos nos últimos anos têm obrigado as fundições a destinarem seus excedentes de areia para aterros controlados, segundo critérios de instalação e operação licenciados pelos órgãos ambientais, o que acaba onerando os custos para o gerador, uma vez que os aterros possam se encontrar distantes, além do próprio custo da disposição.

De acordo com Mariotto & Bonin (1996) e com o mercado da destinação final de resíduos sólidos, o custo da disposição de tais resíduos vem comprometendo a economia destas empresas no Brasil e a situação tende a agravar-se devido a fatores como a crescente necessidade de áreas adequadas para depositá-los e a eminente exigência de adequação às normas ambientais nacionais e internacionais.

Algumas indústrias optaram por destinar os resíduos de areia dentro de suas próprias plantas. Entretanto, em muitos casos não foram tomados os devidos cuidados quanto à instalação e operação destes aterros, causando assim passivos ambientais que muitas vezes são desconhecidos por parte dos órgãos ambientais.

A Comissão do Meio Ambiente da ABIFA (1999) orienta as fundições a procurarem os seguintes caminhos para atender as exigências ambientais atuais com relação aos resíduos gerados:

- ✓ Aprimorar processos produtivos visando diminuir a geração de descartes;
- ✓ Desenvolver processos de regeneração das areias usadas que permitam sua reutilização no próprio processo de fundição;
- ✓ Utilizar de forma alternativa seus resíduos;
- ✓ Desenvolver novos ligantes e processos de moldagem e macharia, tendentes a reduzir a carga poluente dos descartes;

- ✓ Determinar o impacto ambiental das areias descartados no processo de fundição.

Frente a esse cenário, torna-se necessário que as indústrias de fundição invistam em tecnologias e processos que visem à melhoria da qualidade final dos resíduos gerados, como: alterações em processos internos visando o menor desperdício e aproveitamento de recursos, substituição de matérias-primas, capacitação e treinamento para os envolvidos, etc, visando à redução na geração de resíduos, o máximo de reaproveitamento dos mesmos dentro ou em outros processos e a geração de resíduos cada vez menos impactantes.

O reaproveitamento desse resíduo apresenta-se como alternativa bastante interessante e gera, além do ganho ambiental, ganhos relacionados à redução de despesas com a destinação do resíduo ou ainda menor custo de produção caso essa areia retorne para o processo.

A regeneração e posterior reutilização de areias de fundição é um tema apresentado na literatura há muitos anos, sendo aplicada através de diferentes processos em fundições do mundo todo. Atualmente constitui uma alternativa técnica e economicamente viável, dependendo de volume, sendo hoje considerada uma operação padrão da indústria de fundição. Entretanto, existem outros processos de tratamento para as areias de fundição. A Comissão de Meio Ambiente da ABIFA (1999) distingue os processos em:

Recuperação: consiste em trazer de volta ao processo produtivo original as areias já utilizadas no vazamento de peças. Após a desmoldagem ocorre a retirada dos resíduos (materiais metálicos e torrões). Após esse processo a areia é esfriada e, devido à presença de uma parcela de materiais alterados pelo contato direto com o metal fundido (argilas, carvões e outros aditivos), torna-se necessário retirar uma porcentagem dessa areia usada (porcentagem essa que varia de acordo com as características necessárias à areia no processo inicial), acrescentando areia nova à mistura na mesma proporção da areia usada que foi retirada.

Reutilização: consiste no uso alternativo das areias descartadas de fundição como agregado fino em aplicações fora da indústria de fundição, como por exemplo, na construção civil, na confecção de artefatos de concreto, em pavimentação asfáltica, entre outras, e também como fonte de sílica para a fabricação de cimento. Na reutilização não são adotadas técnicas de tratamento e/ou descontaminação para as areias, apenas o reuso nas condições em que são descartadas.

Regeneração: é o processo pelo qual as areias descartadas de fundição são submetidas à ação mecânica (atrição) e/ou à ação do aumento da temperatura (calcinação), a fim de limpar a superfície dos grãos da areia-base, removendo os materiais aderidos, com o propósito

de devolver a eles características mais próximas possíveis às das areias novas, de forma a permitir novamente sua introdução como matéria-prima no processo de fundição (fabricação de moldes e machos, principalmente), substituindo total ou parcialmente a areia virgem.

Os resíduos de materiais aderidos podem prejudicar a qualidade dos moldes, tais como restos de resinas ou de argilas, carvões e outros aditivos termicamente degradados no processo de fundição e, a menos que se utilizem técnicas de regeneração, seus teores só serão mantidos sob controle através da diluição da areia recirculada com a adição de areia virgem. Isso cria um excedente de areia na fundição, que exige o descarte de parte da areia proveniente da desmoldagem. As proporções dessa diluição dependem das condições tecnológicas de cada processo. Isto significa que os atuais procedimentos de regeneração por parte das indústrias de fundição acabam gerando um excedente, e por menor que seja se torna um resíduo do processo.

Scheunemann (2005) afirma que uma areia é considerada regenerada quando pode substituir a areia virgem em qualquer das situações em que se usa areia virgem na fundição, isto é:

- a) fabricação de machos (aglomeração com ligantes químicos);
- b) fabricação de moldes com areia ligada quimicamente ou não ligada;
- c) diluição do sistema de areia verde.

Segundo o autor, no processo de regeneração deve ocorrer uma sequência de tratamentos específicos visando basicamente à limpeza superficial de seus grãos e remoção das partículas resultantes dessa limpeza, com o objetivo de reconduzir a areia usada a uma condição semelhante à de uma areia nova, permitindo sua reutilização no processo sem detrimento das qualidades dos moldes ou machos produzidos. Portanto a regeneração deve compreender as seguintes etapas:

- ✓ 1ª etapa: desagregação de torrões e grumos, ou seja, liberação dos grãos individuais da areia, etapa sempre necessária;
- ✓ 2ª etapa: remoção dos resíduos metálicos, na forma de óxidos ou na forma de gotas;
- ✓ 3ª etapa: limpeza superficial dos grãos, ou seja, remoção dos resíduos de aglomerantes, aditivos e seus produtos de decomposição aderidos aos grãos;
- ✓ 4ª etapa: classificação da areia regenerada, de modo a restabelecer a granulometria desejada.

A existência da 3ª etapa no processamento da areia é que efetivamente distingue a regeneração da recuperação, sendo considerada a essência do processo de regeneração. Para a realização destas etapas são utilizadas técnicas de tratamento mecânico (para garantir a

remoção de resíduos aderentes aos grãos); tratamento físico (remoção de contaminantes através de decantações, secagens, resfriamentos, etc); tratamento químico (oxidação química dos contaminantes) e tratamento térmico (volatilização e decomposição de ligantes principalmente orgânicos).

Na regeneração térmica, a calcinação é geralmente o método mais utilizado. Neste processo, ocorre principalmente a remoção da matéria orgânica contida na areia (como resinas fenólicas e poliuretanos), a altas temperaturas (de 700 a 800 °C), gerando emissões de dióxido de carbono e água. É necessário, portanto, que as emissões gasosas passem por um pós-combustor para serem liberadas com segurança ao meio ambiente (ABIFA, 1999). Em geral, os gases gerados são filtrados, muitas vezes por sistemas de filtros de mangas. Neste caso, há necessidade de resfriamento do gás, onde pode ocorrer injeção de água, mistura de ar em condições naturais ou por trocador de calor.

Segundo Biolo (2005), a superfície da areia, por não ser lisa, favorece o estabelecimento de ligações pelos aglomerantes. Com a oxidação do material através do calor, ocorre o rompimento destas ligações, alterando a composição e as características da areia, a qual passa a ter um grau de dilatação menor, sendo vantajoso para o processo de moldagem. A calcinação permite a recuperação de grande porcentagem da areia submetida a esse tipo de tratamento (cerca de 90 a 95%). A areia regenerada, porém, não pode ser usada infinitamente, uma vez que suas características se alteram, deixando de atender alguns parâmetros como grau de umidade, granulometria e grau de permeabilidade (INETI, 2000).

Se regeneradas de forma adequada, as areias usadas podem apresentar propriedades até melhores que as areias novas, como progressivo arredondamento de grãos e aumento da parcela de sílica transformada em variedades alotrópicas com menor expansibilidade térmica (ABIFA, 1999).

Torna-se importante o controle da qualidade da areia regenerada, pois suas características podem afetar a qualidade dos moldes e machos e consequentemente a qualidade do fundido. Os principais controles para areia regenerada são:

- ✓ Teor de umidade;
- ✓ Perda ao fogo;
- ✓ Classificação granulométrica;
- ✓ Demanda ácida / básica;
- ✓ Análise química específica;
- ✓ Temperatura (The Casting Development Centre, 2000; Simmons, 1988).

De acordo com Mariotto (2001), a eficiência da regeneração refere-se ao grau de limpeza dos grãos conseguido com um dado processo de tratamento. Para uma dada areia, o grau de limpeza obtido é função de parâmetros de processo, tais como intensidade da ação mecânica, temperatura e tempo de tratamento.

Os processos térmicos de recuperação de areia são bastante comuns nas fundições de areias ligadas com resinas, tendo em vista sua eficiência da remoção de contaminantes orgânicos. Entretanto, dependendo do porte da fundição e da quantidade de areia excedente gerada, os investimentos relativos à regeneração de areia (tanto instalação quanto operação) podem ser considerados bastante onerosos, muitas vezes inviabilizando a reutilização do excedente no processo. Para tanto se torna essencial realizar uma avaliação econômica com o objetivo de se determinar a viabilidade de investimento de um sistema de regeneração. Segundo a ABIFA (1999) tal avaliação econômica pode ser determinada através da consideração dos seguintes fatores:

- ✓ Aquisição de areia virgem;
- ✓ Transporte, descarga, armazenagem, movimentação e manuseio da areia virgem;
- ✓ Manuseio e disposição de coletores de pó;
- ✓ Preço do equipamento de regeneração;
- ✓ Combustível, energia elétrica e água;
- ✓ Mão de obra necessária para operação do sistema de regeneração;
- ✓ Juros de financiamento do investimento inicial do sistema;
- ✓ Operações de manuseio, armazenagem e mistura da areia usada e virgem;
- ✓ Carga, transporte e destinação de areia usada;
- ✓ Além do custo indireto relativo à disponibilização de áreas para descarte do volume de resíduo gerado atualmente, custo ambiental que dificilmente é calculado tendo em vista a complexidade da questão.

Em busca de alternativas para evitar altos custos e inviabilizar a regeneração, pode-se verificar em algumas regiões e polos de indústrias de fundição, a utilização conjunta de instalações que promovam a regeneração da areia, prática esta bastante difundida em países como Japão e Alemanha.

Segundo Fagundes et al. (2009) pode-se citar alguns dos benefícios da implementação de um empreendimento conjunto para processamento das areias: a redução dos custos logísticos, tanto da recepção de matérias-primas quanto do envio de areias já utilizadas; o fluxo mais ágil de movimentação das areias usadas, evitando a ocupação de espaço improdutivo nas áreas das empresas; melhoria na qualidade da matéria-prima fornecida às

empresas (processada), e a possibilidade de praticar preços menores de venda dessas areias pela diluição dos custos de processamento, devido ao manejo de grandes volumes.

Mariotto (1994) afirma que mesmo as empresas que apresentam limitada capacidade de investimento podem se beneficiar da regeneração, já que existem no Brasil prestadores de serviços de regeneração além de iniciativas de empreendimentos de prestação de serviços, uma delas liderada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) com participação da ABIFA e de empresas no setor, através de uma Unidade Móvel de Tratamento.

Entretanto, além da regeneração, o resíduo de areia de fundição também pode ser reaproveitado em outros processos sem que haja necessidade de tratamento da areia, a mesma é reutilizada conforme foi descartada, desde que não seja classificada como resíduo perigoso, conforme os limites estabelecidos pelas normas técnicas nacionais vigentes. Ambos os casos são considerados bastante favoráveis, tendo em vista não apenas os ganhos ambientais quanto os ganhos econômicos relacionados à economia de recursos virgens e os custos com o transporte e disposição da areia quanto esta se torna um resíduo descartável.

3. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

3.1. Avaliação de impacto ambiental

A Constituição Federal de 1988 determinou em seu art. 225, § 1º, IV, que incumbe ao Poder Público “exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade”. Nesse estudo, avaliam-se as obras e atividades que possam causar séria deterioração ao meio ambiente. Em suma, um estudo de impacto ambiental pressupõe o controle preventivo de danos ambientais. Uma vez constatado o perigo ao meio ambiente, deve-se ponderar sobre quais são as alternativas para que se evite ou minimize o prejuízo.

Quando o assunto são as áreas já impactadas, ou seja, aquelas que sofreram de alguma forma qualquer impacto em solo ou águas superficiais ou subterrâneas, a avaliação de impacto ambiental apresenta caráter corretivo, visando primeiramente avaliar o grau de comprometimento de determinada área, para que assim sejam avaliadas também as alternativas mais adequadas de remediação do impacto causado. Para tanto, existem alguns documentos e publicações no cenário nacional que apresentam caráter de lei, abordando esse tema, bem como legislações e padrões adotados há mais tempo em outros países, como Estados Unidos e países da Europa, os quais serão apresentados e descritos a seguir.

3.2. Gerenciamento de áreas contaminadas

A Lei 997 de 31/05/76, em seu artigo 15, item V, discrimina como objeto de regulamentação “os Padrões de Qualidade do Meio Ambiente como tais entendidos a intensidade, a concentração, a quantidade e as características de toda e qualquer forma de matéria ou energia, cuja presença, nas águas, no ar ou no solo, possa ser considerada normal”.

No Brasil, o estado de São Paulo foi pioneiro no que diz respeito à elaboração de um documento técnico e informativo relacionado ao gerenciamento de áreas contaminadas, que passou a ser adotado na gestão dessas áreas no estado. Entretanto, diversos países já haviam estabelecido seus valores orientadores. O uso generalizado das listas de valores limite para

avaliação de contaminações de solo e águas subterrâneas começou nos países industrializados, há cerca de 20 anos, quando o problema de poluição foi se tornando conhecido. Essas listas foram desenvolvidas em virtude da necessidade de se obter parâmetros comparativos, possibilitando definir o grau de poluição de uma área ou local e quais os procedimentos a serem adotados.

A Holanda foi o primeiro país a formalizar um programa nacional para avaliação de contaminação e estabelecimento de níveis de intervenção, considerando para o solo sua multifuncionalidade, ou seja, suas funções na agricultura, ecologia, transporte, suprimento de água potável, etc. Assim sendo, foi criada em 1983 uma lista como guia de avaliação e remediação de locais contaminados, conhecida como “Lista Holandesa”. Em 1987 o governo promulgou a Lei de Proteção do Solo (“Soil Protection Act”), reforçando o conceito de multifuncionalidade do solo. Em 1994 o Ministério da Habitação, Planejamento e Meio Ambiente (VROM), estabeleceu novos valores denominados STI (“Streefwaarde” – referência; “Toetsingswaarde” – alerta e “Interventiewaarde” – intervenção), estabelecendo três níveis de qualidade para solo e águas subterrâneas (CETESB, 1999b). A última revisão dos valores ocorreu em 2006, que é atualmente utilizada.

Em 1993, a Agência de Proteção Ambiental Americana - United States Environmental Protection Agency (USEPA) apresentou, para 30 substâncias, os valores genéricos para solos, chamados “Soil Screen Levels” (SSL), derivados a partir de modelos padronizados de exposição humana. O relatório fornecia as equações para cálculo do risco, valores padronizados para cada variável e metodologia de amostragem de solo (CETESB, 1999a).

Assim, a USEPA desenvolveu um procedimento de avaliação da contaminação em solos (“Soil Screening Framework”), que representa a primeira, de uma série de ferramentas para desenvolver um sistema de avaliação e remediação padronizado. É uma metodologia simples para calcular níveis de contaminação no solo da área em estudo, abaixo do qual não são necessárias investigações adicionais. Utilizando-se equações para o cálculo da exposição humana, cujas variáveis foram parametrizadas, a USEPA apresentou em 1994, um relatório preliminar com valores genéricos para 107 substâncias. Estes valores são utilizados como opção, quando não se dispõe de dados específicos do local. A USEPA apresentou um relatório final em 1996, com uma lista de valores genéricos revisada e ampliada para 110 substâncias químicas (USEPA, 1996a; USEPA, 1996b). A partir de 2008, as revisões da lista foram publicadas, pelo menos, anualmente.

A Alemanha possui lei federal sobre proteção dos solos e áreas contaminadas (RLFPS). A legislação também é baseada em valores (investigação e intervenção), e foi

aprovada com intuito de orientar os estados e municípios com relação ao tema. Em estados como Hessen há mais de 15 anos apresenta legislação estadual para reconhecimento, contenção e remediação de áreas contaminadas, a qual define responsabilidades perante o passivo e sua remediação, o procedimento para monitoramento e remediação, custos e competências. A RLFPs, bem como os instrumentos normativos existentes em outros países da Europa e América do Norte, foi profundamente estudada no Brasil com o intuito de servir como base para a criação dos instrumentos legais aqui existentes, principalmente no estado de São Paulo, pioneiro na gestão dessas áreas (CETESB, 1999c).

Após avaliação e comparação entre várias legislações para solos e águas subterrâneas e entre metodologias para derivação de listas genéricas, elegeu-se a metodologia holandesa como base para o estabelecimento de valores orientadores para o Estado de São Paulo (CETESB, 1999a). Como justificativas, a CETESB identifica que:

- ✓ A metodologia holandesa foi a primeira, é amplamente conhecida, consolidada, aceita e seguida por diversos países;
- ✓ Muitas empresas de consultoria ambiental têm apresentado relatórios à CETESB, usando a lista holandesa para constatar a necessidade ou não de intervenção na área estudada;
- ✓ É uma metodologia baseada em critérios científicos, usando modelagem matemática de avaliação de risco à saúde humana;
- ✓ Permite alterações nos valores das variáveis básicas do modelo, facilitando assim a adaptação às condições do Estado de São Paulo e a introdução de diferentes cenários.

Em 26 de outubro de 2001, a CETESB publicou o Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo, e a primeira lista de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas, contemplando 37 substâncias. Em dezembro de 2005, a CETESB publicou a nova lista de valores orientadores contemplando 84 substâncias, a partir da Decisão de Diretoria nº 195-2005-E, substituindo automaticamente os valores de 2001.

Em 22 de junho de 2007 foi publicada a Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, aprovando o novo procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas. A Decisão apresenta a revisão dos procedimentos adotados pela CETESB, exigindo dos responsáveis por áreas contaminadas a condução do gerenciamento do passivo ambiental. Em suma, a Decisão visa à descrição das etapas do gerenciamento a serem executadas, seus objetivos, a forma

como devem ser desenvolvidas e os responsáveis pela sua execução, incluindo a etapa de avaliação de risco. A Decisão prevê também a criação de um grupo gestor (interno) de áreas críticas, com foco de atuação nessas áreas visando sua recuperação.

Em julho de 2009, o Governo do Estado aprovou a Lei nº 13.577, que dispõe sobre as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas. A Lei introduz importantes instrumentos para o gerenciamento de áreas contaminadas como o cadastro das áreas contaminadas no Estado. Inclui também as responsabilidades em decorrência da contaminação das mesmas, além da criação do Fundo Estadual para a Prevenção e Remediação de Áreas Contaminadas (FEPRAC), vinculado à Secretaria do Meio Ambiente (SMA) e destinado à proteção de solo. Solicitando a identificação e remediação de áreas contaminadas, principalmente aquelas em que não seja possível identificar os responsáveis pela contaminação. Entretanto, a lei ainda carece de uma regulamentação que, atualmente está em fase de consulta pública.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou em dezembro de 2009 a Resolução nº 420, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo e estabelece diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas pelas substâncias determinadas na resolução. Essa apresenta uma lista de valores orientadores e os respectivos limites máximos. A Resolução indica que os órgãos estaduais de meio ambiente podem estabelecer seus próprios limites, desde que tecnicamente aprovados pelo CONAMA, garantindo pelo menos o mesmo nível de risco ou mais restritivo. Os valores foram baseados principalmente nos valores já adotados pelo Estado de São Paulo em 2005.

3.3. Gerenciamento e destinação de resíduos sólidos

Com base na Lei nº 6938/81, as empresas que poluem o meio ambiente são obrigadas, independentemente da existência de culpa, a indenizar e/ou reparar os danos causados ao meio ambiente e também a terceiros que sejam de alguma forma afetados por sua atividade produtiva. A geração de resíduos é um dos principais aspectos ambientais causadores de poluição, quando não gerenciados corretamente, em especial pelas indústrias.

A classificação do resíduo é a etapa inicial e fundamental para definir o processo de gerenciamento, tanto técnica quanto economicamente, permitindo identificar substâncias, contaminantes, analisar sua origem, e potencialidade de danos ao ambiente (OLIVEIRA,

2007). No Brasil, os resíduos são classificados conforme riscos à saúde pública e ao meio ambiente, de acordo com a norma NBR 10004 da ABNT. Esta norma foi editada em 1987 e revisada em 2004. Segundo a mesma, os resíduos são classificados em: classe I (perigosos); classe IIA (não perigosos e não inertes) e classe IIB (não perigosos e inertes).

Procedimentos de gerenciamento (coleta, transporte, etc) e alternativas de destinação (aterros, incineração, reciclagem, co-processamento, etc) levam em consideração a periculosidade do resíduo, bem como suas características físico-químicas, de modo a propiciar o melhor destino aos resíduos gerados, visando primordialmente à recuperação ou reutilização dos mesmos em outros processos, seja ele perigoso ou não.

Conforme preveem os órgãos ambientais estaduais, os resíduos gerados devem ser destinados a locais previamente licenciados, obedecendo a critérios técnicos construtivos, que absorvam resíduos conforme suas características e tecnologia disponível, o que pode encarecer o processo dependendo do resíduo. Resíduos industriais são os que demandam maior investimento por parte dos geradores para destinação. Em virtude desse cenário e da falta de regulamentação no passado, muitas indústrias destinaram seus resíduos de forma inadequada, gerando passivos ambientais que perduram até hoje.

3.4. Gerenciamento e destinação de resíduos de areia de fundição

O resíduo de areia de fundição é classificado como não perigoso segundo a norma NBR 10004 da ABNT (Anexo H). Entretanto, segundo Oliveira (2007), há duas possíveis fontes de contaminação, que classificariam a areia de fundição como resíduo classe I. As resinas do sistema aglomerante que podem conter constituintes orgânicos ou inorgânicos, tais como fenol, silicato de sódio, etc, e a presença de metais pesados, originários da etapa de vazamento. Diante desse cenário, é interessante que a areia contaminada resultante do processo de fundição seja reaproveitada, pois, desta forma, é possível minimizar o impacto ambiental decorrente do descarte da areia já utilizada e da extração da areia virgem.

Nas últimas duas décadas, a indústria de fundição foi profundamente afetada devido ao impacto das novas regulamentações ambientais, elaboradas para as emissões líquidas, sólidas e gasosas (THOMAS, 1996). Com relação à emissão de resíduos sólidos, em São Paulo, a CETESB publicou em agosto de 2007 a Decisão de Diretoria nº 152/2007/C/E, que dispõe sobre procedimentos para gerenciamento de areia de fundição, com exigências técnicas

obrigatórias a serem atendidas pelas empresas geradoras, bem como pelas empresas destinatárias desse resíduo (CETESB, 2007).

A Decisão prevê ações a serem adotadas pelas empresas que possuem depósitos inadequados internos ou externos dessas areias, de forma exigir a adequação dessas áreas, seja pela remoção dos resíduos ou pelo confinamento seguro, de forma a evitar impactos em solo e águas subterrâneas.

No que se refere à reutilização do resíduo, a Decisão prevê que as propostas de reutilização devam ser encaminhadas ao órgão ambiental que por sua vez avaliará a proposta segundo alguns critérios: classificação do resíduo, atendimento aos limites máximos permitidos em norma técnica para os ensaios de lixiviação e solubilização, pH e toxicidade. Não sendo permitida a diluição desse em outros resíduos ou materiais para se enquadrar nas condições exigidas. Além dos critérios técnicos, a empresa destinatária, produtora dos subprodutos do processo de reutilização deve estar licenciada e o gerador do resíduo deve solicitar autorização de destinação para o mesmo.

Para os geradores de resíduos de areia de fundição que efetuem deposição inadequada, a Decisão prevê prazos para paralisação da deposição, apresentação de proposta para destinação adequada e reporte anual do gerenciamento desse resíduo, visando monitorar as ações adotadas pelas indústrias em favor da minimização dos impactos ambientais relacionados.

Em nível nacional, no que diz respeito à reutilização dos resíduos de areias de fundição para outros fins, foi criada em 1999 uma norma técnica da ABNT, titulada como “Areia descartada de fundição – Diretrizes para aplicação em asfalto e em aterro sanitário” (ABNT, 2009). Bastante genérica, a norma informa que as areias a serem reutilizadas devem ser classificadas como resíduo não perigoso e devem atender a concentrações máximas de alguns parâmetros estabelecidos (como pH, metais, cloreto, fluoreto, sódio, sulfato, sulfeto, etc). Para tanto, os geradores e usuários devem obter autorização do órgão ambiental competente. Entretanto, há de se levar em consideração os requisitos legais criados posteriormente sobre a contaminação de áreas (solo e águas subterrâneas), já que, pode ocorrer de um resíduo não perigoso gerar uma área contaminada.

No Rio Grande do Sul existe a Diretriz Técnica nº 001 de 2010 da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) para a incorporação de resíduos sólidos em processos industriais, com o objetivo de aproveitamento como forma de destinação final, mediante garantia de conformidade técnica do produto e de proteção ambiental (FEPAM, 2010). O

licenciamento da atividade de incorporação está atrelado à participação de unidades de pesquisa nos estudos necessários, a partir de testes de bancada e testes em escala industrial.

No estado de Santa Catarina, foi publicada em agosto de 2008 a Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA) nº 011, que estabelece critérios para utilização de areia de fundição de materiais ferrosos na produção de concreto asfáltico e artefatos de concreto sem função estrutural, visando o licenciamento ambiental desta prática, além de conter exigências técnicas obrigatórias a serem atendidas pelas empresas geradoras desse resíduo (CONSEMA, 2008). A Resolução prevê que as propostas de reutilização serão avaliadas segundo alguns critérios: classificação do resíduo, atendimento aos limites máximos permitidos em norma técnica para os ensaios de lixiviação e solubilização, pH e toxicidade. Não sendo permitida a diluição desse em outros resíduos ou materiais para se enquadrar nas condições exigidas. Além dos critérios técnicos, a empresa destinatária, produtora de concreto asfáltico e de artefatos de concreto sem função estrutural deve estar licenciada e o gerador do resíduo deve solicitar aprovação de destinação final junto ao órgão ambiental.

Com relação ao reaproveitamento de resíduos de areia de fundição, estados como São Paulo, Santa Catarina, Minas Gerais e Rio Grande do Sul estão autorizando e licenciando pontualmente iniciativas de reaproveitamento, após a realização de testes e estudos detalhados. Entretanto não foram aprovadas leis ou outras regulamentações estaduais acerca do reaproveitamento desses resíduos para outros fins, o que deve ocorrer em breve devido à demanda do mercado frente a essa questão.

Em outros países, algumas normas e portarias já surgiram para orientar as empresas quanto ao reaproveitamento do resíduo de fundição em outros processos. Essa prática é recente na Europa, no entanto em desenvolvimento, por ser considerada prioridade dentro da indústria europeia por seus benefícios de preservação ambiental e econômico.

A Agência Ambiental Americana publicou a Portaria nº 0400.007 – “Uso beneficiário de cinzas não tóxicas, poeiras e areias de fundição descartadas e outros resíduos isentos”. Essa portaria foi criada em resposta ao grande número de solicitações de reuso de alguns produtos secundários gerados nas indústrias (incluindo as areias de fundição) (USEPA, 2003).

Wisconsin, também nos Estados Unidos possui a norma (NR 538), intitulada “Uso beneficiário de subprodutos industriais” a qual estabelece os padrões de desempenho e usos aceitáveis de subprodutos industriais, principalmente areias ferrosas de fundição, lamas ferrosas de fundição e cinzas de carvão (padrões para outros materiais são determinados caso a caso sob coordenação do Departamento de Recursos Naturais) (USEPA, 2006).

No último decênio, principalmente, a legislação nacional está sendo desenvolvida de modo a promover a gestão adequada do resíduo, definindo a responsabilidade legal perante sua destinação e remediação quanto este se torna um passivo. Certamente a fiscalização deve acompanhar esse ritmo, de modo a evitar o mau gerenciamento e o abandono de passivos. Tecnologias para o reaproveitamento e recuperação das areias descartadas nos processos de fundição existem, a legislação deve acompanhar essa tendência para que os impactos sejam minimizados, eliminando aos poucos o paradigma de um resíduo por muito tempo considerado “sem solução”. As combinações de metais e outros possíveis poluentes nos processos de fundição devem ser avaliados caso a caso, para que sejam viabilizadas alternativas isentas de atrair riscos ambientais e à saúde pública. Economicamente, a reutilização se mostra muito mais atraente para as fundições, tendo em vista os altos custos relacionados ao transporte e disposição adequada do resíduo. Numa eventual disposição inadequada os custos tornam-se muito maiores quando se detecta contaminação da área e a necessidade de sua recuperação.

4. GEOLOGIA DA REGIÃO DE ESTUDO

Localizada no município de Sorocaba no estado de São Paulo, a área de estudo situa-se na borda leste da Bacia do Paraná. A formação da Bacia do Paraná está ligada à subsidência da plataforma Sul-Americana a partir do Siluriano/Devoniano Inferior, atingindo extensão máxima entre o Carbonífero Superior e o Permiano.

Possui espessura sedimentar superior a 7000 metros (MILANI & ZALAN, 1999), desenvolvida sobre a crosta continental. Seu principal preenchimento é siliciclástico. É composta por depósitos paleozoicos, mesozoicos, lavas basálticas e, localmente, sedimentos cenozoicos (SCHNEIDER et al., 1974), subdivida em unidades litoestratigráficas: Grupos Paraná, Tubarão, Passa Dois, São Bento e Bauru. O Grupo Tubarão é formado por rochas sedimentares neopaleozoicas da base da Bacia do Paraná, subdividido entre o Subgrupo Itararé, constituído por sedimentos depositados em condições glaciais, e a porção superior, composta por sedimentos pós-glaciais correspondentes à Formação Tatuí (VIDAL et al., 2005).

O Subgrupo Itararé, onde está inserida a área de estudo, é caracterizado pela presença de arenitos de granulação variada e diamictitos, que refletem influências glaciais em seus diferentes ambientes deposicionais (SCHNEIDER et al., 1974). As características texturais e as estruturas sedimentares caracterizam um ambiente de deposição marinho ou flúvio-lacustre durante um ciclo glacial, pois apresentam estruturas sedimentares como marcas de onda, estratificação plano-paralela, gradacional e laminação cruzada. Secundariamente ocorrem folhelhos, siltitos e ritmitos irregulares e, localmente, ritmitos regulares (varvitos). No estado de São Paulo, apresenta espessura superior a 1300 metros.

O Subgrupo Itararé, na região central do Estado de São Paulo, onde se localiza a área de estudo, repousa sobre o embasamento cristalino cuja superfície erosiva apresenta localmente evidências de retrabalhamento pelo deslocamento do gelo, como por exemplo, a ocorrência da rocha Moutonnée (ALMEIDA, 1946) e vales glaciais (MELFI & BITTENCOURT, 1962), como os observados, por exemplo, próximo à Sorocaba. Com relação ao contato superior, o Subgrupo Itararé é sobreposto pela Formação Rio Bonito (SCHNEIDER et al., 1974) ou Formação Tatuí (SOARES et al., 1977), ambos depositados em condições pós-glaciais.

LEGENDA**CENOZÓICO**

- Qa** Sedimentos Aluvionares - Aluviões em geral, incluindo areias inconsolidadas de granulação variável, argilas e cascalheiras fluviais subordinadamente, em depósitos de calha e/ou terraços.
- CPi** Grupo Tuburão - Formação Itararé - Depósitos glaciais continentais, glácio-marinhos, fluviais, deltaicos, lacustres e marinhos, compreendendo principalmente arenitos de granulação variada, imaturos, passando a arcósios; conglomerados, diamictitos, tilitos, siltitos, folhelhos, ritmitos; raras camadas de carvão.
- PSsC** Calcários dolomíticos, calcíticos e hornfels calcossilicáticos emauréolas termo-metamórficas.
- PSsF** Facies Cantareira - corpos para-autóclones e alóctones, foliados, granulação fina a média, textura porfirítica frequente; contatos parcialmente concordantes e composição a granítica.
- PS_γC** Filitos, quartzo filitos e filitos grafitosos em sucessões rítmicas incluindo subordinadamente metassiltitos e quartzo xistos, micaxistos e quartzitos.
- PSsQ** Quartzitos, quartzitos feldspáticos com metarcósios e metagrauvacas subordinadas
- PSsB** Anfibolitos, metagabros e epidoto anfibolitos
- PSeM** Migmatitos homogêneos variados predominando os de natureza homofânica, oftalmítica e facoidal

5. MÉTODOS E RESULTADOS

A presente pesquisa foi desenvolvida seguindo as etapas abaixo indicadas:

- ✓ Dimensionamento do corpo depositado;
- ✓ Instalação dos poços de monitoramento;
- ✓ Amostragem das águas subterrâneas;
- ✓ Análise química das águas subterrâneas;
- ✓ Coleta de amostras do resíduo depositado;
- ✓ Determinação da variação granulométrica do resíduo;
- ✓ Análise morfológica e química qualitativa do resíduo por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);
- ✓ Conteúdo químico quantitativo do resíduo.

5.1. Dimensionamento do corpo depositado

A primeira atividade de campo consistiu do reconhecimento da área de disposição dos resíduos. Nessa foram consultados engenheiros e funcionários antigos da empresa com o intuito de se ter uma avaliação mais precisa possível do histórico da disposição desse material. Após esse reconhecimento, foi realizado o dimensionamento do corpo depositado, com o objetivo de promover a realização das etapas de investigação subsequentes, bem como estabelecer o plano de instalação de poços de monitoramento para coleta de amostras de água, como também previsão de investigação do corpo por abertura de sondagens e trincheiras para coleta de amostras do resíduo. Para o dimensionamento do corpo, as medições foram realizadas empregando-se trena e teodolito.

Os resultados do dimensionamento indicaram um volume depositado da ordem de 272.160 metros cúbicos de resíduos. Valor obtido pelos resultados do comprimento em 270 metros, por 120 metros de largura e aproximadamente 8,4 metros de altura. Tal material foi disposto diretamente sobre o solo (superficialmente), e sem qualquer providência de isolamento do substrato. A figura 3 apresenta a face Norte desse corpo. Considerando-se uma

densidade de $1,8 \text{ g/cm}^3$ do produto acredita-se que estejam nesse local cerca de 489.888 toneladas de resíduos de areia de fundição depositados ao longo de aproximadamente 35 anos de atividade. Em função da existência de um termo de confidencialidade entre os pesquisadores, a empresa prestadora de serviço e a empresa produtora do resíduo, a mesma não será identificada.

Figura 3 - Área de deposição do resíduo.
Fonte: (ARAUJO, 2004)

5.2. Instalação dos poços de monitoramento

A partir do dimensionamento do corpo depositado, definiu-se os locais para a instalação de seis Poços de Monitoramento (PM) de PVC Geomecânico de 2 polegadas de diâmetro. A instalação dos poços foi executada a partir de sondagens segundo a norma NBR 15495 – 01/07 - Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares – Projeto e Construção (ABNT, 2007). Os quatro primeiros poços (PM-1 a PM-4) foram instalados através de sondagem a trado mecânico, e os poços PM-5 e PM-6 instalados a trado manual.

A sondagem manual foi realizada com trado holandês de 4 polegadas. Já a sondagem para instalação dos poços 1 a 4 foi realizada com trado mecânico, ambas realizadas por empresa terceirizada contratada pela fundição.

Figura 4 - Sondagem a trado manual.
Fonte: (ARAÚJO, 2004)

O comportamento do fluxo das águas subterrâneas foi obtido através de medições dos níveis d'água (NA) em cada poço, após a estabilização dos mesmos. As medições foram realizadas com medidor elétrico, destacando-se o procedimento descrito por USEPA (1994).

A partir da instalação dos poços de monitoramento, foram confeccionados os perfis construtivos dos poços, que podem ser visualizados no Anexo A. A localização dos mesmos é apresentada na figura 5:

Figura 5 - Localização dos poços de monitoramento instalados.
Escala: sem escala.

A tabela 1 exhibe as relações de profundidade e a localização dos poços:

Tabela 1 - Profundidade e localização dos poços de monitoramento instalados

Poço de monitoramento	Profundidade total (m)	Localização
PM-1	9,50	Depósito (Norte)
PM-2	7,00	Depósito (Sudeste)
PM-3	10,40	Montante da área
PM-4	9,50	Depósito (Sul)
PM-5	5,54	Noroeste da área (branco)
PM-6	3,50	Jusante da área

Fonte: (ARAUJO, 2004)

A obtenção do mapa potenciométrico proveio dos dados obtidos nos diversos poços conforme normas de análise para esse tipo de avaliação. Os resultados obtidos encontram-se na tabela 2. A profundidade do NA indicada refere-se à boca do tubo de revestimento. O fluxo das águas subterrâneas pode ser observado na figura 6.

Tabela 2 – Medições de nível de água dos poços e cotas topográficas

Poço	Cota topográfica (m)	Nível de água (m)
PM-1	572,61	6,46
PM-2	570,47	4,09
PM-3	571,90	7,38
PM-4	570,72	7,55
PM-5	579,11	0,75
PM-6	569,88	0,65

Fonte: (ARAUJO, 2004)

Figura 6 - Fluxo das águas subterrâneas.
Escala: sem escala.

5.3. Amostragem das águas subterrâneas

Para a verificação da qualidade das águas subterrâneas foram realizadas três campanhas de amostragem por Araujo (2004) em conjunto com empresa de prestação de serviços ambientais que cederam os dados para nova interpretação, contemplando três períodos distintos de um ano climático (verão e inverno) conforme demonstra a tabela 3:

Tabela 3 – Campanhas de coletas de águas subterrâneas

Campanha	Coleta
C1	Julho
C2	Dezembro
C3	Maiο

Fonte: (ARAUJO, 2004)

Em cada campanha foram coletadas seis amostras, sendo:

- ✓ 5 amostras dos poços de monitoramento – PM-1, PM-2, PM-3, PM-4 e PM-6;
- ✓ 1 branco de campo – PM-5.

Após 72 horas da instalação e desenvolvimento dos poços de monitoramento, foram realizadas as coletas de água subterrânea nos mesmos utilizando-se da metodologia de

micropurga. Pela metodologia a água subterrânea é bombeada diretamente na seção filtrante do poço sob baixa vazão, purgando apenas a zona de amostragem definida. Visando proporcionar melhor qualidade da água, as amostragens foram obtidas com bombeamento a vazões inferiores a 200 mL/min. Essa metodologia fornece amostras de água com baixa turbidez e representativas do aquífero local. As amostras foram coletadas após estabilização dos parâmetros físico-químicos indicativos de qualidade de água (pH, temperatura e condutividade). A estabilização dos parâmetros indicou que a água bombeada era representativa do aquífero e assim propícia para análise.

Todas as amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno esterilizados e posteriormente lacradas. Conforme o tipo de análise a ser realizada, foram selecionados os tipos de frascos e preservantes.

5.4. Análise química das águas subterrâneas

As amostras de água subterrânea foram enviadas para laboratório terceirizado (empresa Bioagri Ambiental) obedecendo estritamente às condições de preservação de cada análise. Essas foram realizadas para os seguintes grupos de parâmetros e com os respectivos métodos analíticos:

- ✓ Metais (método EPA 3050B/6010) – Alumínio, Antimônio, Bário, Berílio, Boro, Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Molibdênio, Níquel, Prata, Selênio, Titânio, Vanádio, Zinco;
- ✓ Mercúrio (método EPA 7471);
- ✓ Cátions e ânions – Cloreto (SM 4500Cl B); Nitrato (EPA 353.3); Fluoreto (EPA 300.1); Sulfato (EPA 300.1); Sódio (EPA 6020);
- ✓ Fenol (método EPA 8270);
- ✓ Outros: pH (SMEWW 4500 - H⁺ - B - Electrometric Method); Dureza (POP PA 027 / SMWW 2340 A, B, C).

A escolha dos parâmetros foi realizada em função do objetivo do trabalho e procurando-se caracterizar de forma abrangente a área, tendo em vista o tipo de resíduo depositado na mesma e os metais presentes no processo de fundição da indústria em questão.

5.4.1. Parâmetros de qualidade

Foi adotada como referência para análise da qualidade da água subterrânea a lista dos Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea no Estado de São Paulo (CETESB, 2005). Para as substâncias não contempladas pela lista da CETESB, foram adotados também os valores máximos permitidos (VMP) da Portaria 2914 do Ministério da Saúde (MS, 2011). Não foram adotados como referência os Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea definidos nacionalmente pela Resolução CONAMA n° 420 de 2009 (CONAMA, 2009), já que os mesmos são, em sua maioria iguais ou, em alguns casos, menos restritivos que os valores adotados pela CETESB.

Os resultados das análises foram também comparados com valores de referência internacionais. Entre os valores de referência internacionais utilizados para avaliar a qualidade da água subterrânea destacam-se os utilizados na Holanda (VROM, 2000) e nos Estados Unidos (USEPA, 2011), que são os mais amplamente difundidos.

Os valores holandeses utilizados foram os Valores de Intervenção que indicam os níveis de qualidade ambiental acima dos quais os riscos à saúde humana e ao meio ambiente são inaceitáveis requerendo ações de intervenção (VROM, 2000). Os valores americanos são utilizados como referência nos diagnósticos ambientais e nos projetos de remediação de áreas contaminadas.

5.4.2. Resultados de água subterrânea e comparação com valores de referência nacionais

Dentre os parâmetros analisados, para compostos inorgânicos, foram identificados os cátions: alumínio, bário, boro, chumbo, ferro, sódio, manganês e selênio. Por outro lado foram identificados os seguintes ânions como: cloretos, fluoretos, nitrato (como NO_3) e sulfatos.

As concentrações dos parâmetros analisados nas amostras de água subterrânea foram comparadas com os valores orientadores descritos pela CETESB no estado de São Paulo. Os valores de intervenção da CETESB não incluem alguns dos íons analisados e presentes nas águas subterrâneas. Dessa forma, para esses elementos, também foram utilizados como

referências, os padrões de potabilidade da Portaria 2914 do Ministério da Saúde. As tabelas a seguir apresentam as comparações dos resultados desses parâmetros com os referidos valores de referência. São apresentados apenas os parâmetros analisados que apresentaram resultados acima dos limites de detecção das análises, conforme tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 – Comparação dos resultados de águas com parâmetros de referência nacionais
(mg/L) – Campanha 1

Elementos e Compostos Químicos	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4	PM-5	PM-6	CETESB Intervenção	Portaria MS 2914
Alumínio	ND	ND	ND	ND			0,2	0,2
Bário	ND	ND	ND	ND			0,7	0,7
Boro	ND	ND	ND	ND			0,5	*
Cádmio	ND	ND	ND	ND			0,005	0,005
Chumbo	0,03	0,05	0,02	ND			0,01	0,01
Cloreto	ND	ND	ND	ND			*	250
Ferro total	ND	ND	ND	ND			0,3	0,3
Fluoreto	ND	ND	ND	ND			*	1,5
Manganês	ND	ND	ND	ND			0,4	0,1
Nitrato (como NO ₃)	ND	ND	ND	ND			*	*
Selênio	ND	ND	ND	ND			0,01	0,01
Sódio	ND	ND	ND	ND			*	200
Sulfato	ND	ND	ND	ND			*	250

Obs.: ND - não detectável; * - não possui parâmetro de referência.

Fonte: (ARAUJO, 2004)

Tabela 5 – Comparação dos resultados de águas com parâmetros de referência nacionais
(mg/L) – Campanha 2

Elementos e Compostos Químicos	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4	PM-5	PM-6	CETESB Intervenção	Portaria MS 2914
Alumínio	0,08	ND	1,72	0,13	ND	0,08	0,2	0,2
Bário	0,21	0,2	ND	0,21	ND	ND	0,7	0,7
Boro	0,18	1,38	0,18	0,18	0,18	0,18	0,5	*
Cádmio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,005	0,005
Chumbo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	0,01
Cloreto	ND	ND	ND	ND	ND	ND	*	250
Ferro total	0,3	0,1	0,94	3,47	6,19	0,11	0,3	0,3
Fluoreto	0,3	2,9	0,1	0,2	0,2	0,8	*	1,5
Manganês	0,35	1,67	ND	0,94	1,28	ND	0,4	0,1
Nitrato (como NO ₃)	0,4	ND	0,6	0,4	ND	7,5	*	*
Selênio	ND	ND	ND	ND	ND	0,02	0,01	0,01
Sódio	8,84	299,3	3,93	516,7	12,4	40,9	*	200
Sulfato	11	52	ND	8	ND	14	*	250

Obs.: ND - não detectável; * - não possui parâmetro de referência.

Fonte: (ARAUJO, 2004)

Tabela 6 – Comparação dos resultados de águas com parâmetros de referência nacionais
(mg/L) – Campanha 3

Elementos e Compostos Químicos	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4	PM-5	PM-6	CETESB Intervenção	Portaria MS 2914
Alumínio	ND	ND	ND	0,08	0,05	ND	0,2	0,2
Bário	0,19	0,16	ND	0,35	0,06	0,17	0,7	0,7
Boro	ND	0,81	ND	0,41	ND	0,32	0,5	*
Cádmio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,005	0,005
Chumbo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	0,01
Cloreto	5	ND	ND	47	ND	8	*	250
Ferro total	1,91	1,11	ND	3,4	0,13	0,32	0,3	0,3
Fluoreto	0,77	0,15	ND	2,03	ND	ND	*	1,5
Manganês	0,66	1,62	ND	0,87	ND	0,52	0,4	0,1
Nitrato (como NO ₃)	ND	ND	ND	10	4,26	11,2	*	*
Selênio	ND	ND	ND	0,01	ND	0,01	0,01	0,01
Sódio	60,1	227	0,56	351	3,74	88,7	*	200
Sulfato	15	1,3	7,6	112	ND	26	*	250

Obs.: ND - não detectável; * - não possui parâmetro de referência.

Fonte: (ARAUJO, 2004)

Com relação à Campanha 1, não foram apresentados resultados para os poços PM-5 e PM-6 pois não foi possível efetuar coleta. Os resultados das análises para compostos

inorgânicos indicaram a presença de metais como: alumínio, bário, chumbo, manganês e selênio em alguns poços e boro e ferro em grande parte das amostras analisadas, conforme demonstra a tabela 7.

Tabela 7 - Elementos inorgânicos identificados nos poços de monitoramento

Elemento	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4	PM-5	PM-6
Alumínio	x		x	x	x	x
Bário	x	x		x	x	x
Boro	x	x	x	x	x	x
Chumbo	x	x	x			
Ferro	x	x	x	x	x	x
Manganês	x	x		x	x	x
Selênio				x		x

Outros compostos como cloreto, fluoreto, nitrato, sódio e sulfato foram identificados em geral na segunda e terceira campanhas. Entretanto, para a CETESB não existe valor orientador comparativo para esses parâmetros. Na Portaria 2419, os elementos fluoreto, sódio, cloreto e sulfato apresentam limites máximos de concentração.

Grande parte dos elementos aqui analisados encontra-se dentro dos limites de concentração estabelecidos pela CETESB e pelo Ministério da Saúde. Na primeira campanha observa-se a ocorrência de chumbo acima do limite de intervenção da CETESB nos PM-1 (0,03 mg/L), PM-2 (0,05 mg/L) e PM-3 (0,02 mg/L), o que não ocorreu nas demais campanhas. Uma provável interpretação para essa anomalia pode ser creditada ao procedimento de análise, pois foi efetuada troca do laboratório nas demais campanhas. Acredita-se que este foi o principal motivo tendo em vista a diferença verificada nos resultados posteriores.

O elemento boro foi identificado acima dos limites de intervenção da CETESB no PM-2 na segunda e terceira campanhas, nas concentrações de 1,38 mg/L e 0,81 mg/L, respectivamente. Esse elemento pode estar sendo concentrado em face de sua facilidade de solubilidade no meio analisado. Segundo informações verbais da empresa que prestou assessoria para a indústria, está indicado a existência desse elemento nas águas coletadas posteriores a execução desse projeto. Tal fato indica que o resíduo é portador desse elemento.

Os elementos ferro e manganês obtiveram ocorrência acima dos limites de intervenção da CETESB na segunda e terceira campanhas na maioria dos poços. Esses metais ocorrem com frequência na maioria dos solos brasileiros, fato produzido por processos de hidrólise total. Rochas portadoras desses elementos podem levá-los ao meio aquoso. Assim, os teores anômalos para ferro ultrapassando os limites apresentados pode provir em parte dos solos, mas seguramente parte das areias de fundição que são utilizadas na fabricação de ferro ligas. Para o manganês a interpretação é a mesma visto que em ferro ligas utiliza-se o manganês como vetor de fundição.

O selênio foi identificado nas campanhas 2 e 3, no PM-6, com concentrações de 0,02 mg/L e 0,01 mg/L. No PM-4 foi identificada a concentração de 0,01 mg/L na campanha 3. O limite de intervenção da CETESB para este elemento é de 0,01 mg/L. O selênio pode ser encontrado em alguns tipos de ligas, no entanto, considera-se esta ocorrência pontual, já que a mesma não ocorreu nos demais poços. Mesmo assim, considera-se que exista esse elemento no seio do corpo de resíduo e está sendo carregado em parte para as águas que percolam pelo corpo disposto de areia de fundição.

Identificou-se a ocorrência de sódio nos PM-2 e PM-4 acima dos limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde na segunda (299,3 mg/L e 516,7 mg/L) e terceira campanhas (227 mg/L e 351 mg/L), respectivamente. Esses valores anômalos encontrados não encontram explicação no processo de fundição, sendo preferível admitir que o mesmo tenha proveniência a partir das rochas que permeiam o ambiente analisado.

A maioria dos elementos identificados, muitos acima dos limites estabelecidos pelos órgãos de controle ocorreram nos poços 1, 2 e 4, sendo estes localizados na área de disposição das areias de fundição, como mostra a figura 5, no item 5.2.

Comparando os poços a montante (PM-3) e a jusante do aterro (PM-6), os resultados indicam, principalmente na segunda e terceira campanhas, que a maioria dos elementos apresenta concentrações mais elevadas a jusante, para elementos como: fluoreto, nitrato, selênio, sódio, sulfato, bário, boro, cloreto, ferro e manganês. Mesmo que apenas os elementos ferro, manganês, boro e selênio encontrem-se acima dos limites da legislação, o aumento da concentração dos demais elementos também indica que a presença do aterro pode estar ocasionando impacto ambiental no local.

5.4.3. Resultados de água subterrânea e comparação com valores de referência internacionais

As tabelas 8, 9 e 10 apresentam a comparação dos resultados de águas subterrâneas com os valores de referência internacionais da denominada “Lista Holandesa” e os valores sugeridos pela USEPA, esta última mais permissiva que a própria CETESB.

Tabela 8 - Comparação dos resultados de águas com parâmetros de referência internacionais (mg/L) - Campanha 1

Parâmetro	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4	PM-5	PM-6	Lista Holandesa	USEPA
Alumínio	ND	ND	ND	ND			*	37
Bário	ND	ND	ND	ND			0,625	7,3
Boro	ND	ND	ND	ND			*	7,3
Cádmio	ND	ND	ND	ND			0,006	0,018
Chumbo	0,03	0,05	0,02	ND			0,075	*
Cloreto	ND	ND	ND	ND			*	*
Dureza	ND	ND	ND	ND			*	*
Ferro total	ND	ND	ND	ND			*	26
Fluoreto	ND	ND	ND	ND			*	*
Manganês	ND	ND	ND	ND			*	0,88
Nitrato (como NO ₃)	ND	ND	ND	ND			*	*
Selênio	ND	ND	ND	ND			0,16	0,18
Sódio	ND	ND	ND	ND			*	*
Sulfato	ND	ND	ND	ND			*	*

Obs.: ND - não detectável; * - não possui parâmetro de referência.

Fonte: (ARAUJO, 2004)

Tabela 9 - Comparação dos resultados de águas com parâmetros de referência internacionais
(mg/L) - Campanha 2

Parâmetro	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4	PM-5	PM-6	Lista Holandesa	USEPA
Alumínio	0,08	ND	1,72	0,13	ND	0,08	*	37
Bário	0,21	0,2	ND	0,21	ND	ND	0,625	7,3
Boro	0,18	1,38	0,18	0,18	0,18	0,18	*	7,3
Cádmio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,006	0,018
Chumbo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,075	*
Cloreto	ND	ND	ND	ND	ND	ND	*	*
Dureza	119	207	ND	70	28	48	*	*
Ferro total	0,3	0,1	0,94	3,47	6,19	0,11	*	26
Fluoreto	0,3	2,9	0,1	0,2	0,2	0,8	*	*
Manganês	0,35	1,67	ND	0,94	1,28	ND	*	0,88
Nitrato (como NO ₃)	0,4	ND	0,6	0,4	ND	7,5	*	*
Selênio	ND	ND	ND	ND	ND	0,02	0,16	0,18
Sódio	8,84	299,3	3,93	516,7	12,4	40,9	*	*
Sulfato	11	52	ND	8	ND	14	*	*

Obs.: ND - não detectável; * - não possui parâmetro de referência.

Fonte: (ARAUJO, 2004)

Tabela 10 - Comparação dos resultados de águas com parâmetros de referência internacionais
(mg/L) - Campanha 3

Parâmetro	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4	PM-5	PM-6	Lista Holandesa	USEPA
Alumínio	ND	ND	ND	0,08	0,05	ND	*	37
Bário	0,19	0,16	ND	0,35	0,06	0,17	0,625	7,3
Boro	ND	0,81	ND	0,41	ND	0,32	*	7,3
Cádmio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,006	0,018
Chumbo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,075	*
Cloreto	5	ND	ND	47	ND	8	*	*
Dureza	9	286	6	60	12	130	*	*
Ferro total	1,91	1,11	ND	3,4	0,13	0,32	*	26
Fluoreto	0,77	0,15	ND	2,03	ND	ND	*	*
Manganês	0,66	1,62	ND	0,87	ND	0,52	*	0,88
Nitrato (como NO ₃)	ND	ND	ND	10	4,26	11,2	*	*
Selênio	ND	ND	ND	0,01	ND	0,01	0,16	0,18
Sódio	60,1	227	0,56	351	3,74	88,7	*	*
Sulfato	15	1,3	7,6	112	ND	26	*	*

Obs.: ND - não detectável; * - não possui parâmetro de referência.

Fonte: (ARAUJO, 2004)

A comparação dos resultados com os valores orientadores internacionais indicou, entre os elementos detectados, apenas o manganês com concentrações acima dos limites de referência utilizados, nos PM-2, PM-4 e PM-5.

5.5. Coleta de amostras do resíduo depositado

A definição dos locais de escavação para coleta de amostras do resíduo depositado no local de estudo levou em consideração as dimensões e a profundidade do corpo depositado, de modo a se tentar realizar amostragem mais representativa possível do corpo de resíduo. Para a coleta, foram utilizadas pás e bombonas plásticas virgens para acondicionamento do material. Foram realizadas coletas em nove pontos distintos de um perfil e mais três pontos a partir de trincheiras escavadas por retroescavadeira, contratada pela empresa do que foi considerado um segundo perfil.

A amostragem de resíduos em todos os pontos foi realizada conforme procedimentos de amostragem de solo recomendados no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2001). As amostras coletadas também foram avaliadas visualmente quanto à presença de possíveis anomalias que pudessem configurar indícios de contaminação. Os grupos de amostras foram definidos em dois, conforme procedimentos de coleta e representatividade da amostra:

a) Grupo A:

Foram coletadas amostras do resíduo a 20 centímetros a partir da superfície aflorante do aterro, em nove pontos alocados e distantes um dos outros a cada 30 metros, totalizando os 270 metros de comprimento do corpo (nove amostras). Foram coletados cerca de 30 quilogramas de amostras de cada ponto. A figura 7 demonstra os pontos de coleta.

Figura 7 - Perfil de coleta das amostras do resíduo – Grupo A.

Figura 8 - Escavação para coleta das amostras de resíduo (Grupo A).

Figura 9 - Profundidade do resíduo coletado (Grupo A).

Após a coleta dos nove pontos, as amostras foram misturadas e homogeneizadas, compondo assim uma amostra representativa da porção superficial do depósito, onde foi selecionada alíquota de 2,5 quilogramas do resíduo para realização dos diversos testes e análises laboratoriais descritos nas etapas seguintes.

b) Grupo B:

Foram abertas três trincheiras na área do aterro para coleta de amostras do resíduo com auxílio de retro escavadeira (TR-1, TR-2 e TR-3). A definição dos locais de escavação das trincheiras levou em consideração o tamanho e a profundidade do corpo, sendo locadas a cada 90 metros. As trincheiras foram escavadas a uma profundidade de 6,5 metros do corpo depositado. Foram coletados nas três trincheiras cerca de 100 quilogramas do resíduo. A figura 10 ilustra a localização das trincheiras abertas para a coleta.

Figura 10 - Perfil de coleta das amostras do resíduo – Grupo B.

Figura 11 - Trincheira 1.

Figura 12 - Trincheira 2.

A tabela 11 apresenta a relação das sondagens executadas, áreas avaliadas e profundidades atingidas:

Tabela 11 - Dados das escavações para coleta de amostras do resíduo

Área	Amostragem	Profundidade (metros)
Superfície do corpo	Grupo A	0,2
Profundidade do corpo	Grupo B	6,5

Foi possível constatar durante as escavações a presença de outros tipos de resíduos (restos de entulho de construção, sacos plásticos, vergalhões metálicos, concreções de escórias e outros produtos não identificados a olho nu), bem como raízes e matéria orgânica. Durante as escavações também foram observadas camadas de solo no meio do perfil, indicando que ao longo do tempo da deposição o material era recoberto. A área do depósito foi recoberta finalmente com vegetação para promover maior estabilidade ao talude.

Figura 13 - Intercalações de solo ao longo da deposição da areia.

5.6. Determinação da variação granulométrica do resíduo

Após as coletas e composição das amostras dos resíduos, as mesmas foram encaminhadas para o Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências (IGC) da Universidade de São Paulo (USP) para determinação da variação granulométrica do resíduo. No laboratório, as amostras do resíduo foram primeiramente quarteadas. Uma vez quarteadas, foram extraídas alíquotas de 2,5 quilogramas de cada grupo de amostra (Grupo A e Grupo B). As amostras foram secas em estufa, a 60°C. Após secagem, novamente pesadas e peneiradas. As peneiras utilizadas são de inox e apresentam a seguinte relação de malhas, conforme ilustram as figuras 14 e 15:

Figura 14 - Esquema exibindo as malhas das peneiras utilizadas na análise granulométrica do resíduo.

Figura 15 - Peneira utilizada na análise granulométrica do resíduo.

Como equipamento de auxílio, foi utilizado equipamento vibratório da Produtest. Foram peneirados a cada procedimento, 200 gramas da amostra que permaneceu no equipamento por 20 minutos (figura 16), garantindo assim adequado peneiramento até que se efetuasse o tratamento com o total dos dois grupos de amostras.

Figura 16 - Equipamento de vibração com coluna de peneiras.

Após procedimentos de peneiramento em diversas frações, identificou-se variação granulométrica entre os dois grupos de amostras. No Grupo A, observou-se que cerca de 60% da amostra possui frações maiores (de 0,25 mm até maiores que 4 mm), enquanto que no Grupo B, mais de 70% da amostra o predomínio é de frações menores (entre 0,18 mm e menores que 4 mm), conforme pode ser visualizado nas tabelas 12 e 13. Assim, as frações mais representativas em peso de cada grupo de amostras foram selecionadas para análise morfológica, mineralógica e química qualitativa, visando à identificação de possíveis contaminantes no resíduo (principalmente metais). As tabelas 12 e 13 demonstram também as porcentagens em peso das alíquotas mais representativas para ambos os grupos de amostras coletadas em campo.

Tabela 12 – Variação granulométrica das amostras do Grupo A

Amostra	Tamanho dos grãos	% em Peso
I-A	> 4 mm	21%
II-A	> 0,35 mm e < 4 mm	17%
III-A	> 0,25 mm e < 0,35 mm	21%
IV-A	> 0,18 mm e < 0,25 mm	14%

Tabela 13 - Variação granulométrica das amostras do Grupo B

Amostra	Tamanho dos grãos	% em Peso
I-B	> 4 mm	8,06%
II-B	> 0,35 mm e < 4 mm	26,43%
III-B	> 0,25 mm e < 0,35 mm	25,42%
IV-B	> 0,18 mm e < 0,25 mm	20,43%

Observou-se tanto na amostra do Grupo A quando na amostra do Grupo B a presença de materiais grosseiros retidos na peneira, maiores do que 4 mm.

Figura 17 - Retenção de materiais grosseiros da amostra do Grupo B.

5.7. Análise morfológica, mineralógica e química qualitativa do resíduo por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Com o intuito de se analisar a morfologia e mineralogia do material coletado em campo, bem como promover uma análise química qualitativa do mesmo, foi realizada análise em Microscópio Eletrônico de Varredura com Espectrômetro de Dispersão de Energia de Raios X (MEV/EDS). O MEV permite a investigação de amostras produzindo imagens em alta resolução. Com o sistema EDS acoplado (Energy Dispersive x-ray Spectrometer), foi possível determinar a composição qualitativa e semiquantitativa das oito amostras identificadas nas tabelas 12 e 13, a partir da emissão de raios X característicos.

A análise em MEV foi executada no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental do Instituto de Geociências da USP. Para tanto, as amostras foram preparadas em *stubs* e recobertas com carbono, para tornarem-se condutores e adequadas à análise em MEV.

Figura 18 - Microscópio Eletrônico de Varredura.

O equipamento utilizado é da Marca Oxford (Modelo LEO 440I), com capacidade de aumento de 5 a 250.000 vezes. Foram realizadas três seções no laboratório, para análise das oito amostras do resíduo dos dois grupos de coleta.

Figura 19 - Sessão de MEV.

Em vários pontos das amostras das areias de fundição (resíduo) para ambos os grupos de coleta, foram realizadas análises pontuais em EDS. As determinações em MEV exibiram diversas variáveis quanto às características morfológicas, químicas e mineralógicas dos grãos constituintes do resíduo.

Com relação à morfologia dos grãos, identificou-se a presença de basicamente dois tipos de grãos de areias: um arredondado com quase ausência de incrustações provindas das ligas produzidas na indústria, passando por colorações cinza, marrom e amarela, em grande parte das amostras. Um segundo tipo de grão não apresenta arredondamento, é brilhoso quando se emprega o processo de elétrons retro difusos no MEV, indicando possível incrustação com elementos metálicos, estes fundidos e moldados em moldes confeccionados com as areias.

Em ambos os casos foram realizadas análises pontuais sobre o grão analisado ou em porção do mesmo, a fim de se definir a composição qualitativa dos grãos que compunham as amostras. Nas figuras 20 a 25 são apresentadas as imagens de MEV e espectrogramas resultantes das análises químicas qualitativas de parte das amostras do Grupo A, enquanto que nas figuras 26 a 31 são apresentadas as imagens de MEV e espectros de parte das amostras do Grupo B. Com relação à mineralogia, a presença de grãos arredondados indica grãos de areia trabalhos cuja composição é silicática, provavelmente de quartzo, muitas vezes com incrustações ocasionadas pelas ligas metálicas fabricadas na fundição. Nota-se, nos espectrogramas de ambos os grupos, a presença de metais como silício, manganês, zinco, cromo, ferro alumínio e magnésio. A presença desses elementos pode ser observada nos picos mais elevados dos espectrogramas, que demonstram a concentração relativa desses elementos.

Figura 20 - Imagem de MEV com aumento de 50 vezes da amostra II-A.

Figura 21 - Espectro de EDS da amostra II-A: destaque para o pico de Ca seguido de Si, Al, Cr e Fe.

Figura 22 - Espectro de EDS da amostra II-A: destaque para o pico de Fe seguido de Si, Al e Mg.

Figura 23 - Imagem de MEV com aumento de 50 vezes da amostra IV-A.

Figura 24 - Espectro de EDS da amostra IV-A: destaque para o pico de Ca seguido de Fe, Mn, Cr e Zn.

Figura 25 - Espectro de EDS da amostra IV-A: destaque para o pico de K seguido de Fe, Mn, Si e Cr.

Figura 26 - Imagem de MEV com aumento de 50 vezes da amostra II-B.

Figura 27 - Espectro de EDS da amostra II-B: destaque para o pico de Ca seguido de Fe, Mn e Cr.

Figura 28 - Espectro de EDS da amostra II-B: destaque para o pico de Si seguido de Cr, Fe, Ca, Al e K.

Figura 29 - Imagem de MEV com aumento de 50 vezes da amostra III-B.

Figura 30 - Espectro de EDS da amostra III-B: destaque para o pico de Ca seguido de Fe, Cr, Al e Mg.

Figura 31 - Espectro de EDS da amostra III-B: destaque para o pico de Fe seguido de Mn, Al, Si, Cr e K.

5.8. Conteúdo químico quantitativo do resíduo

A partir dos metais identificados qualitativamente na composição do resíduo através da análise de MEV (com destaque para cromo, manganês, ferro, zinco e alumínio), bem como no princípio de que a confecção de ferro ligas pode produzir em suas areias outros metais como níquel, cobalto, e cobre, amostras do resíduo foram enviadas para laboratório terceirizado para análise química (Laboratório Beckhauser & Barros).

Foram homogeneizados 450 gramas de resíduo em cada um dos dois grupos de amostras. As amostras foram analisadas para os seguintes parâmetros, com os respectivos métodos analíticos:

- ✓ Cromo Total – método ABNT NBR 10005;
- ✓ Cromo, Níquel, Cobalto, Cobre e Zinco – método EPA 3050B/6010.

A metodologia utilizada na determinação dos metais para ambos os ensaios foi a Espectrofotometria de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES).

5.8.1. Parâmetros de Qualidade

Como as amostras do resíduo foram coletadas a partir de escavações na área do depósito das areias de fundição, e que sobre os resíduos foram depositadas camadas de solo para recobrimento ao longo dos anos, adotou-se como referência para análise comparativa dos contaminantes no resíduo a lista dos Valores Orientadores para Solo no Estado de São Paulo (CETESB, 2005).

Por outro lado, para se estabelecer a classificação, e a partir daí determinar periculosidade ou não do resíduo, adotou-se como referência a norma ABNT NBR 10004:2004 (Resíduos Sólidos: Classificação). Segundo a norma, o resíduo é caracterizado como tóxico quando o extrato obtido da amostra, segundo a ABNT NBR 10005, contiver qualquer um dos contaminantes em concentrações superiores aos valores constantes no Anexo F. Dentre os metais identificados a partir das análises de MEV, o único elemento que possui comparativo nesta norma de referência é o cromo.

5.8.2. Resultados da análise química do resíduo e comparação com valores de referência

Os valores utilizados foram os Valores de Intervenção da CETESB (2005). O Valor de Intervenção “é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição genérico. Para o solo, foi calculado utilizando-se procedimento de avaliação de risco à saúde humana para cenários de exposição Agrícola, Residencial e Industrial”.

A tabela 14 apresenta as comparações dos resultados de solo com os valores de prevenção e intervenção da CETESB, Padrão Holandês e USEPA para o resíduo analisado.

Tabela 14 - Resultados analíticos das amostras de resíduos e comparação com valores orientadores (mg/kg)

Parâmetro	Grupo A	Grupo B	CETESB			Padrão Holandês	USEPA	
			Agrícola	Residencial	Industrial		Residencial	Industrial
Cobalto	2,4	2,3	35	65	90	240	23	300
Cobre	18	13	200	400	600	190	*	*
Cromo	75	50	150	300	400	380	*	*
Níquel	36	36	70	100	130	210	*	*
Zinco	156	43	450	1000	2000	720	*	*

* Valor de intervenção não estabelecido.

Com base nos métodos analíticos empregados, a comparação entre os resultados das concentrações de elementos potencialmente tóxicos contidos no resíduo com esses valores não indicou a presença de nenhum parâmetro em concentração superior aos limites estabelecidos. Estes elementos também foram analisados nas águas subterrâneas, porém não apresentados, uma vez que os resultados ficaram abaixo dos limites de detecção.

A tabela 15 apresenta a comparação da análise de cromo para o resíduo com a norma NBR 10004, onde a mesma apresentou resultado inferior ao limite da norma. Os laudos completos das análises realizadas para o resíduo podem ser verificados no Anexo B.

Tabela 15 - Resultados analíticos de cromo e comparação com a NBR 10004 (mg/L)

Parâmetro	Grupo A	Grupo B	Anexo F - NBR 10004
Cromo	0,068	0,051	5

Os resultados apresentados não conferem periculosidade ao resíduo, inserindo-o na classe II. Porém nessa dissertação, as análises realizadas não foram suficientes para classificá-lo entre inerte ou não inerte, uma vez que tal classificação não é objeto dessa pesquisa. Por outro lado, empresas de investigação que desenvolveram trabalhos na área após este estudo classificaram o resíduo como classe IIA – não inerte.

6. DISCUSSÃO

O conceito de proteção dos solos e das águas subterrâneas passou a ser abordado há pouco tempo nas políticas ambientais dos países industrializados, principalmente depois de ocorridos graves eventos relacionados à sua poluição que levaram ao acúmulo de grandes passivos ambientais. O solo, que até então era considerado como corpo receptor de rejeitos e substâncias muitas vezes nocivas ao meio ambiente e a saúde, passou a ser visto como provedor de recursos e necessário a sadia qualidade de vida.

Tendo em vista o uso do solo praticado na área de estudo e sua função como corpo receptor de resíduos ao longo dos anos, os resultados verificados a partir do desenvolvimento desta pesquisa demonstram algumas questões:

- ✓ As análises realizadas no MEV permitiram a identificação de elementos químicos que não foram detectados nas análises químicas totais das águas, bem como não havia identificação nas análises químicas totais do resíduo. Isso permitiu fazer-se uma associação entre os elementos químicos identificados na água e que também foram determinados com essa ferramenta. Tal procedimento permitiu a junção de diversos dados os quais culminaram na determinação mais precisa da classificação do mesmo. Trata-se de um resíduo considerado como não perigoso segundo a norma atual de classificação – NBR 10004:2004. Segundo a norma, um resíduo é considerado perigoso quando apresenta características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e/ou patogeneicidade, além de poder apresentar riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, se gerenciado de forma inadequada.

- ✓ Mesmo não apresentando concentrações de elementos potencialmente tóxicos, corrosivos, inflamáveis, reativos e/ou patogênicos, verificou-se alteração na qualidade das águas subterrâneas na área do depósito – sendo que elementos como ferro, manganês, boro e selênio colocam essa área em condição de “intervenção”, se considerados os limites estabelecidos pela CETESB para água, como demonstrado no capítulo 5.

- ✓ A ocorrência de metais nas águas subterrâneas como boro e selênio é indicativo de alteração na composição natural do meio estudado. A presença desses elementos nas águas subterrâneas e a ocorrência dos mesmos em PMs instalados sobre o depósito e a jusante do mesmo indicam que o resíduo é portador destes elementos e está sendo carregado em parte para as águas que percolam pelo corpo disposto de areia de fundição. Ocorrências distintas observadas entre os PMs dentro e a jusante do depósito podem ser explicadas pelas diferenças nas próprias camadas do depósito, à medida em que o material foi depositado e recoberto em

momentos distintos da produção das peças, ao longo de aproximadamente 35 anos, somadas às diferenças de comportamento entre elementos distintos na água que os transportaram ao longo do tempo, fixando alguns e dissolvendo outros.

✓ O impacto ambiental nas águas subterrâneas torna-se grave, pois uma vez que os contaminantes atingem essas águas, naturalmente acabam migrando para outras drenagens superficiais e subterrâneas.

✓ A análise granulométrica do resíduo indicou ser esse composto por predomínio de frações cuja granulometria o insere como material “fino”. Tal característica segundo se identifica na literatura conduz esse material a exibir grande superfície de contato, o que pode favorecer não somente a acumulação de elementos químicos como também favorecer a degradação das partículas por ação do intemperismo e consequente lixiviação dos elementos nele contidos. As coletas de resíduos realizadas no depósito abrangeram três segmentos distintos: uma parte superficial bastante lixiviada, uma porção espessa intermediária com materiais que representam os últimos procedimentos de fundição e uma porção inferior constituída da areia verde, procedimento mais antigo empregado nas décadas de 70 e 80.

✓ As determinações em MEV identificaram morfologicamente um resíduo composto por dois tipos de grãos, um arredondado com quase ausência de incrustações provindas das ligas produzidas, passando por colorações cinza, marrom e amarela, em grande parte das amostras. Um segundo tipo de grão não apresenta arredondamento, é incrustado (brilhante) e apresenta diversos metais associados a essa incrustação, provindos das ligas. Observou-se a presença de grãos angulosos e com brilho quando se emprega o processo de elétrons retro difusos no MEV, esse procedimento indica possível incrustação com elementos metálicos, estes fundidos e moldados em moldes confeccionados com as areias, cujas determinações na análise química qualitativa do MEV indicaram principalmente a presença de ferro, alumínio, manganês, cromo, magnésio e zinco.

✓ O uso de resinas na composição e estruturação dos moldes promove sua disseminação na areia que fica no entorno da peça, e essa areia é descartada com seu conteúdo de resinas, agora modificadas pelo aquecimento da liga derramada no molde. Tal procedimento pode representar processo de contaminação com orgânicos que não foram aqui analisados.

Com relação ao comprometimento ambiental da área estudada, é provável que a ocorrência não apenas destes como de outros elementos identificados nas águas subterrâneas se devem a migração dos mesmos ao longo do tempo, principalmente através da lixiviação do resíduo visto que os metais identificados possuem relação com os metais empregados na linha de produção desta indústria ao longo do tempo, através do comportamento geoquímico dos

elementos, que ora são fixados no solo, ora dissolvem-se nas águas que percolam o depósito. Diversos fatores físico químicos podem também corroborar com esse processo, ou seja, as alterações de pH, o comportamento de matéria orgânica no meio e as respectivas alterações de Eh nesse sistema, cujos valores e avaliações não foram aqui abordadas de forma que se permita uma análise segura.

Ainda que o resíduo não seja classificado como perigoso, a identificação destes elementos nas águas pode comprometer não apenas o ambiente de deposição do material, mas como seu entorno. Adjacente à área do depósito há um corpo d'água superficial (riacho) que é utilizado por algumas das áreas vizinhas – uma delas plantação de milho. O comprometimento ambiental torna-se ainda mais preocupante tendo em vista que na região muitas propriedades utilizam de poços para captação de água subterrânea para suprir suas necessidades. A questão torna-se não apenas um problema ambiental, mas principalmente de saúde pública. A figura 32 ilustra a localização do riacho, sua proximidade com o depósito de resíduos e com a área vizinha onde se realiza o plantio do milho.

Figura 32 - Localização do riacho e área de plantio de milho próximo ao depósito do resíduo.

Em virtude dos resultados obtidos nessa dissertação e interpretando os mesmos a partir do uso das atuais normas e ferramentas de análises de impacto ambiental e classificação de resíduos sólidos, observa-se a falta de proximidade e de uma avaliação mais crítica entre as ferramentas empregadas e as atuais normas. Partindo de sua concepção (originadas principalmente de especificações de outros países) e se aplicadas conjuntamente, não há o

estreitamento técnico necessário para se que avalie de forma abrangente o efeito no meio ambiente de passivos gerados e suas possíveis interações ao longo do tempo.

Torna-se evidente a necessidade dessa aproximação, e ainda, de forma mais abrangente, a implementação de políticas de gestão integrada que promovam foco na gestão de resíduos sólidos em relação à gestão de passivos, tendo em vista o grande aumento do número de passivos gerados pela disposição inadequada de resíduos. Nota-se que são fundamentais as ações de remediação e revitalização de passivos, mas que concomitantemente sejam revistas as metodologias de avaliação de impactos, visto à grande gama de resíduos que existem e os que ainda serão “criados”.

7. CONCLUSÕES

Os dados experimentais obtidos nos procedimentos adotados neste trabalho, com o objetivo de verificar a ocorrência de comprometimento ambiental no ambiente estudado, remetem a algumas conclusões:

✓ Os elementos identificados nas águas (em sua maioria metais) acima dos limites estabelecidos pelos órgãos de controle ocorreram nos poços localizados na área do aterro. A maioria dos elementos apresenta concentrações mais elevadas a jusante da área, alguns acima dos limites da legislação e outros com aumento de concentração em relação a montante, indicando que a presença do aterro pode estar ocasionando impacto ambiental no local;

✓ Dados demonstrados inicialmente sobre o depósito de resíduos poderiam numa primeira análise classificá-lo até como resíduo inerte (e assim a norma atualmente o classifica), mas seu conteúdo, sob condições intempéricas ao longo do tempo acabou exibindo comprometimento ambiental nas águas subterrâneas;

✓ A análise granulométrica realizada para as amostras do resíduo em questão facilita o entendimento de que suas características granulométricas podem favorecer a degradação das partículas por ação do intemperismo e por conta disso lixiviar os elementos nele contidos, onde se observou a ocorrência em valores relativamente baixos nas amostras analisadas.

✓ As análises de MEV não foram determinantes por si só para análise do comprometimento ambiental da área estudada, porém identificaram pontualmente a existências de diversos metais, morfologicamente e quimicamente, alguns destes encontrados em concentrações acima do permitido na atual legislação sobre o gerenciamento de áreas contaminadas.

✓ Dependendo da metodologia com a qual se realiza uma investigação ambiental, pode-se obter discussões e resultados distintos acerca da classificação de um resíduo e sua possível interação e relação com comprometimento ambiental do solo e das águas subterrâneas segundo as atuais normas de ferramentas existentes.

Os atuais procedimentos e padrões utilizados para a investigação de contaminações e passivos foram importados de outros países e são utilizados há mais de uma década. A utilização de valores genéricos exige certo nível de compreensão, conhecimento e confiança

que podem faltar dependendo da condução da investigação realizada e da interpretação de resultados. Num primeiro momento, utilizar-se dessas metodologias pode ter sido fundamental como um primeiro passo na tratativa da questão, mas após anos de aplicação torna-se necessário promover novas interpretações, que leve em conta tanto à realidade das áreas (solos, águas, geologia local) quanto à interação entre esses procedimentos e as demais leis e normas já existentes no país. Países como Holanda e Estados Unidos vem revisando esses limites quase que anualmente; o Brasil entretanto não está seguindo o mesmo ritmo.

A metodologia atual de classificação de resíduos leva em consideração as concentrações de seus constituintes “potencialmente poluentes”, segundo testes realizados em laboratório, simulando alterações de ordem físico-químicas como lixiviação e solubilização. Uma vez depositado no ambiente e exposto a ações intempéricas, certamente ocorrerão alterações tanto de ordem física quanto química, uma vez que após processos como hidrólise, solubilização e outros, seus constituintes além de sofrerem alterações, reagirão com os elementos presentes no meio no qual foi depositado. Fato este que pode torná-lo mais ou menos agressivo ao meio ambiente com o passar do tempo.

Considera-se que, em função da “simplificação da norma”, esses resíduos não foram adequadamente gerenciados principalmente no passado, visto que muitas fundições possuem passivos que sequer são de conhecimento do órgão ambiental - das 3675 áreas contaminadas identificadas em 2011 pela CETESB - apenas duas estão relacionadas à infiltração de resíduos de fundições (CETESB, 2011). Poucos são os estudos que investigam o impacto ambiental deste tipo de resíduo.

Considerando as conclusões acima expostas, pode-se admitir que é necessário estreitamento técnico entre as atuais normas e ferramentas de análises de impacto ambiental e classificação de resíduos sólidos. Fica clara a existência de inconsistências quando aplicadas conjuntamente, visto que os atuais procedimentos utilizados para a investigação de contaminações e passivos foi importado de outros países e a atual norma de classificação de resíduos não permite uma análise que leve em consideração suas possíveis interações com o ambiente ao longo do tempo, uma vez que ocorra sua exposição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIANO, D. C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York, 1986. Springer Verlag, 532p.

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. London, 1995. Blackie Academic & Professional, 368p.

ALMEIDA, F.F.M. 1946. A rocha “Moutonnée” de Salto, Estado de São Paulo. **Boletim de Geologia e Metalurgia**, 5, p.112-123.

AMERICAN FOUNDRY SOCIETY, INC. **Waste and Recycling**. Disponível em: <<http://www.afsinc.org/content/view/126/>>. Acesso em: 24 jul 2010.

ARAUJO, C.P. **Avaliação de impacto ambiental na disposição de areias de fundição em aterros não controlados: estudo de caso**. Monografia de Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

ARMANGE, L. C.; NEPPEL, L. F.; GEMELI, E.; CAMARGO, N. H. A. Utilização de areia de fundição residual para uso em argamassa. **Revista Matéria**, v. 10, n.1, p 51-62, Mar., 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2005**. São Paulo, ABRELPE, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS. **Gerenciamento de resíduos industriais: uma responsabilidade econômica e ambiental**. Disponível em: < www.abetre.org.br >. Acesso em: 25 mai 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. **Relatório anual: 1998**.

_____. Comissão de Meio Ambiente. **Manual de regeneração e reuso de areias de fundição**. São Paulo, ABIFA, 1999.

_____. Associação Brasileira de Fundição. In: SEMINÁRIO DE FUNDIÇÃO, 6., São Paulo, ABIFA, 2006.

_____. **Areias Descartadas de Fundição (ADF).** Disponível em: <www.solucoesadf.com.br>. Acesso em: 08 abr 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15495-1:** Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares. Rio de Janeiro: ABNT, 2007, 33p.

_____. **NBR 10005:** Procedimento para obtenção do extrato lixiviado de resíduo sólido. Rio de Janeiro: ABNT, 2004, 16p.

_____. **NBR 10004:** Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71p.

_____. **NBR 15702:** Areia descartada de fundição: diretrizes para aplicação em asfalto e em aterro sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 2009, 8p.

AYDILEK, H.; GUNEY, T. **Laboratory Evaluation of Foundry Sand-Amended Highway Subbases.** Transportation Research Board. Washington D.C, 2007.

BINA, P. **Metodologia de utilização e rejeitos industriais na pavimentação: estudo de caso de uso de areia de fundição.** Dissertação (Mestrado em Habitação) – Programa de Pós Graduação em Habitação: Planejamento e Tecnologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2002.

BINA, P.; CASTRO, P. R. F. **Concreto asfáltico armado: A pavimentação ganha um novo e forte aliado.** In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE MANUTENÇÃO E RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS E CONTROLE TECNOLÓGICO. São Paulo, 2000.

BIOLO, S. M. **Reuso do resíduo de fundição areia verde na produção de blocos cerâmicos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

BONIN, A. L.; MARIOTTO, C. L.; BARTH, F. **Regeneração de areais: Relatório de visitas a usuários de sistemas de regeneração de areias de fundição.** ABIFA: 1997.

BONIN, A. L.; ROSSINI, A. J.; ZABIM, A. F. P. **Reutilização da areia preta de fundição na construção civil.** ABIFA, 1995.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado, 1988.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria 2914. Anexo VII – Tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde**. Publicada em 12 de dezembro de 2012.

_____. **Lei nº 6938 de 31 de agosto de 1981. Institui a Política Nacional do Meio Ambiente**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 1981.

CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA. Disponível em: <<http://www.cimm.com.br/portal/>>. Acesso em: 15 out 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. Projeto CETESB-GTZ. Cooperação Técnica Brasil-Alemanha. 2.ed. São Paulo, 1999a. 389p.

_____. Projeto CETESB – GTZ. 6530 – Lista Holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea – Valores STI, julho de 1999b.

_____. Projeto CETESB – GTZ. 6510 – Regulamentação da Lei Federal Alemã de Proteção do Solo e de AC (RLFPS). 1999c.

_____. Relatório de Estabelecimento de Valores **Orientadores para Solo e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. Série Relatórios Ambientais. São Paulo: CETESB, 2001.

_____. **Valores Orientadores para Solo e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo - 2005**. Decisão de Diretoria nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005.

_____. **Procedimentos para gerenciamento de areia de fundição**. Decisão de Diretoria nº 152/2007/C/E. São Paulo, de 08 de agosto de 2007.

_____. **Casos de sucesso**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ambiente/producao_limpa/casos/caso01.pdf>. Acesso em: 31 mai 2010a.

_____. **Relação de áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo**. São Paulo, dezembro de 2011.

_____. **Reuso da areia de fundição e reciclagem dos resíduos da recuperação.** Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ambiente/producao_limpa/casos/caso23.pdf>. Acesso em: 28 jun 2010b.

CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. **Resolução nº 011** de 26 de agosto de 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 420** de 28 de dezembro de 2009.

CUNHA, A. B. **Estudo da contaminação por compostos fenólicos de uma área impactada por resíduo de areia de fundição.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

DAEE-UNESP, 1982. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1: 250.000.**

DAL MOLIN, D. C. C. **Técnicas experimentais para estudo da microestrutura.** In: INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO (IBRACON). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia dos materiais.** São Paulo: Ed. G C Isaia, 2007. p. 403-436.

DANTAS, J. M. **Montagem, Comissionamento e Operação de um Sistema de Recuperação de Areia de Fundição: Regenerador Térmico - Plano de Trabalho da Fase II.** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – São Paulo, novembro de 2003.

DENG A, TIKALSKY PE. **Metallic characterization of foundry by-products per waste streams and leaching protocols.** *Journal of Environmental Engineering*, v. 132, n. 6, p. 586-595, 2006.

DIEHL, M.D. **Planejamento da Regeneração de Areias de Fundição.** In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 51. Porto Alegre, 1996.

FAGUNDES, A. B; VAZ, C. R; OLIVEIRA, I. L. **O fortalecimento do setor de fundição através da aplicação de conceitos e metodologias ambientais: os excedentes das areias de fundição em foco.** *Revista ADMpg Gestão Estratégica*. Ponta Grossa, v.2, n.2, p-27-34, 2009.

FATTA D, MARNERI M, PAPADOPOULOS A, SAVVIDES CH, MENTZIS A, NIKOLAIDES L, LOIZIDOU M. **Industrial pollution and control measures for a foundry in Cyprus.** *Journal of Cleaner Production*, v. 12, n.1, p.29-36, 2004.

FERNANDES, D. L. **Areias de fundição aglomeradas com ligantes furânicos**. Itaúna: SENAI-DR.MG, 2001.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER/RS. **Diretriz Técnica para a Atividade de Incorporação de Resíduos Sólidos em Processos Industriais**. Diretriz Técnica nº 001/2010.

_____. **Autorização nº 157/2003-DL expedida em 15 de julho de 2003, através do processo administrativo 11799-0567/04-5.**

_____. **Autorização nº 165/2005-DL expedida em 12 de abril de 2005, através do processo administrativo nº 15549-0567/04-9.**

GAFFNEY, M.V.; TIKALSKY, P.J.; REGAN, R.W. **Controlled Low-Strength Materials Containing Foundry Sand for beneficial Uses: Examining Mixture Designs in the Laboratory**. American Foundrymen's Society Transactions, 2000. Reference No. 100-98, pp 1-11.

GARNAR JR, T.E. **Mineralogy of Foundry Sands and its Effects on Performance and Properties**. American Foundrymen's Society Transactions, v.85, p.399-416, 1977.

GRAZIANO, G. **Análise estratigráfica do Subgrupo Itararé (Paleozoico Superior) entre Sorocaba e Tatuí, e caracterização preliminar do potencial hidrogeológico dos arenitos incluídos na área de estudo, Bacia de Paraná, Brasil**. Monografia de Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

INETI. **Guia técnico do setor de metalurgia e metalomecânica – Departamento de Materiais e Tecnologia de Produção**. Lisboa, 2000. Disponível em: <<http://www.netresiduos.com/cont/file/SectorMetalurgiaMetalomecanica.pdf>>. Acesso em: 05 jan 2011.

JAVED, S.; LOVELL, C. W (1995). **Uses of Waste Foundry Sands in Civil Engineering. Transportation Research Board**, n. 1417, p. 109-116.

KNOP, A.; SHCHEIB, W. **Chemistry and Application of Phenolic Resins**. Frankfurt, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1979, p. 196-211.

LANDSCAPING PRODUCTS AND RECYCLING SERVICES. Disponível em: <<http://www.kurtz-bros.com/>>. Acesso em: 05 dez 2010.

LE SERVE, F.; WARD, G. **The Availability and Technical Requirements of Foundry Sands**. Chemical Binders in Foundries, University of Warwick, BCIRA. p.3.1-3.10, 1976.

LEIDEL et al. **Beneficial sand reuse: making it work**. Modern Casting: Aug, 1994.

MACIEL, C. B.; MORAES, C. A. M.; TEIXEIRA, C. E.; SCHNEIDER, I. A. **Minimização da geração de areia de fundição utilizando ferramentas do programa de produção mais limpa**. International Workshop Advances in Cleaner Production. São Paulo: 2009.

MARINO, R. **Utilização de areia de fundição em concreto**. Projeto premiado pela Bayer “Prêmio de Meio Ambiente”. USP, 2003.

MARIOTTO, C. L. **Regeneração de areias de fundição**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1994.

MARIOTTO, C. L.; BONIN, A.L. Tratamento dos descartes de areia. **Revista Fundição & Matérias-primas**. Mar/abr., p. 28-32, 1996.

MARIOTTO, C. L. **Regeneração de Areias de Fundição**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A, 2001.

MASSOLI, M. **Relação entre o embasamento cristalino e os sedimentos basais do Subgrupo Itararé na região de Sorocaba – Salto de Pirapora, SP**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Programa de Pós Graduação em Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MATOS, S. V.; SCHALCH, V. **Alternativas de minimização de resíduos da indústria de fundição**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, 19. Foz do Iguaçu, 1997.

MELFI, A. J. ; BITTENCOURT, I. **Geologia e pedologia da bacia glacial no distrito de Souzas - Campinas**. Bragantia (São Paulo), São Paulo, v. 21, p. 806-826, 1962.

MELO, E. F. R. Q.; CORONETTI, L.; FIORI, S.; THOMÉ, A.; SCHNEIDER, I. A.. H. **Recuperação da vegetação natural em uma área de disposição de areia de fundição**. In: XI CONGR. ABIFA DE FUNDIÇÃO. São Paulo, 2003. Universidade de Passo Fundo, UFRGS.

MILANI, E.J. & ZALAN, P.V. An outline of the geology and petroleum systems of the Paleozoic Inferior Basins of South America. **Episodes**, v.22, n.3, p.199-205, 1999.

OLIVEIRA, J. C. D. **Estudo experimental da regeneração térmica de areia de macharia em leito fluidizado**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

OKIDA, J. R. **Estudo para minimização e reaproveitamento de resíduos sólidos de fundição**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2006.

PABLOS, J. M. **Utilização do Resíduo Sólido Gerado pelo Descarte das Areias de Fundição Aglomeradas com Argila no Setor da Construção Civil**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós Graduação em Engenharia da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

_____. **Estudo para reutilização do resíduo sólido constituído pelas areias de fundição aglomeradas com argila, através da técnica de solidificação / estabilização em matrizes de Cimento Portland, para aplicação no setor da construção civil**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós Graduação Engenharia da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

PEIXOTO, F. **Regeneração térmica de areia ligada quimicamente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Avançados) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Processos Avançados da Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2003.

Portal Sorocaba.Com. Disponível em: <<http://www.sorocaba.com.br/sobre-sorocaba.html>>. Acesso em: 14 out 2010.

RAMPAZZO, D.; JERONYMO, J. R.; BEGALLI, L.; MONTANARI FILHO, P. **Resinas sintéticas para fundição**. ALBA QUÍMICA Indústria e comércio Ltda, 1989.

RECIBLOCO. Disponível em: <<http://www.recibloco.com.br/>>. Acesso em: 09 dez 2010.

REDONDO, M.; SOUZA, E. **Remediação e Adequação de Depósitos de Areia de Fundição em Santa Catarina (Tupy Fundições)**. In: Seminário Internacional Sobre Remediação In Situ de Sites Contaminados. São Paulo, 2003. Instituto Ekos Brasil.

ROHR, F.W. **Reclamation of system and chemically bonded sands. The economics of sand reclamation as opposed to disposal.** Illinois: American Foundrymen's Society Inc., 1981, p. 11-17.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 13.577 de 08 de julho de 2009. Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 9 jul. 2009. Seção Executiva – Caderno 1.

_____. Lei nº 997 de 31 de maio de 1976. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 01 jun. 1976.

SCHEUNEMANN, R. **Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo Fenton.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H.; TOMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A. 1974. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In SBG: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28. Porto Alegre. **Anais**, 1:41-65.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Areias de fundição aglomeradas com argila.** Belo Horizonte: SENAI, 1987, v.1.

SIMMONS, R.E. **Casting defects arising from poor reclamation practice and remedial control tests.** In: BCIRA Seminar “Reclamation and recycling of moulding sand”, dez.1988, p.1-15.

SOARES, P.C; LANDIM, P.M.B.; SINELLI, O.; WERNICK, E.; FU-TAI, W.; FIORI, A.P. Associações litológicas do Subgrupo Itararé e sua interpretação ambiental. **Rev. Bras. Geoc.**, v.7, n.2, p.131-149, 1977.

STOLF, B. F. P. **Projeto de processo para recuperação de areia fenólica utilizada na fabricação de machos e moldes na indústria de fundição e para fabricação de blocos e bloquetes.** In: SIMPÓSIO DE ENSINO DE GRADUAÇÃO, 5. Piracicaba: UNIMEP, 2007.

TANDEL, R. Y. **Caracterização do arenito Piramboia da Fazenda São João em Analândia, SP, e sua utilização industrial.** Dissertação (Mestrado em Geociências) Programa de Pós Graduação em Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

THE CASTINGS DEVELOPMENT CENTRE. **Control tests on reclaimed sand.** Birmingham: The Castings Development Centre, Broadsheet 350, 2000.

THOMAS, S. P. **Foundry sand beneficial reuse manual – special report.** AFS Sand Reclamation and Reuse Committee (4s). American Foundrymen's Society Inc., Illinois, 1996.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Soil Screening Guidance: User's Guide – EPA 540/R-96/018.** Washington, DC, Office of Solid Waste and Emergency Response, 1996a.

_____. **Soil Screening Guidance: Technical Background Document – EPA 540/R-95/128.** Washington, DC, Office of Solid Waste and Emergency Response, 1996b.

_____. **Beneficial Use of Nontoxic Bottom Ash, Fly Ash and Spent Foundry Sand, and Other Exempt Waste.** EPA, Division of Surface Water, 2003.

_____. **Ground Water and Wellhead Protection.** Washington, 1994.

_____. **Foundry Sand Facts for Civil Engineers.** US Department of Transportation. Federal Highway Administration. Washington, DC. March, 2004.

_____. **Beneficial Reuse Programs for Foundry Sand.** July, 2006.

_____. **Preliminary Remediation Goals (PRG).** United States Environmental Protection Agency - Region 9; Superfund. June, 2011.

VIDAL, A.C; ROSTIROLLA, S.P; KIANG, C. Análise de favorabilidade para a exploração de água subterrânea na região do Médio Tietê, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n.4, p.475-481, dez. 2005.

VROM, 2000. **Circular on target values and intervention values for soil remediation – Revised Dutch Reference Framework (STI – Values)** – Netherlands Government.

WEDDINGTON, V.L.; MOBLEY, C.E. Influence of sand surface chemistry on bonding. **American Foundrymen's Society Transactions**, v. 99, p. 825-870, 1991.

WIKIPÉDIA, A ENCICLOPÉIDA LIVRE. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/>>. Acesso em: 21 dez 2010.

WISCONSIN DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES - WDNR. **Waste & Materials Management Program: Beneficial Reuse.** Wisconsin. Disponível em: <www.dnr.state.wi.us/org/aw/wm/solid/beneficial>. Acesso em: 06 jan 2011.

_____. **NR 538 – Beneficial Use of Industrial Byproducts.** Wisconsin, 1985.

YOSHIRUMA, H. N; BINA, P.; ALVES, J. H. Metodologia de análise e aprovação de utilização de rejeitos industriais na construção civil: estudo de caso de uso de areia de fundição de descarte para pavimentação. In: **CONGRESSO E FEIRA DE FUNDIÇÃO, INSUMOS E EQUIPAMENTOS**, São Paulo. Anais. CONAF, 2001.

ANEXO A - Perfis construtivos dos poços de monitoramento

ANEXO B - Laudos de análise das amostras do resíduo

Relatório de Ensaio Nº: 18289-01/2011			
Data Emissão: 21/11/2011 Revisão: 00 Emenda: EMISSÃO INICIAL			
Dados do Cliente	Cliente:	GABRIELA PENKAITIS	
	Fantasia:	002029 - GABRIELA PENKAITIS	
	Endereço:	RUA DO LAGO, 562 - CIDADE UNIVERSITÁRIA	
		Responsável:	GABRIELA PENKAITIS
	05508-080 - SÃO PAULO - SP	CNPJ:	Fone:

Número amostra Ponto/Local de coleta:

2011/18289-01 A: AMOSTRAS 2,3 E 4

Tipo Amostra: Coleta: Hora Entrada: Hora

RESÍDUO 18/10/2011 - 00:00:00 18/10/2011 - 17:00:00

Data Ensaio	Parâmetros	Unidade	Especificação	Resultado	Método	LQ
21/10/2011	Cobalto	mg/kg	-	2,4	SMEWW 21st 3120 B	1
21/10/2011	Cobre	mg/kg	-	18,0	SMEWW 21st 3120 B	1
21/10/2011	Cromo	mg/kg	-	75,0	SMEWW 21st 3120 B	1
21/10/2011	Níquel	mg/kg	-	36,0	SMEWW 21st 3120 B	1
21/10/2011	Porcentagem de sólidos	%p/p	-	99,8	SMEWW 21st 2540 B, E	0,05
21/10/2011	Zinco	mg/kg	-	156,0	SMEWW 21st 3120 B	1
16/11/2011	Cromo total	mg/L	5	0,068	SMEWW 21st 3120 B	0,010
16/11/2011	pH final do lixiviado	-	-	5,04	SMEWW 21st 4500- H+ B	0-14
16/11/2011	Solução de extração	-	-	1	-	-
16/11/2011	Tempo de lixiviação	h	-	18	-	-

Conclusão:

Resultados avaliados pelo cliente.

Observação:

Plano de amostragem:

Conforme programação, estabelecida pelo cliente.

Especificação - Define o Valor Máximo Permitido

L.Q. - Limite de quantificação

"Os resultados referem-se tão somente as características próprias das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente".

Fernanda Beckhauser
Fernanda Beckhauser
Coordenadora Administrativa
Laboratório Beckhauser & Barros

Responsável pela emissão:

Observações: Amostra coletada pelo cliente.	Almiria Beckhauser MSc. Eng ^a Química CRQ - 133.008.60
Coletado: () Contratante (X) Contratada	

Código: E 010

Revisão: 57

Emissão: 28/10/2008

Página: 1/1

Relatório de Ensaio Nº: 18289-02/2011			
Data Emissão: 21/11/2011 Revisão: 00 Emenda: EMISSÃO INICIAL			
Dados do Cliente	Cliente: GABRIELA PENKAITIS Fantasia: 002029 - GABRIELA PENKAITIS Responsável: GABRIELA PENKAITIS Endereço: RUA DO LAGO, 562 - CIDADE UNIVERSITÁRIA 05508-080 - SÃO PAULO - SP CNPJ: Fone:		

Número amostra Ponto/Local de coleta:

2011/18289-02 B: AMOSTRAS 5,6 E 7

Tipo Amostra: Coleta: Hora Entrada: Hora

RESÍDUO 18/10/2011 - 00:00:00 18/10/2011 - 17:00:00

Data Ensaio	Parâmetros	Unidade	Especificação	Resultado	Método	LQ
21/10/2011	Cobalto	mg/kg	-	2,3	SMEWW 21st 3120 B	1
21/10/2011	Cobre	mg/kg	-	13,0	SMEWW 21st 3120 B	1
21/10/2011	Cromo	mg/kg	-	50,0	SMEWW 21st 3120 B	1
21/10/2011	Níquel	mg/kg	-	36,0	SMEWW 21st 3120 B	1
21/10/2011	Porcentagem de sólidos	%p/p	-	99,8	SMEWW 21st 2540 B, E	0,05
21/10/2011	Zinco	mg/kg	-	43,0	SMEWW 21st 3120 B	1
16/11/2011	Cromo total	mg/L	5	0,051	SMEWW 21st 3120 B	0,010
16/11/2011	pH final do lixiviado	-	-	5,02	SMEWW 21st 4500- H+ B	0-14
16/11/2011	Solução de extração	-	-	1	-	-
16/11/2011	Tempo de lixiviação	h	-	18	-	-

Conclusão:

Resultados avaliados pelo cliente.

Observação:

Plano de amostragem:

Conforme programação, estabelecida pelo cliente.

Especificação - Define o Valor Máximo Permitido

L.Q. - Limite de quantificação

"Os resultados referem-se tão somente as características próprias das respectivas amostras analisadas e não substituem ou invalidam resultados de amostras coletadas anteriormente".

Fernanda Beckhauser
 Coordenadora Administrativa
 Laboratório Beckhauser & Barros

Responsável pela emissão:

 Observações:
 Amostra coletada pelo cliente.

Coletado: () Contratante (X) Contratada

Código: E 010

Revisão: 57

Emissão: 28/10/2008

Página: 1/1

Almiria Beckhauser
 MSc. Eng^a Química
 CRQ - 133.008.60