

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

**ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS DA AREIA DESCARTADA  
DE FUNDIÇÃO – DA MATÉRIA PRIMA AO PRODUTO FINAL**

**Cristiane Florido**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)**  
**NOVEMBRO/2007**

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

**ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS DA AREIA DESCARTADA  
DE FUNDIÇÃO – DA MATÉRIA PRIMA AO PRODUTO FINAL**

**Cristiane Florido**

**Trabalho apresentado à Universidade Federal  
de Santa Catarina para Conclusão do Curso de  
Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental**

**Orientador**

**Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares**

**Co-orientadora**

**Msc. Schirlene Chegatti**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)**

**NOVEMBRO/2007**


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO –  
DA MATÉRIA PRIMA AO PRODUTO FINAL.**

**CRISTIANE FLORIDO**

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

**BANCA EXAMINADORA:**



---

**Sebastião Roberto Soares, Dr.**  
(Orientador)



---

**Schirlene Chegatti, Msc.**  
(Membro da Banca)



---

**Fernando S. P. Sant'Anna, Dr.**  
(Membro da Banca)

**FLORIANÓPOLIS, (SC)**

**NOVEMBRO/2007**

## AGRADECIMENTOS

Enfim o TCC, nunca imaginei que essa minha jornada em ser engenheira seria tão comprida, foram 9 anos que enfim estão chegando ao fim. Anos que passaram inúmeros acontecimentos e decisões que mudaram o rumo da vida.

As pessoas presentes nessa jornada foram muitas e algumas ficarão no coração para o resto da vida. Fernandinho, o início na FEI. Ricardo, razão a que vim parar em Floripa. Meus pais, por não me matarem quando sai de casa, quando engravidei solteira, e quando avisei que não voltaria mais.

Anos se passaram. Muitas conquistas, muitos sonhos realizados, e muitas derrotas e dificuldades, amores que vieram e foram embora, dificuldades que me fizeram amadurecer e me deixaram louca. Mas sou grata a todos os erros que cometi, assim não mais os faço.

A gravidez na “casa muito engraçada”. Valeu Pri. Surgiu a Bia. Obrigada ao Nhão da Bia que esteve ao meu lado nos últimos 2 anos mais difíceis da minha vida, e espero estar pra sempre perto de ti, meu amigo. E que esses anos se vão e não voltem nunca mais.

Mari por tentar colocar um pouco de Deus nesse coração.

Aos amigos da UFSC Juju, Tata, Luquinhas, Mazzali, Abel, René, Marcão, Brotto, Rose, Bruna, Marina, Soldier são de vocês que lembrarei quando as lembranças da faculdade se forem.

Agora voltando ao TCC, como a fundição entrou em minha vida???? Essa é uma longa estória, não é vovô?! Carrinhos de rolemã, estilingues no xuxu, rabiolas pela modelação, mergulhos no silo de areia, escaladas nas montanhas de areia de moldagem, rendeu até um nariz quebrado. Cheirinho do papai de shell molding. Tentei fugir durante muito tempo disso tudo e acabei voltando às raízes. Não tem jeito, né pai? Sempre repetimos a estória de nossos pais.

Daqui pra frente, não tenho a mínima idéia do que vai acontecer, não sei para onde vou, não sei quem estará ao meu lado, mesmo com muito medo sei que tudo dará certo, porque sempre deu e sou muito grata a essa sorte que tenho.

A com essa última frase finalizo mais uma etapa da minha vida. Adeus.

*“O que for a profundidade do teu ser, assim será teu desejo.  
O que for o teu desejo, assim será tua vontade.  
O que for tua vontade, assim serão teus atos.  
O que forem teus atos, assim será teu destino.”*  
*(Brihadaranyaka Upanishad IV, 4.5)*

## RESUMO

A preocupação com o estado do meio ambiente é crescente, principalmente em função da disponibilidade de recursos tais como energia, matérias primas, áreas para aterros e da preservação do meio natural. As indústrias de fundição ou metalúrgicas ainda tem uma expressiva contribuição quanto aos impactos gerados pelas suas atividades, seja pelo consumo de uma considerável gama de matérias primas ou energia, seja pelos impactos ambientais associados principalmente da geração de seus resíduos.

Este trabalho faz parte de um projeto de programa de Doutorado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina que investiga passivos de resíduos de fundição, tem como objetivo principal possibilitar a indústria a reduzir custos da análise e investigação ambiental, através do estudo da caracterização da matéria-prima ao descarte de resíduos, identificando o ponto exato em que a matéria-prima no processo cria características significativas que a torne, em seu descarte, um possível passivo ambiental.

O desenvolvimento de um fluxograma par determinação das entradas de insumo e saídas dos resíduos faz parte da metodologia para definição de pontos para amostragem e caracterização das areias e resíduos do processo de fundição.

Com base em comparações dos resultados de análises da composição química pode-se observar que o processo de fundição exerce pouca influencia na caracterização do resíduo final do processo, concluindo que tanto os insumos, as areias do processo e seus resíduos mantiveram sua composição química.

Palavras-chaves: **Fundição de ferro, areia de fundição, resíduos de fundição.**

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>11</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	11
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	11
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>12</b>
3.1	FUNDIÇÃO	12
3.1.1	<i>Fundição no Brasil</i>	12
3.1.2	<i>Processo Produtivo de Peças Fundidas</i>	12
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS INSUMOS DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO	15
3.2.1	<i>Especificações dos Insumos</i>	15
3.3	RESÍDUOS GERADOS	20
3.3.1	<i>Geração do Resíduo de Areia</i>	20
3.3.1	<i>Classificação do Resíduo</i>	23
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>25</b>
4.1.1	<i>Lixiviado</i>	25
4.1.2	<i>Lixiviado Neutro</i>	27
4.1.3	<i>Massa Bruta</i>	28
4.1.4	<i>Determinação do pH</i>	29
4.1.5	<i>Distribuição Granulométrica</i>	29
4.1.6	<i>Análise de Permeabilidade</i>	30
4.1.7	<i>Grau de Inchamento</i>	31
4.1.8	<i>Perda ao Fogo</i>	31
4.1.9	<i>Umidade</i>	32
4.1.10	<i>Voláteis</i>	32
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>34</b>
5.1.1	<i>Fluxograma do Processo Produtivo de Peças Fundidas na empresa Schulz S.A.</i>	34
5.1.2	<i>Levantamento dos Resíduos Gerados na Produção</i>	38
5.1.3	<i>Amostragem</i>	39
5.1.1	<i>Resultado Massa Bruta</i>	44
5.1.2	<i>Resultado Lixiviado</i>	46
5.1.3	<i>Resultado Lixiviado Neutro</i>	48
5.1.4	<i>Resultado Distribuição Granulométrica</i>	51
5.1.5	<i>Resultado Análise de Umidade, Grau de Inchamento, Perda ao Fogo, Voláteis, Permeabilidade, pH</i>	52
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>54</b>
	<b>APÊNDICE</b>	<b>57</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO. FONTE OLIVEIRA (1998).....	13
FIGURA 2- EXEMPLO DE BALANÇO DE MASSA DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO. FONTE: ALVAREZ (2001) ....	20
FIGURA 3 – GERAÇÃO DE SUBPRODUTOS NO PROCESSO DE FUNDIÇÃO. FONTE: ALVAREZ (2001).....	21
FIGURA 4- BALANÇO DE MASSA PARA PRODUIR 1 TONELADA DE PRODUTO FUNDIDO. FONTE: ALVAREZ (2001).....	22
FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS NO PROCESSO DE FUNDIÇÃO. FONTE: CHEGATTI (2004).....	22
<b>FIGURA 6 – (1) ESPECTROFOTÔMETRO COLORIMÉTRICO. (2) ESPECTROFOTÔMETRO DE ABSORÇÃO ATÔMICA.</b> .....	26
FIGURA 7- ENSAIO DE GRANULOMETRIA .....	30
FIGURA 8 – PERMEÂMETRO.....	31
FIGURA 9 – OHAUS – DETERMINAÇÃO DE UMIDADE.....	32
<b>FIGURA 10- (1) AREIA DE MACHARIA (2) MACHOS (3) AREIA DE MOLDAGEM (4) MOLDES (5) MOLDE COM MACHOS (6) MODELO (7) FORNO (8) PANELA</b> .....	35
FIGURA 11 - (1) VAZAMENTO (2) RESFRIAMENTO (3) RESFRIAMENTO (4) ESTEIRA VIBRATÓRIA DE DESMOLDAGEM (5) QUEBRA DE CANAL.....	36
FIGURA 12- PROCESSO DE FUNDIÇÃO – COM ENTRADA DE INSUMOS.....	37
FIGURA 13 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO COM VISUALIZAÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS...	38
FIGURA 14- (1) AREIA BASE. (2) BENTONITA SÓDICA E BENTONITA ATIVADA .....	40
FIGURA 15- (1) AREIA DE MACHARIA. (2) AREIA DE MOLDAGEM .....	40
FIGURA 16- (1) AREIA DE QUEBRA DE CANAL. (2) AREIA DE DESMOLDAGEM.....	41
FIGURA 17- (1) RESÍDUO DE AREIA DE MACHARIA. (2) EXAUSTORES. (3) RESÍDUO DE PÓ DE EXAUSTÃO. ..	41
FIGURA 18 – AMOSTRAS COLETADAS.....	42
FIGURA 19 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO COM OS PONTOS DEFINIDOS PARA AMOSTRAGEM.....	43



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO TÍPICA E PROPRIEDADES DA AREIA DE MOLDAGEM .....	18
TABELA 2- PARÂMETROS ANALISADOS A PARTIR DO EXTRATO DE LIXIVIADO .....	26
TABELA 3- PARÂMETROS ANALISADOS A PARTIR DO EXTRATO DE LIXIVIADO NEUTRO.....	27
TABELA 4- PARÂMETROS ANALISADOS A PARTIR DA MASSA BRUTA .....	28
TABELA 5- QUANTIDADE DE RESÍDUOS GERADOS EM 2006 NA EMPRESA SCHULZ S.A.....	39
TABELA 6- RESULTADOS ENSAIO DE MASSA BRUTA .....	44
TABELA 7 – RESULTADO ENSAIOS DE LIXIVIADO .....	46
TABELA 8- RESULTADOS ENSAIO DE LIXIVIADO NEUTRO.....	48
TABELA 9- RESULTADO ANÁLISE GRANULOMÉTRICA .....	51
TABELA 10 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE UMIDADE, GRAU DE INCHAMENTO, PERDA AO FOGO, VOLÁTEIS, PERMEABILIDADE, PH.....	52

## 1 INTRODUÇÃO

A partir da década de 90, a preservação ambiental tornou-se uma variável de grande destaque no setor industrial. A atual produção de resíduos industriais é tal que constitui para a sociedade moderna um grande problema, não apenas de ordem sanitária e ambiental, mas também de caráter social e econômico.

As indústrias de fundição participam significativamente no mercado mundial com suas inúmeras atividades de produção, contudo a produção de resíduos, em especial suas areias representam um dos resíduos sólidos industriais com maior volume de produção. No Brasil são geradas aproximadamente 2 (dois) milhões de toneladas por ano de resíduos, concentradas em duas regiões do país: Sul e Sudeste. Sendo classificados como não perigosos, sendo considerados classe II segundo a NBR 10004 da ABNT. A maior parte destes resíduos é disposta em aterros industriais.

O aterro industrial é uma alternativa de destinação de resíduos industriais que permite a disposição controlada sem causar danos ou riscos à saúde pública, minimizando assim os impactos ambientais. Porquanto, de acordo com MARIOTO & BONIN (1996), o custo da geração de tais resíduos afeta a economia destas empresas no Brasil e a situação tende a agravar-se devido a fatores como o aumento dos custos de disposição dos resíduos, a progressiva carência de áreas adequadas para depositá-los e a eminente exigência de adequação às normas ambientais internacionais.

Segundo Walden (2003), areia de fundição é considerada apenas um resíduo sólido, mas não um resíduo perigoso, por não apresentar qualquer característica de toxicidade e não conter constituintes perigosos de acordo com a legislação.

Os resultados alcançados nas pesquisas de Winkler & Bol'shakov (2000) indicam que as quantidades de metais presentes nas areias de fundição são da mesma ordem de magnitude que solos naturais e que freqüentemente encontra-se uma menor quantidade de metal na areia, comparado ao solo.

O estudo foi realizado nas dependências da empresa de fundição de ferro Schulz S.A., Joinville, SC.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

Estudo das características da areia de fundição de ferro, desde a matéria prima ao produto final, avaliando em qual parte do processo de fundição o resíduo, desenvolve características significativas que a torne um possível passivo ambiental.

### **2.2 Objetivo Específico**

- Determinar fluxograma do processo com entradas e saídas de materiais;
- Para matérias-primas e resíduos de referência:
  - Determinar a distribuição granulométrica;
  - Analisar a permeabilidade;
  - Realizar a caracterização química;
- Comparativo das análises para a determinação do ponto do sistema em que o descarte possa a se tornar um passivo ambiental.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Fundição

#### 3.1.1 *Fundição no Brasil*

“Entre 1530 e 1640, efetivou-se a ocupação do Brasil. Em meio aos primeiros aventureiros e colonos chegam alguns artesãos e mestres conhecedores da arte de fundição e mineralogia. Esses artífices tinham por incumbência atender às necessidades de fornecimento de instrumentos para o trabalho na lavoura de subsistência e de peças necessárias aos estabelecimentos dos primeiros (...). No início do século XVIII, o ferro já começava a se tornar imprescindível aos povoadores para a fabricação de utensílios como fechaduras, ferrolhos, pregos, cravos, enxadas, foices, facões, pás, armas e cunhas para o aprisionamento de índios e negros” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS, 1989 *apud* CHEGATTI, 2004).

No Brasil, a produção de ferro data o ano de 1554, quando o Padre José de Anchieta anunciou à Coroa de Portugal a descoberta de minérios de ferro na região de São Paulo (OLIVEIRA, 1998).

Com o advento da indústria automobilística, na década de 50, criou-se demanda suficiente para impulsionar a indústria de fundição não só em São Paulo, mas em todo Brasil (OLIVEIRA, 1998).

A técnica de fundir metais foi aperfeiçoada continuamente por meio das experiências que buscavam a melhoria dos moldes e da forma de vaziar a liga metálica, sendo hoje esta prática essencial para a qualidade das atividades de fundição (CHEGATTI, 2004).

Em 2001, segundo dados da ABIFA, o Brasil ocupava o 11º lugar entre os produtores mundiais de fundidos, produzindo quase 1.600.000 toneladas/ ano, em cerca de 1.000 empresas de pequeno e médio porte, empregando aproximadamente 40.000 trabalhadores (BONET, 2002 *apud* CHEGATTI, 2004). A produção atual de fundidos é cerca de 2.400.000 toneladas/ano gerando 52.000 empregos diretos e 200.000 indiretos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO, 2006).

#### 3.1.2 *Processo Produtivo de Peças Fundidas*

Pode-se chamar de fundição o processo pelo qual se obtêm peças com a forma de um molde. “A base de todos os processos de fundição consiste em alimentar o metal líquido, na cavidade de um molde com o formato requerido seguindo-se um resfriamento a fim de produzir um objeto sólido resultante de solidificação” (CAMPOS FILHO, 1978 *apud* CHEGATTI, 1999).

As operações de obtenção de peças fundidas resumem-se em: modelação, macharia, moldagem, fusão, vazamento, desmoldagem, rebarbação e limpeza. (ALBA, 1989 *apud* OLIVEIRA, 1998).

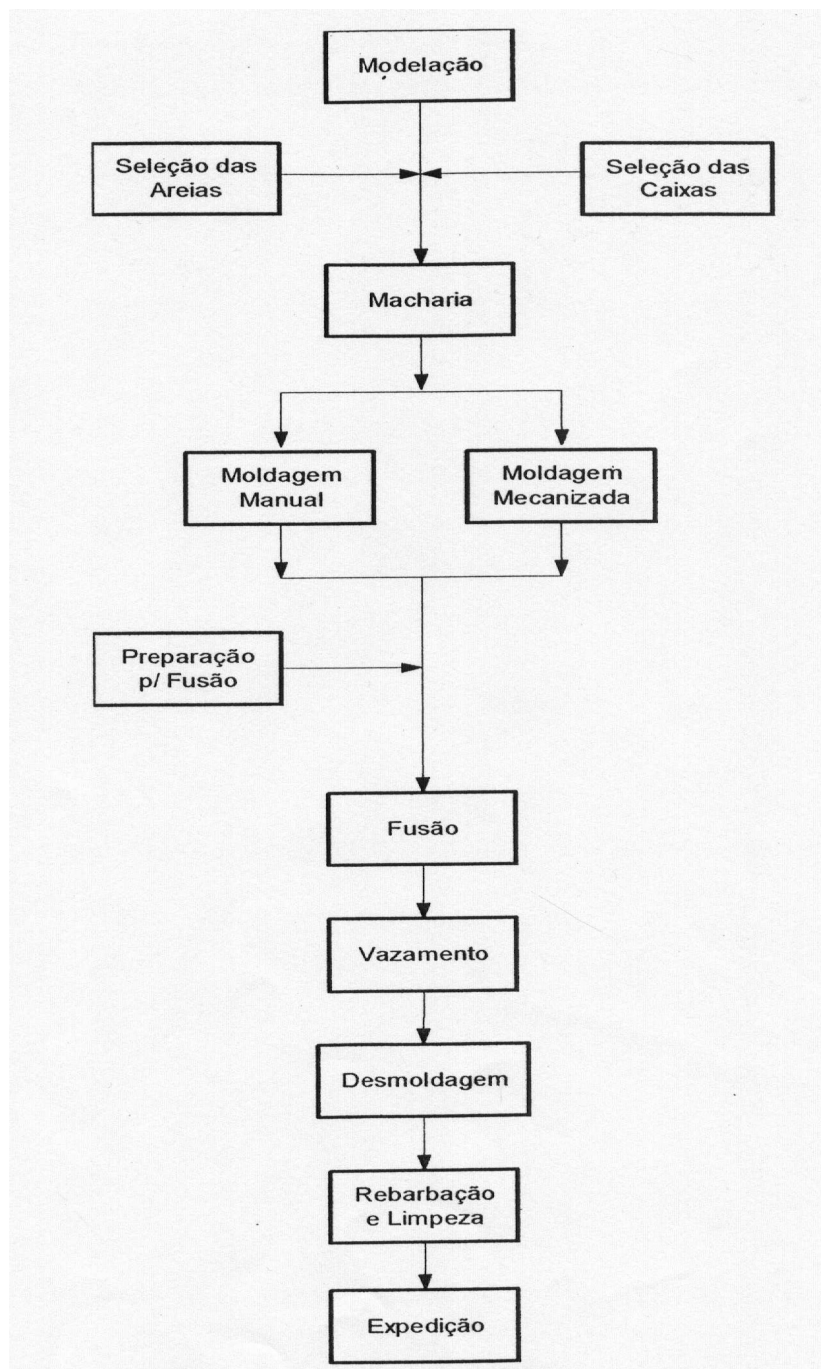


Figura 1 - Fluxograma do processo de fundição. FONTE OLIVEIRA (1998)

Conforme Perini (1996), o modelo é a matriz da peça, é a réplica perfeita da peça. Podem ser desenvolvidas em madeira, metal, resinas ou outros materiais. Com o modelo será desenvolvida a caixa de molde.

O molde tem por função oferecer o formato negativo da peça na qual será vazado o metal líquido. “O molde é feito por empacotamento de areia, em torno do modelo, toda

a estrutura estando contida numa caixa de moldagem. O molde é feito em duas partes: uma superior (caixa superior) e outra inferior (caixa inferior)” (CAMPOS FILHO, 1978 *apud* CHEGATTI, 2004). O molde ou caixa de moldagem é formado por uma mistura de vários materiais que se combinam dando características de perfeita trabalhabilidade ao bolo que compõe a caixa de moldagem. A formulação da areia de moldagem a ser usada depende do tipo de metal ou liga a ser fundida. (PEREIRA, 2005). O material da moldagem mantém a forma da cavidade que transfere à peça todas as características do modelo. (PEREIRA, 2005).

Para reproduzir detalhes a peça, cavidades ou reentrâncias são em alguns tipos de peças introduzidas à caixa de moldagem os machos. O macho conforme Kondic (1973) são peças sólidas conformadas ou feitas de uma mistura areia endurecida por calor ou reação química. Esse será removido após o vazamento.

A areia do processo de macharia pode ser recuperada pelos métodos de calcinação, ação mecânica. A calcinação consiste no aquecimento da areia misturada a uma temperatura suficiente para proporcionar a queima total do aglomerante, normalmente acima de 650°C. O processo permite o reaproveitamento em torno de 95% da areia processada e reutilização total em qualquer processo de moldagem e macharia. (WEINFURTER, 1990). O processo pela ação mecânica consiste na abrasão e choque dos grãos de areia, proporcionando a quebra do filme de aglomerado. Este processo não permite um reaproveitamento tão eficiente quanto ao de calcinação, devido à fragmentação e dificuldade na remoção, devido à fragmentação e dificuldade na remoção total do filme de aglomerante.

Na fusão conforme CAMPOS FILHO (1978), a provisão do metal é feita pela alimentação do metal líquido por meio de um sistema de canais existentes no molde. Os canais de alimentação alargados ou massalotes são abertos de modo a permitir que o metal escorra para a cavidade do molde. O vazamento deve ser constante impedindo a sedimentação de escória, material insolúvel do ferro, no interior do molde. A remoção da escória consiste no ato de retirar durante a fusão e no momento do vazamento todo o material indesejado que se forma na parte superior do metal líquido. Muitas vezes deixa-se uma camada inferior a 1 cm de escória, para proteger o banho (ALBA *apud* OLIVEIRA, 1998).

Após a solidificação e resfriamento a peça passa pelo processo de desmoldagem, através da vibração do conjunto de moldagem para retirar a mistura de areia e posteriores etapas do acabamento.

A areia que os constituía é recolhida para a reutilização em um novo ciclo de produção ou enviada para tratamento e/ou disposição final em um aterro controlado. O processo é do tipo regenerativo, o material que chega ao fim do ciclo de trabalho retorna ao início do processo, reutilizando a mesma areia. A areia após perder sua condição de trabalhabilidade no processo é descartada, e torna-se necessário a freqüente reposição de elementos por perda do volume e da descaracterização dos componentes. (PEREIRA, 2005).

Durante a etapa de acabamento a areia é removida e a limpeza é operacionalizada através de jateamento, escovação e esmerilhagem, a qual proporciona a usinagem superficial da peça. A quebra de canais consiste no ato de colocar a peça em local adequado para então quebrar manualmente, com marreta e martelo, os canais e massalotes, que não fazem parte da peça e que são classificados como sucata. O jateamento com granalha de aço consiste em colocar a peça, já sem canais e massalotes em uma câmara na qual se realiza o jateamento com granalha de aço (pequenas esferas de

ação) a fim de deixar a peça mais limpa. No acabamento final a escovação e a esmerilhagem consiste na remoção de rebarbas (restos de metais que aparecem nas peças fora das dimensões da peça desejada) através do uso de esmeris (*ALBA apud OLIVEIRA, 1998*).

Segundo Mariotto (2001, p.2), estima-se que mais de 80% das peças fundidas produzidas, utilizam moldes feitos de areia aglomerada, sendo o aglomerante mais comum a argila, que é empregada para confeccionar os moldes, que dão forma às faces externas das peças fundidas. Uma vez vazado o metal líquido no interior do molde e solidificado, o mesmo é desagregado (desmoldagem), separando a peça fundida da areia que retorna quase que integralmente para a confecção de novos moldes. Mesmo que esta areia retorne ao processo produtivo para confeccionar novos moldes, há necessidade da incorporação de areia nova, pois as novas tecnologias na confecção dos moldes, requerem areias limpas (areia nova). Esta entrada de areia nova no processo produtivo, gera um excedente, de areia usada, sendo esta descartada na mesma proporção em que a quantidade areia nova entra no processo produtivo.

## 3.2 Caracterização dos Insumos do Processo de Fundição

### 3.2.1 Especificações dos Insumos

#### *a) Insumos para macharia:*

Para o preparo das areias de macharia utilizam-se resinas sintéticas misturadas a areia-base e a catalisadores.

#### **Areia Base:**

A areia base é usada para confecção dos machos no processo de macharia, quanto usada no processo de moldagem. As areias mais usadas são: areia de quartzo ou sílica ( $\text{SiO}_2$ ), encontrada em abundância na natureza, seguido por cromita ( $\text{FeCr}_2\text{O}_5$  ou  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ), as de zirconita ( $\text{ZrSiO}_4$ ) e as de olivina ( $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$ ). Seu consumo depende do tipo de peça a ser confeccionada. Usada tanto para a macharia como na moldagem para fabricação de moldes e machos. Caracterizada mineralogicamente como agregado fino e puro, com granulometria variando de 0,05mm a 2,0mm de diâmetro. Nos depósitos naturais, algumas vezes a areia poderá estar contaminada com argila. (*GIANNINI, 1995*).

Conforme GARNAR (1977 apud SCHEUNEMANN, 2005), os requisitos básicos para um desempenho satisfatório das areias de fundição são:

- Possuir estabilidade dimensional e térmica a elevadas temperaturas;
- Possuir tamanho e formato de partículas adequado;
- Ser quimicamente inerte a metais fundidos;
- Não ser facilmente molhada por metais fundidos;

- Não conter elementos voláteis que produzam gases ao serem aquecidas;
- Ser disponível em grandes quantidades e a 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.

A areia também deverá ser quimicamente inerte e possuir refratariedade adequada ao metal a ser fundido.

Segundo LORÈ (1978), as areias de moldagem classificam-se segundo os critérios de constituição como: origem, uso, emprego na caixa de fundição, estado de umidade e qualidade do metal.

a) Quanto à origem:

- Areias Naturais, que são originadas de arenitos de cimento argiloso ou de alteração de rochas feldspáticas (saibros), que são usados diretamente na moldagem, sofrendo apenas uma correção na umidade;
- Areias Semi-sintéticas, que são resultantes das modificações introduzidas nas areias naturais, por meio de adição de substâncias que visam corrigi-las, melhorando suas qualidades;
- Areias Sintéticas, que são obtidas pela mistura correta da areia-base e aglomerantes em proporção adequada e umidade determinada;

b) Quanto ao uso:

- Areia nova, quando utilizada pela primeira vez na fundição;
- Areia usada, quando recuperada de fundições anteriores;

c) Quanto ao emprego na caixa de fundição:

- Areia de faceamento é a parte da areia que faceia o modelo e entra em contato com o metal de vazamento;
- Areia de enchimento é a parte da areia que constitui o restante da caixa de moldagem;
- Areia de macho é aquela destinada ao preparo dos machos, conformadores das cavidades internas das peças;

d) Quanto ao estado de umidade da areia:

- Areia úmida ou verde é a que mantém no momento do vazamento, aproximadamente a mesma umidade do preparo;
- Areia estufada é aquela preparada com composição adequada para macho e moldes e que sofrem cozimento em estufa antes do vazamento;

e) Quanto à qualidade do metal:

- Areias para metais ferrosos (ferro de fundido cinzento, maleável e aço);
- Areia para metais não ferrosos (bronze e latão, cobre e níquel, alumínio e magnésio).

**Resinas:**



No processo cold-box, as resinas utilizadas fazem parte de um sistema constituído por duas partes que reagem entre si e curam à temperatura ambiente na presença de um catalisador gasoso. (WEINFURTER, 1990).

A parte I é um tipo fenol-éter-poli-benzílico dissolvida em uma mistura de hidrocarbonetos aromáticos e ponto de ebulição alto (158°C), proporcionando segurança quanto à saúde do trabalho. A parte II, é um poli-isocianato, mais precisamente o difenilmetano-di-isocianato, conhecido como MDI, dissolvido com solventes orgânicos voláteis. O poli-isocianato é suscetível à reação com a umidade, sendo necessários cuidados com a armazenagem, em embalagens hermeticamente fechadas e tempo de 6 meses. As duas resinas são inflamáveis. (WEINFURTER, 1990).

### **Resinas Fenólicas:**

Resinas fenol-formol ou FF são resinas sintéticas termofixas produzidas pela reação de fenol e formol. São denominadas de resóis ou alcalinas, e/ou por ácidas ou novolacas, de acordo com o processo pelo qual são produzidas; alcalino ou ácido; respectivamente. (GIANNINI, 1995 apud OLIVEIRA, 1998);

Segundo Weinfurter (1990), a resina fenólica é um material inflamável, podem-se formar concentrações excessivas de mistura ar/vapor de solvente inflamável e/ou explosiva. O material deve ser utilizado com ventilação adequada, e ambientes afastados de fontes de calor. Devendo-se evitar contato com a pele, que pode causar ressecamento, rachaduras, irritações.

Na confecção de machos e moldes no contato da mistura com a superfície quente do ferramental ocorre a liberação de quantidades variáveis de fenol, amoníaco vapores do lubrificante e pequena quantidade de fumaça resultante da queima parcial da resina e do lubrificante, constituída de monóxido de carbono, gás carbono, vapor de água, gás cianídrico, material particulado, etc. (WEINFURTER, 1990).

### **Resinas Poliisocianatos:**

Resinas poliisocianatos, são resinas de metileno difenil isocianoato dissolvida em solventes.

As resinas apresentam características de ótima resistência a agentes químicos e à umidade, a solventes fortes, detergentes, ácidos, abrasão, boa resistência ao calor e flexibilidade, mas sua matéria prima é considerada como tóxica (SCHEUNEMANN, 2005).

Além das resinas fenólicas e poliisocianatos existem também as resinas (GIANNINI, 1995 apud OLIVEIRA, 1998):

- Resinas Uréia-Formol: chamadas também resinas uréicas, produzidas pela reação de formol com uréia.
- Resinas Furânicas: são resinas mais complexas com três componentes ativos: uréia-formol/álcool furfúlico ou fenol-formol furfúlico.

Conforme descrito por ALBA (1989 apud OLIVEIRA, 1998) o tipo de resina a ser empregado depende do processo usado pela fundição, os mais comuns são:

- **Processo cura frio:** neste processo a resina aglomerante da areia solidifica-se a temperatura ambiente, quando exposta a um conversor ácido e a cura é exotérmica. O macho pode ser retirado da caixa em poucos minutos e sua resistência máxima é atingida em cerca de 4 a 5 horas.
- **Processo CO<sub>2</sub>:** os aglomerantes da areia usados aqui são silicatos na base de 5% do peso da areia. Na mistura são usadas 50% de areia fina e 50% de grossa e o catalisador da mistura é o gás carbônico (CO<sub>2</sub>).
- **Processo Shell:** este processo utiliza resinas fenólicas na base de 3 a 4% do peso da areia do grupo das novolacas, ou seja, ácidas. Emprega-se uma quantidade maior de fenol em relação ao formol. As vantagens deste processo são: um melhor acabamento superficial das peças fundidas, alta estabilidade dimensional, menor rebarbação, menor quantidade de refugos a ocorrência de gases, sinterização da areia e falta de enchimento.

#### *b) Insumos para moldagem:*

Tabela 1 - Composição típica e propriedades da areia de moldagem

Componente/Propriedade	Limites
Areia	70-80%
Água	2-4%
Argila	5-15%
Aditivos	2-5%
Umidade	0-4%
Perda ao Fogo	0,2-8%
pH	3-12
Argila AFS	40-150
% Finos ( passado pela peneira 200 Mesh)	1-2%
Densidade	1,0 –1,6 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: adaptado de Foundry Sand Beneficial Reuse Manual - Special Report, (1996) apud CHEGATTI, 2004.

#### **Areia Base:**

Mesma areia utilizada no processo de macharia, descrita acima.

#### **Bentonita:**

A bentonita foi descoberta como uma argila plástica coloidal que apresentava peculiarmente a capacidade de aumentar de volume várias vezes cerca de 20 vezes quando em contato com água e de formar géis tixotrópicos em meio aquoso. Geologicamente pode ser definida como uma rocha constituída essencialmente por um argilomineral esmectítico formado pela desvitrificação e subsequente alteração química de um material vítreo, de origem ígnea, usualmente um tufo ou cinza vulcânica. A bentonita sódica natural, de maior procura para o processo de fundição, no Brasil a nacional, deve ser tratada a argila cálcica com carbonato de sódio para obtenção de bentonita sódica sintética ou ativada. Porque a bentonita cálcica não apresenta as características do inchamento. (DEMATTE, 2003)

A bentonita é o aglomerante usado na confecção de moldes em areia, que misturada com a água desenvolve propriedades adesivas e coesivas. A adesividade permite que a argila envolva o grão de areia, estabelecendo uma forte ligação entre as superfícies dos grãos de areia e as pequenas partículas de argila, enquanto que a coesividade é a característica que proporciona a resistência ao filme de argila. (REINERT, 2001)

Um silicato de alumina hidratado. Material constituído essencialmente por um argilo mineral montmorilonítico formado pela desvitrificação e subsequente alteração química de um material vítreo, contém em sua composição silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, potássio e sódio. Formada por lamelas, sendo classificada pela espessura das mesmas. De origem ígnea, usado como aglomerante nas areias. (REINERT, 2001)

O uso da bentonita proporciona maior área de contato para aumento da força coesiva, faz a ordenação das moléculas de água.

### **Água:**

A água no processo de moldagem exerce a característica principal em dar coesão à mistura. Têm grande influência na maioria das principais propriedades da areia e exerce grande influência nas ligações areia-argila. A água industrial contém grandes quantidades de eletrólitos (sais) prejudiciais, que afetam diretamente as características das bentonitas, a quantidade do acabamento superficial das peças e a resistência à tração a úmido da areia. Esses sais dão origem aos “íons vagabundos” que desalinham as moléculas de água que estão entre as lamelas das bentonitas fazendo com que diminua a resistência a tração da mistura. (REINERT, 2001)

A água influencia na capacidade de moldabilidade, compactabilidade, e águas livres tendem a gerar gases e esse faz com que incorpore ainda mais sais na areia. O único sal benéfico à areia é a barrilha (Carbonato de sódio) proveniente da ativação da bentonita. (REINERT, 2001).

### **Pó de carvão:**

Aditivo formado por matéria volátil, carbono fixo, cinzas, água e enxofre. Material de origem mineral sem nenhum tratamento químico posterior, usado no processo de moldagem para promover a geração de Carbono Vítreo.

Responsável pelo acabamento/desmoldabilidade. É a prevenção de defeitos provocados por atmosfera oxidante como sinterização, reação metal/molde, porosidades e

expansão. A cada 1% de pó de carvão causa acréscimo de 0,06% de umidade, aumenta o teor de umidade da areia para alcançar a compactibilidade e demais propriedades.

### Aditivos:

Podem ser usados aditivos como dextrina, pó de madeira, entre outros (COSTA e GIÃO, 2001).



Figura 2- Exemplo de balanço de massa do processo de fundição. FONTE: ALVAREZ (2001)

## 3.3 Resíduos Gerados

### 3.3.1 Geração do Resíduo de Areia

O Brasil é tradicionalmente um dos maiores produtores mundiais de peças fundidas, tendo produzido no ano de 2000, aproximadamente 1,7 milhões de toneladas. Essa produção exige que a Indústria de Fundição brasileira processe anualmente entre 6 e 7 milhões de toneladas de areia verde e de macharia, das quais 5 a 6 milhões de toneladas são recicladas diretamente no processo e a diferença (da ordem de 1 milhão de toneladas) torna-se um excedente que tem sido descartado.(OLIVEIRA, 2005)

As etapas dos processos de modelação que incluem a moldagem e macharia, a fusão e o acabamento são responsáveis pela geração dos seguintes resíduos: areias do sistema (mistura e preparo), areia de macharia, pó de exaustão, escórias e refratários, pó do acabamento. (ABIFA, 2006)

No processo produtivo após o resfriamento do metal, a areia é separada do fundido e as fundições tentam reciclar o máximo possível de areia novamente para o sistema (BASTIAN & ALLEMAN, 1998). Para manter constante a quantidade total de areia em processamento na fundição é preciso descartar regularmente uma quantidade de areia usada equivalente à quantidade de areia nova comprada. A areia a ser descartada é colhida em um ponto conveniente do sistema de transporte interno. Os pedaços de

machos que não se desagregam totalmente (torrões) e que ficam retidos em uma peneira rotativa também são eliminados (WATANABE *et al.*, 2002).

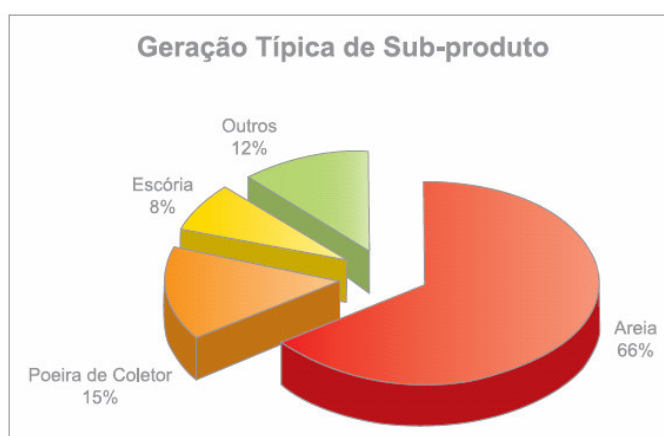
Conforme MARIOTTO (2001) o sistema de areia recebe nova quantidade para produzir machos e moldes. Para que o volume total de areia não aumente, é necessário descartar o excedente. Areia e ligantes são adicionados para manter a qualidade do fundido e para repor a areia perdida durante as operações normais (WINKLER *et al.*, 2000 apud CHEGATTI, 2004).

Durante o processo de macharia pode ocorrer refugo de machos, bicos de sopro e areia de cabeçotes, sendo que esses resíduos são enviados para o processo de regeneração, sendo quase totalmente reciclado. O processo de regeneração consiste na remoção do material que envolve os grãos de areia de macharia. A remoção é realizada por diferentes processos que incluem a calcinação e atrição. A regeneração térmica é normalmente indicada ao material proveniente de machos e moldes ligados quimicamente; porque estes processos têm, normalmente, o grão revestido por material orgânico. Enquanto a atrição é utilizada quando a capa sobre o grão de areia é constituída de material inorgânico. (OLIVEIRA, 2005).

No processo de moldagem e desmoldagem da areia verde também podem ser gerados resíduos sendo que os mesmos poderão ser recuperados (caso possua as características específicas para retornar para o processo) ou poderão ser enviados para descarte em aterro.

Assim, os diferentes tipos de resíduos gerados variam em quantidade, em características físicas e químicas e, em função da variabilidade existente em cada resíduo, seu potencial para reuso ou reciclagem também será variável. A medição das quantidades geradas de cada tipo de resíduo, além do conhecimento de suas propriedades químicas e físicas, é de especial importância na análise de opções de reuso ou reciclagem (SMITH & KUNES, 1983 apud CHEGATTI, 2004)

Na figura 3 está representada uma fundição de ferro com os insumos, as reciclagens normalmente executadas internamente e o produto, subprodutos e resíduos normalmente gerados na operação.

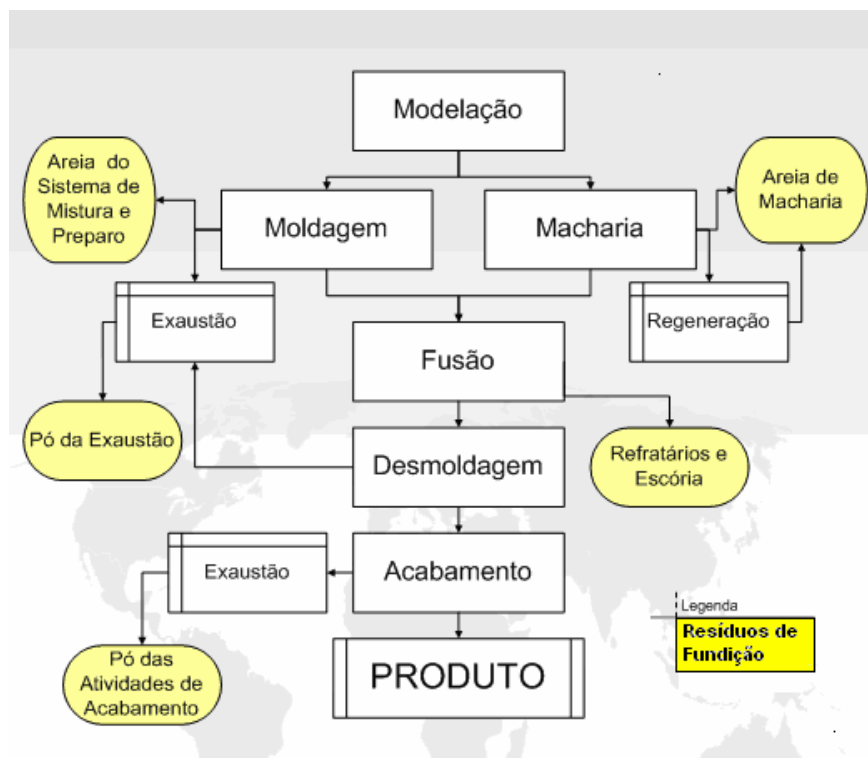


**Figura 3 – Geração de subprodutos no processo de fundição. FONTE: ALVAREZ (2001)**

Como pode ser verificado na figura 4, areia é o grande subproduto, em termos de volume, gerado pelo processo de fundição.



**Figura 4- Balço de massa para produzir 1tonelada de produto fundido. FONTE: ALVAREZ (2001)**



**Figura 5 – Fluxograma da geração de resíduos no processo de fundição. FONTE: CHEGATTI (2004).**

Para a American Foundrymen's Society – AFS (2003), as propriedades típicas do resíduo de areia de fundição seguem a Tabela 2

Tabela 2 - Propriedades do Resíduo de Areia de Fundição

Propriedade	Limites	Método
Peso Específico	2,39-2,55	ASTM D854
Absorção, %	0,45	ASTM C128
Argila e Partículas finas	1-44	ASTM C142/AASHTO T112
Coefficiente de Permeabilidade, cm/sec	$10^{-3}$ – $10^{-6}$	ASTM T215/ASTMD2434
Limite de Plasticidade	Não plástica	ASTM D4318/AASHTO T90

Fonte: adaptado de American Foundrymen Society (2003) *apud* CHEGATTI, 2004.

### 3.3.1 Classificação do Resíduo

Segundo ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, a classificação dos resíduos sólidos segundo as normas (NBR):

- NBR 10.004- Resíduos Sólidos – Classificação: **Classe I** - perigosos, **Classe II-A**, não inertes e **Classe II-B**, inertes;
- NBR 10.005- Lixiviação de Resíduos – Procedimentos;
- NBR 10.006- Solubilização de Resíduos Sólidos – Métodos de ensaios;
- NBR 10.007- Amostragem de Resíduos – Procedimentos;

A classificação da ABNT baseia-se, fundamentalmente, nas características dos resíduos, em listagem de resíduos reconhecidamente perigosos e em listagens de padrões de concentração de poluentes, sendo presente na NBR 10.004 de 2004 as seguintes listagens:

Listagem A - Resíduos perigosos de fontes não específicas;

Listagem B - Resíduos de fontes específicas;

Listagem C - Substâncias agudamente tóxicas;

Listagem E - Substâncias tóxicas;

Listagem F - Concentração - Limite máximo no extrato obtido no teste de lixiviação;

Listagem G - Padrões para o teste de solubilização;

Listagem H - Codificação de alguns resíduos classificados como não perigosos.

Com base na norma ABNT NBR 10.004 a areia de fundição pode ser classificada como resíduo não inerte (CLASSE II), dependendo do processo de moldagem ou macharia.

Com essa pesquisa terá a porcentagem exata das areias de descartes de fundição de ferro que são classificadas em cada uma dessas classes, estima-se que 95% segundo, ABIFA, seja resíduo Classe II.

Os Resíduos Classe IIB - Inertes são aqueles que amostrados de forma representativa conforme NBR 10.007 e submetidos aos testes segundo NBR 10.005 - não têm nenhum dos seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, existente na NBR 10.004.



## 4 METODOLOGIA

Foi realizado o levantamento bibliográfico referente à pesquisa proposta, com ênfase nas perdas das características durante o processo industrial, levantando os prováveis pontos de contaminação do resíduo nas diversas fases do processo.

Adicionalmente executou-se visitas técnicas na fundição da empresa Schulz S.A. para acompanhamento de todas as fases do processo de fundição visando a formulação do fluxograma das atividades e da geração dos resíduos de areia. Para a coleta das amostras de matérias-primas, areias e resíduos seguiu-se a NBR 10.007.

O estudo das propriedades das matérias-primas, areias e resíduos foi efetuado através de caracterização física e da determinação da composição química das amostras coletadas pela realização de testes de lixiviação, lixiviação neutra e massa bruta.

A metodologia como um todo contempla:

Parte teórica:

- a) Levantamento bibliográfico;
- b) Identificação e especificação dos insumos utilizados no processo;
- c) Desenvolvimento de fluxograma do processo de fundição
- d) Levantamento dos resíduos da produção;
- e) Definição de pontos estratégicos para amostragem.

Parte prática:

- a) Amostragem;
- b) Caracterização detalhada dos insumos e resíduos, do ponto de vista da sua composição completa e características físicas;
- c) Análise comparativa dos dados levantados.

### ***4.1.1 Lixiviado***

A lixiviação das amostras analisadas foi realizada conforme método prescrito na NBR 10.005 para espécies químicas relevantes presentes nas amostras e, posteriormente, comparado seus resultados obtidos entre si.

Metodologia aplicada no ensaio: Inicia-se o ensaio com a determinação da solução de extração a ser utilizada. Utiliza-se 5 g da amostra em béquer de 150 ml, adiciona-se 96,5ml de água deionizada, agitando por 5 minutos e em seguida mede-se o pH. Se o  $\text{pH} > 5$  adiciona-se 3,5ml de HCL 1N, a solução deve ser aquecida a 50°C por 10 minutos. Após resfriamento a temperatura ambiente mede-se novamente o pH. Caso o  $\text{pH} \leq 5$ , a solução de extração utilizada será a nº1- solução extratora nº1- 5,7ml de ácido acético glacial em água destilada ou deionizada e 64,3 ml de Na oh 1,0N., completar o volume de 1litro. O pH dessa solução de ser  $4,93 \pm 0,05$  - Caso  $\text{pH} > 5$ , utiliza-se a

solução de extração nº2 –5,7 ml de ácido acético glacial em água destilada ou deionizada e completar o volume para 1 litro, o pH desta solução deve ser  $2,88 \pm 0,05$ .

Para o ensaio deve-se pesar  $100 \pm 0,1$ g de amostra e transferida ao frasco de lixiviação. Adicionada à solução extratora, antes estabelecida, na quantidade igual a 20 vezes a massa utilizada. O frasco deve ser mantido agitado por  $18 \pm 2$  horas a temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  com rotação de  $30 \pm 2$  rpm. Após esse período, a amostra deve ser filtrada em 2 papéis brancos, um sobre o outro. O pH deve ser medido. O filtrado resultante é o extrato lixiviado.

**Tabela 2- Parâmetros analisados a partir do extrato de lixiviado**

PARÂMETROS	UNIDADES	MÉTODO	EQUIPAMENTO
ARSÊNIO	mg/l As	Standart Methods 20ª. Edição 3111 D	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
BÁRIO	mg/l Ba	Standart Methods 20ª. Edição 3111 E	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
CHUMBO	mg/l Ba	Standard Methods 20ª. Edição 3111 B	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
CROMO TOTAL	mg/l Ba	Standard Methods 20ª. Edição 3111 B	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
CÁDMIO	mg/l Ba	Standard Methods 20ª. Edição 3111 B	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
FLUORETOS	mg/l F	Standard Methods 20ª. Edição 4500 B	Espectrofotômetro Colorimétrico
MANGANÊS	mg/l Ma	Standard Methods 20ª. Edição 3111 D	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
MERCÚRIO	mg/l Hg	Standard Methods 20ª. Edição 3114 C	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
PRATA	mg/l Ag	Standard Methods 20ª. Edição 3111 B	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
SELÊNIO	mg/l Se	Standard Methods 20ª. Edição 3114 C	Espectrofotômetro de Absorção Atômica e Gerador de Hidretos
VANÁDIO	mg/l Va	Standard Methods 20ª. Edição 3111 D	Espectrofotômetro de Absorção Atômica



**Figura 6 – (1) Espectrofotômetro Colorimétrico. (2) Espectrofotômetro de Absorção Atômica.**

### 4.1.2 Lixiviado Neutro

A Decisão da Diretoria nº. 152/2007/C/E, de 8 de agosto de 2007, CETESB com o documento intitulado de “Procedimento para Gerenciamento de Areia de Fundição” no estado de São Paulo, estabelece a execução do ensaio de lixiviado neutro como um dos requisitos a serem atendidos pelas empresas geradoras da areia descartada de fundição com vistas a reutilização. Desta forma, este ensaio foi utilizado neste estudo por tratar-se de uma referencia normativa existente para os resíduos em estudo.

Metodologia aplicada no ensaio: Deve ser utilizado o especificado no procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, item 4.1.2, acima. Omitir a etapa descrita para a determinação da solução extratora da NBR 10005/2004 e utilizar, água deionizada como solução de extração.

O ensaio deve prosseguir como o lixiviado normal. Nessa modificação, a solução ácida de extração foi substituída por água deionizada. O filtrado resultante é o extrato lixiviado neutro.

**Tabela 3- Parâmetros analisados a partir do extrato de lixiviado neutro**

PARÂMETROS	UNIDADES	MÉTODO	EQUIPAMENTO
ALUMÍNIO	mg/l Al	Standard Methods 20ª. Edição 3111 D	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
ARSÊNIO	mg/l As	Standard Methods 20ª. Edição 3111 D	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
BÁRIO	mg/l Ba	Standard Methods 20ª. Edição 3111 E	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
CHUMBO	mg/l Pb	Standard Methods 20ª. Edição 3111 B	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
CIANETO	mg/l CN	Standard Methods 20ª. Edição 4500 E	Espectrofotômetro Colorimétrico
CLORETO	mg/l Cl	Standard Methods 20ª. Edição 4500 C	Vidraria Geral
COBRE	mg/l Cu	Standard Methods 20ª. Edição 3111 B	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
CROMO TOTAL	mg/l Cr	Standard Methods 20ª. Edição 3111 B	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
CÁDMIO	mg/l Cd	Standard Methods 20ª. Edição 3111 B	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
DUREZA	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Standard Methods 20ª. Edição 2340 C	Vidraria Geral
FENÓIS TOTAIS	mg/l C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	Standard Methods 20ª. Edição	Espectrofotômetro Colorimétrico
FERRO TOTAL	mg/l Fé	Standard Methods 20ª. Edição 3111 B	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
FLUORETOS	mg/l F	Standard Methods 20ª. Edição 4500 B	Espectrofotômetro Colorimétrico

<b>MANGANÊS</b>	mg/l Ma	Standard Methods 20ª. Edição 3111 D	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
<b>MERCÚRIO</b>	mg/l Hg	Standard Methods 20ª. Edição 3114 C	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
<b>NITRATOS</b>	mg/l NO <sub>3</sub>	DIN 38405 D9 – ISO 7890/01	Espectrofotômetro Colorimétrico
<b>NÍQUEL</b>	mg/l Ni	Standard Methods 20ª. Edição 3111 B	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
<b>PRATA</b>	mg/l Ag	Standard Methods 20ª. Edição 3111 B	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
<b>SELÊNIO</b>	mg/l Se	Standard Methods 20ª. Edição 3114 C	Espectrofotômetro de Absorção Atômica e Gerador de Hidretos
<b>SÓDIO</b>	mg/l Na	Standard Methods 20ª. Edição 3111 B	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
<b>SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS</b>	mg/l	Standard Methods 20ª. Edição 2510	Condutivímetro
<b>SULFATO</b>	mg/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Merck 065 Kit 14791	Espectrofotômetro Colorimétrico
<b>SULFITO</b>	mg/l SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Standard Methods 20ª. Edição 4500 B	Vidraria Geral
<b>TENSOATIVOS</b>	mg/l LAS	Standard Methods 20ª. Edição 5540 C	Espectrofotômetro Colorimétrico
<b>ZINCO</b>	mg/l Zn	Standard Methods 20ª. Edição 3111 B	Espectrofotômetro de Absorção Atômica

### 4.1.3 Massa Bruta

Assim como o ensaio de lixiviado, como o ensaio de lixiviado neutro, o ensaio de massa bruta tem como objetivo determinar a composição dos resíduos de areia, embora as amostras coletadas nesse trabalho não fossem todas resíduos.

A massa bruta da composição do resíduo foi determinada por intermédio de uma análise quantitativa dos constituintes, realizadas em laboratório sobre uma amostra seca.

**Tabela 4- Parâmetros analisados a partir da massa bruta**

<b>PARÂMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>EQUIPAMENTO</b>
<b>ARSÊNIO</b>	mg As/kg	NBR 10.004	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
<b>BERÍLIO</b>	mg Be/kg	NBR 10.004	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
<b>CHUMBO</b>	mgPb/kg	NBR 10.004	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
<b>CIANETO</b>	mgCN/kg	NBR 10.004	Espectrofotômetro Colorimétrico

<b>CROMO VI</b>	mgCr/kg	NBR 10.004	Espectrofotômetro Colorimétrico
<b>FENÓIS</b>	mgfenol/kg	NBR 10.004	Espectrofotômetro Colorimétrico
<b>FERRO TOTAL</b>	mg/l Fe	Standard Methods 20ª. Edição 3111 B	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
<b>MANGANÊS</b>	mg/kg	Standard Methods 20ª. Edição 3111 B	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
<b>MERCÚRIO</b>	mgHg/kg	NBR 10.004	Espectrofotômetro de Absorção Atômica
<b>SELÊNIO</b>	mgSe/kg	NBR 10.004	Espectrofotômetro de Absorção Atômica e Gerador de Hidretos
<b>VANÁDIO</b>	mgV/kg	NBR 10.004	Espectrofotômetro Colorimétrico
<b>ÓLEOS E GRAXAS</b>	mg/kg	Standard Methods 20ª. Edição 5520 D	Balança Analítica

#### ***4.1.4 Determinação do pH***

Metodologia aplicada no ensaio: Para análise do pH, inicia-se calibrando o pHmetro com solução tampão pH 7,0 e 4,0. Pesam-se 25g da amostra seca e fria e transfere-se para um becker de 250 ml, acrescentando 100 ml da água com o pH ajustado, e leva-se à fervura durante 5 minutos. Após resfriado, efetua-se a leitura do pH com a amostra sob agitação.

#### ***4.1.5 Distribuição Granulométrica***

O objetivo de ensaio de distribuição granulométrica via peneiramento a seco é a determinação das dimensões das partículas presentes na amostra.

Neste ensaio as amostras foram passadas por um conjunto de peneiras com agitador mecânico e malhas ou aberturas diferenciadas para a retenção das partículas.

O valor do percentual retido em cada malha é obtido pela seguinte fórmula:

$$\%retido = \frac{MS}{MT} \times 100$$

Onde: MS = Massa Seca Retida na Peneira (g).

MT = Massa total (g).

Para o ensaio ser efetuado, foi necessário pesar 50g da amostra e transferir para o conjunto de peneiras sobre o agitador mecânico. A amostra fora agitada por 15 minutos,

e ao final desse período foi retirada, com auxílio de um pincel, e pesada a quantidade de amostra que ficou retida em cada peneira.



**Figura 7- Ensaio de Granulometria**

#### ***4.1.6 Análise de Permeabilidade***

O objetivo da determinação da permeabilidade do resíduo é comparar o potencial de percolação das amostras perante sua estrutura.

É o índice que expressa a capacidade que uma mistura padrão compactada e curada de acordo com o processo específico de uso, possui em permitir passagem de um fluxo de ar através de um corpo de prova cilíndrico padronizado, sob condições padronizadas de tempo e pressão.

Para a execução do ensaio houve necessidade de preparação dos corpos de prova. Visando obter um corpo de prova padronizado foi pesada uma quantidade de areia entre 150 e 170 g, transferindo-se para o cilindro por meio do funil. Ajustou o cilindro ao martelete, baixou o embolo cuidadosamente para evitar uma pré compactação, girando o cilindro meio volta para nivelar a areia. Deram-se três percussões erguendo o êmbolo lentamente para evitar que o peso não ultrapasse a altura indicada pelo excêntrico.

O corpo de prova foi adaptado no dispositivo de ensaios a seco. Após a adaptação do conjunto no permeâmetro acionou-se o mecanismo. Efetuou a leitura no manômetro indicador, imediatamente após a sua estabilidade. O resultado é expresso em  $\text{cm}^4 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  ou em AFS e corresponde à média aritmética dos valores obtidos.



**Figura 8 – Permeâmetro**

#### ***4.1.7 Grau de Inchamento***

O ensaio de grau de inchamento é um ensaio realizado exclusivamente para a análise da bentonita. Caracteriza o aumento de volume por meio da introdução de moléculas de água entre as camadas estruturais de bentonita e o conseqüente afastamento destas.

O ensaio inicia-se pesando uma quantidade de bentonita no estado original de recebimento, correspondente a 2,0 g de bentonita seca.

Adicionou-se aos poucos a menor quantidade possível de bentonita por meio de uma espátula, esperando que esta porção tenha absorvido toda a água e tenha se depositado no fundo de uma proveta graduada de 100mL previamente preenchida com água deionizada.

O resultado do inchamento é lido na graduação da proveta, em mililitros, após 24 horas do término da adição.

#### ***4.1.8 Perda ao Fogo***

Prescreve o método de determinação do teor de materiais orgânicos e da água de cristalização contidos nos constituintes dos materiais para fundição. Consiste na queima, decomposição e eliminação de materiais orgânicos presentes nos sólidos dos materiais para fundição, bem como carbonatos, água de cristalização e gases a temperatura entre 900/980 °C.

Para o ensaio pesou-se cerca de  $1 \pm 0,020$  g da amostra e fora transferida para o cadinho, previamente tarado. Colocou-se o conjunto na mufla, entre  $950 \pm 10$  °C, e calcinou-se até constância de massa, aproximadamente 3 horas. Após resfriamento em dessecador. Pesou-se a amostra.

O resultado é expresso em porcentagem com precisão de 0,01 e é obtido através da seguinte fórmula:

$$PF = \frac{(MA - MR)}{MA} \times 100$$

Onde:

PF= perda ao fogo, em %;

MA= massa da amostra, em g;

MR = massa do resíduo, em g.

#### **4.1.9 Umidade**

O método de determinação teor de umidade em materiais para fundição é efetuado através da eliminação da água por aquecimento controlado e verificação da diferença de massa. Representa o teor de água contido no material, elimináveis por vaporização.

Para o ensaio pesou-se entre 10 a 50 g da amostra conforme a densidade do material, num recipiente previamente tarado.

Inseriu-se a amostra no OHAUS que automaticamente, dependendo do material, já tem registrado em sua memória a duração do ensaio e a temperatura do ensaio.

O resultado é expresso em %U = Teor e Umidade



**Figura 9 – OHAUS – Determinação de Umidade**

#### **4.1.10 Voláteis**

O método de determinação de voláteis determina a quantidade de voláteis desprendidos durante o aquecimento em forno mufla na ausência de oxigênio, sob rígido controle da massa da amostra, tempo e temperatura. Este ensaio é baseado no princípio da eliminação da água por aquecimento controlado e verificação da diferença de massa.

Para o ensaio foi necessário calcinar e tarar os cadinhos com tampa. Pesar  $1 \pm 0,020$ g de amostra, em duplicata e transferi-las para os cadinhos. Foram colocados os



cadinhos tampados contendo as amostras na mufla individualmente a uma temperatura de  $950 \pm 10^\circ\text{C}$ , durante 7 minutos. Retirar os cadinhos da mufla, mantendo-os sobre a placa de amianto até perder a sua coloração rubra, colocando-os em seguida no dessecador. Tão logo a temperatura dos cadinhos próxima à temperatura ambiente, efetuado as pesagens.

$$\%MV = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100$$

Onde:

MV= teor de matérias voláteis, em %;

M1= massa da amostra, em g;

M2= massa do resíduo após o aquecimento, em g.

## 5 RESULTADOS

### *5.1.1 Fluxograma do Processo Produtivo de Peças Fundidas na empresa Schulz S.A.*

Conforme levantamento bibliográfico realizado os processos de fundição em todo o mundo utilizam, em sua grande maioria, como areia-base a areia de quartzo ou sílica ( $\text{SiO}_2$ ), como matéria-prima fundamental para a confecção de moldes e machos, para a obtenção de peças fundidas. Esta areia é encontrada com relativa abundância na natureza.

Na empresa em questão, para a confecção dos machos são usados dois sistemas shell e cold-box. Para os dois processos são utilizadas proporções diferenciadas das matérias-primas. No processo a shell, é utilizada para cada 100% de areia base, uma proporção de 2,8%, 4% ou 5% da mistura, catalisador-resina, conforme exigência da peça, sendo essa mistura catalisador-resina, para cada 100% de resina fenol são adicionados 9,5% de catalisador. No processo a cold-box, é utilizado para cada 100% de areia base, sendo essa podendo ser uma proporção com areia de macharia regenerada, 0,5% resina parte I, e 0,55% resina parte II, e 1mL/kg de catalisador. Resina parte I: resina fenol, tipo resol. Resina parte II: metileno difenil isocianato Catalisador: trietilamina

Recuperação de Areia - A areia que sobra da etapa de confecção do macho segue para uma peneira que tritura os grãos. Um propulsor joga a areia à outra peneira que separa os grãos novamente, resfria-se, retira-se o pó residual por exaustão e a areia retorna recuperada.

Para a moldagem é utilizada como matérias-primas: bentonita sódica, bentonita ativada, pó de carvão. O sistema de moldagem é do tipo regenerativo, o material chega ao fim do ciclo e retorna ao início do processo. Por motivos de perda de volume e da descaracterização dos componentes da mistura, é feito a reposição com a areia de renovação que é constituída com 0,45% de pó de carvão, 0,33% bentonita ativada, 0,33% bentonita sódica, 1,25% de areia recuperada, 1,25% de areia nova, com a frequência que é acionada automaticamente pelo silo misturado de areia.

Na fusão, é utilizado ferro-gusa (Si 0,5 - 1,0% ; P baixo), sucata de aço, liga nodularizante (n.º4 , MG9-C3), ferro-silício 75%, carburante, ferro-manganês, cobre, estanho.

Após o resfriamento a retirada das peças fundidas exige a quebra e desagregação dos moldes e machos na operação de desmoldagem, a areia que a constituía é recolhida para reutilização em um novo ciclo de produção ou enviada para tratamento e/ou disposição final em aterro controlado.

Para reutilizar esta areia é necessário:

- determinar a origem da areia usada;
- selecionar e separar os tipos compatíveis entre si;



**Figura 10- (1) Areia de Macharia (2) Machos (3) Areia de Moldagem (4) Moldes (5) Molde com machos (6) Modelo (7) Forno (8) Panela**



**Figura 11 - (1) Vazamento (2) Resfriamento (3) Resfriamento (4) Esteira Vibratória de Desmoldagem (5) Quebra de Canal.**

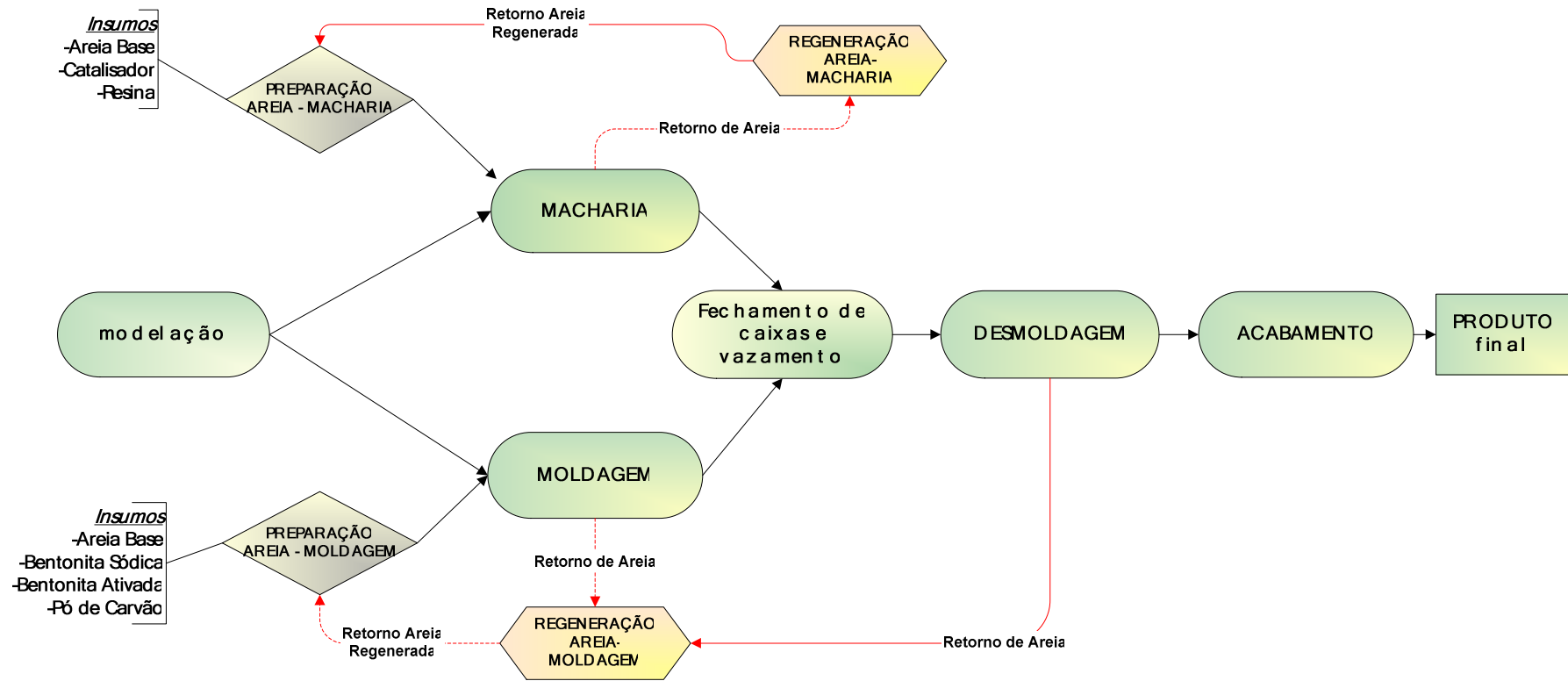


Figura 12- Processo de Fundição – com entrada de insumos.

### 5.1.2 Levantamento dos Resíduos Gerados na Produção

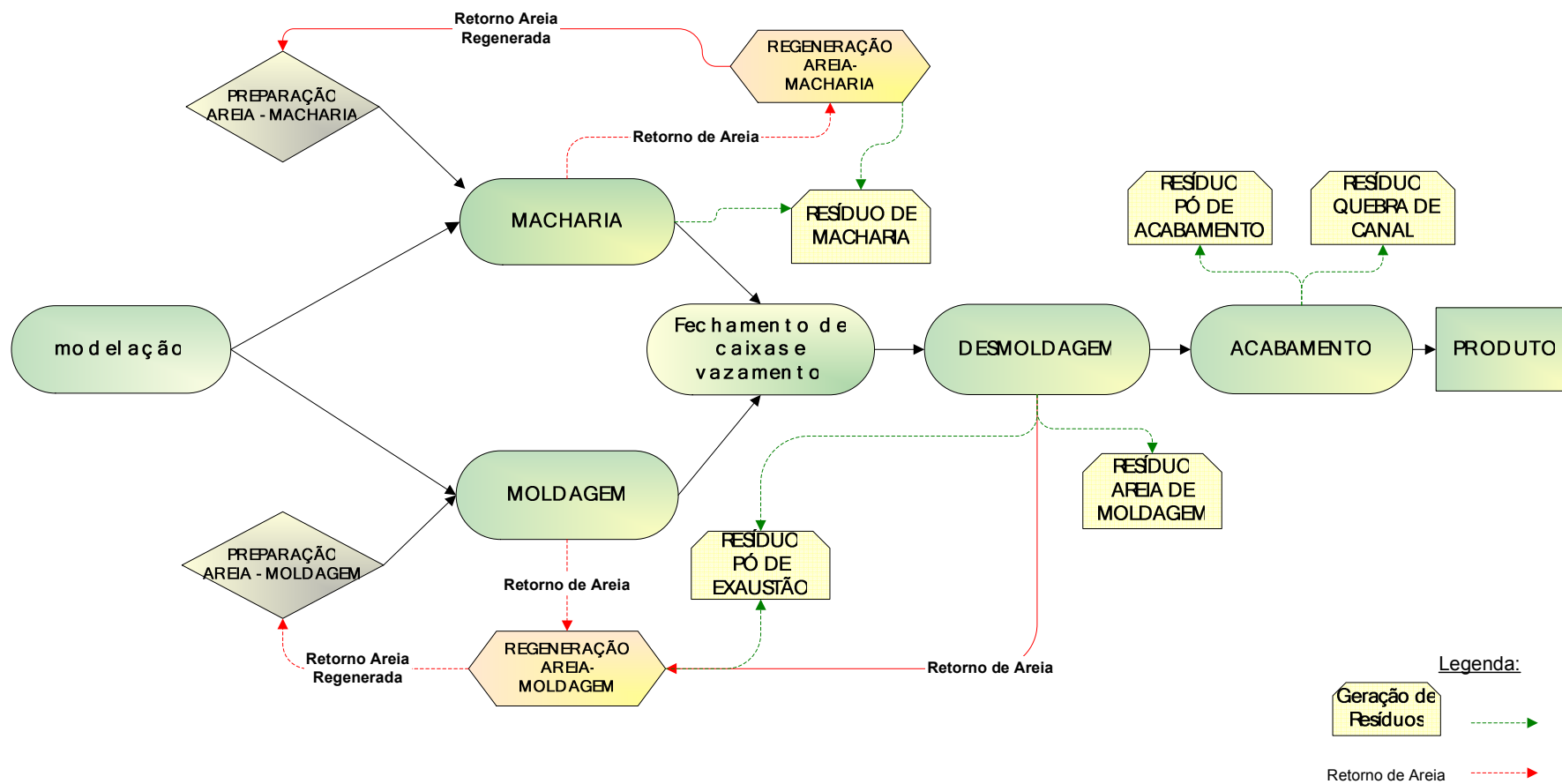


Figura 13 – Fluxograma do processo de fundição com visualização da geração de resíduos.

O fluxograma acima, indicam a geração de 5 tipos diferentes de resíduos provenientes da produção. Conforme os autores citados na revisão bibliográfica, a empresa Schulz S.A. gera os resíduos de areia de macharia proveniente da quebra dos torrões dos machos, pó de exaustão do processo de moldagem, desmoldagem e regeneração e de quebra de canal. Sendo que o resíduo de areia de moldagem é gerado em maior proporção com 60% de contribuição perante todos os resíduos do processo.

**Tabela 5- Quantidade de Resíduos Gerados em 2006 na empresa Schulz S.A.**

<b>RESÍDUOS GERADOS</b>	<b>QUANTIDADE (TONELADAS)</b>	<b>CLASSE (Segundo NBR ABNT 10.004)</b>
Areia Macharia	1.051.010	II
Pó de Exaustão	1.578.710	II
Pó de Acabamento	663.040	II
Areia de Moldagem	14.258.440	II
Areia de Quebra de Canal	5.567.290	II
<b>TOTAL</b>	<b>23.118.490</b>	

A empresa em questão ano de 2006, produziu e encaminhou para aterro controlado as quantias acima dos resíduos produzidos durante o processo. Todos os resíduos das areias são calcificados como classe II e encaminhados a aterro controlado.

### **5.1.3 Amostragem**

A amostragem foi realizada com base na NBR 10.007 – Amostragem de Resíduos, para serem executados os ensaios posteriores. Foram retiradas amostras: 4 matérias primas, 5 pontos diretamente do processo e 4 resíduos.

Matérias-primas:

- (A1) Areia Base;
- (A2) Bentonita Sódica;
- (A3) Bentonita Ativada;
- (A4) Pó de Carvão;

Pontos do processo:

- (A5) Areia de Mistura de Macharia;

- (A6) Areia de Regeneração de Macharia;
- (A7) Areia do Sistema de Moldagem;
- (A8) Areia de Regeneração de Moldagem;
- (A9) Areia de Desmoldagem.

Resíduos:

- (A10) Areia de Macharia;
- (A11) Areia de Moldagem;
- (A12) Quebra de Canal;
- (A13) Pó de Exaustão



**Figura 14- (1) Areia Base. (2) Bentonita Sódica e Bentonita Ativada**



**Figura 15- (1) Areia de Macharia. (2) Areia de Moldagem**





**Figura 16- (1) Areia de Quebra de Canal. (2) Areia de Desmoldagem**



**Figura 17- (1) Resíduo de Areia de Macharia. (2) Exaustores. (3) Resíduo de Pó de Exaustão.**

As 13 amostras foram coletadas no dia 9 de outubro, embaladas em sacos de poliestireno e identificadas com adesivos. Foram separadas na quantidade aproximada de 2 kg para ser encaminhada ao Laboratório Acquaplant para análise do lixiviado, lixiviado neutro e massa bruta, enquanto que cerca de 0,5 kg foram encaminhados ao laboratório interno da própria empresa, para os demais ensaios.

As amostras (A1), (A2), (A3), (A2), matérias-primas, foram coletadas diretamente no início do processo, antes da introdução das matérias primas nos silos de mistura de areia.

A amostra (A5), areia de mistura da macharia foi coletada diretamente do silo de mistura da areia, no próprio sistema. Assim como a areia de regeneração de macharia-(A6), foi coletada no sistema, no local onde a esteira leva a areia, já selecionada, a ser regenerada.

A amostra (A7), areia de moldagem foi coletada da própria esteira que armazena a areia a ser efetuada o molde. Já amostra (A8), areia de regeneração da moldagem foi coletada na saída dos regeneradores.

A areia de desmoldagem é a areia retirada após o resfriamento do molde, nessa etapa ocorre a desagregação da peça e molde. Enquanto a amostra do resíduo de quebra de canal coletada a areia fica aderida à peça em sua reentrância.

Os resíduos de moldagem, macharia, e pó de exaustão (A10), (A11), (A13) foram coletados diretamente dos contêineres que seguem para aterro. Os pós de exaustão provem do descarte do sistema de exaustão de mangas.



**Figura 18 – Amostras coletadas**

Apesar das matérias-primas e areias do processo não serem resíduos, para caráter de caracterização e comparação de dados, foram amostradas e ensaiadas seguindo-se os mesmos procedimentos aplicados aos resíduos.

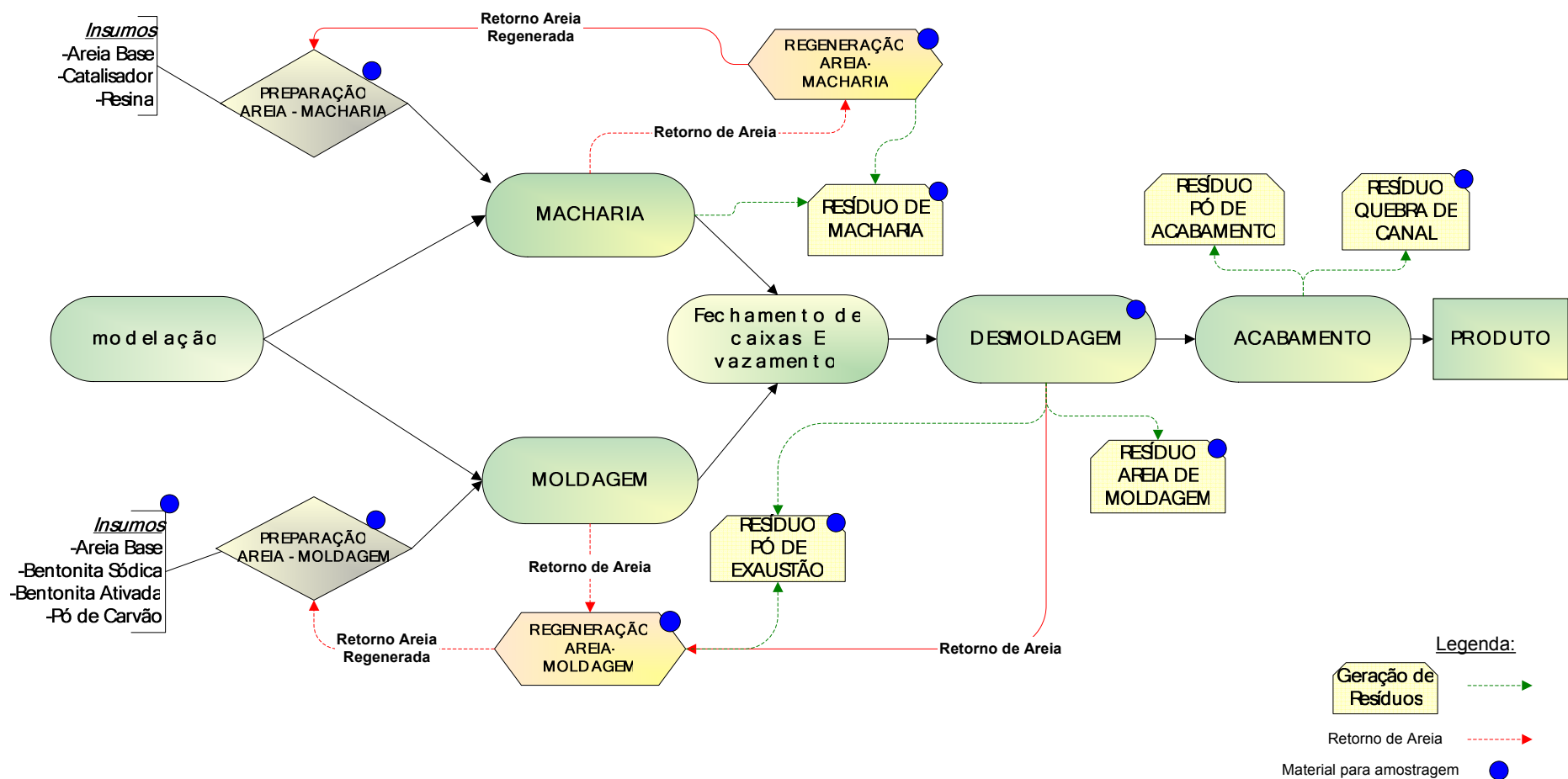


Figura 19 – Fluxograma do processo com os pontos definidos para amostragem

### 5.1.1 Resultado Massa Bruta

Tabela 6 - Resultados Ensaio de Massa Bruta

Parâmetros	Arsênio	Berílio	Chumbo	Cianeto	Cromo VI	Fenóis	Ferro Total	Manganês	Mercurio	Óleos e graxas	Selênio	Vanádio
Amostras	(mg As/kg)	(mg Ba/kg)	(mg Pb/kg)	(mg CN/kg)	(mg Cr/kg)	(mg fenol/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg Hg/kg)	(mg/kg g)	(mg Se/kg)	(mg Va/kg)
Areia Base	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	52,68	0,92	0,054	33,33	<LQ	4,33
Bentonita Sódica Ativada	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,364	556,9	168,57	0,056	66,66	<LQ	113,1
Bentonita Sódica Neutra	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	11,03	866,91	114,66	0,015	366,66	<LQ	19,9
Pó de Carvão	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,062	629,13	12,01	0,015	100	<LQ	84,8
Areia de Moldagem	<LQ	<LQ	<LQ	0,31	<LQ	10,25	2503,5	18,08	0,052	33,33	<LQ	15,4
Areia Regeneração Moldagem	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,23	278,42	7,91	0,037	33,33	<LQ	2,55
Areia de Macharia	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	59,72	20,6	<LQ	0,01	<LQ	<LQ	2,66
Areia Regeneração Macharia	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	140,61	<LQ	0,15	33,33	<LQ	2,53
Resíduo de Areia de Macharia	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	11,58	179,59	2,12	0,023	66,66	<LQ	4,73
Areia Desmoldagem	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3,723	2037,8	28,28	0,077	66,66	<LQ	12,3
Resíduo de Quebra de Canal	0,67	<LQ	<LQ	0,49	<LQ	0,863	2143,8	11,86	0,039	<LQ	<LQ	15
Resíduo de Areia de Moldagem	0,75	<LQ	<LQ	0,23	<LQ	2,681	1685	13,35	0,032	66,66	<LQ	13,9
Resíduo de Pó de Exaustão	<LQ	<LQ	<LQ	0,36	<LQ	9,267	1,1 x 10 <sup>-5</sup>	1011,5	0,037	66,66	<LQ	17,4
Limite de Qualificação	0,005	0,150	0,300	0,130	5,300	0,820	-----	0,150	-----	0,100	0,005	-----
Valor Máximo Permitido	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

- LQ – Limite de Qualificação

Os resultados do ensaio de massa bruta, apontados na tabela acima, forneceram informações sobre a composição química. Levando em consideração que as amostras foram coletadas de um sistema na qual entram as matérias-primas, segue-se com as misturas das areias, e termina-se com a geração dos resíduos, sabendo-se que o processo é do tipo regenerativo, parte da areia de desmoldagem volta ao processo como areia de moldagem e parte é descartada como resíduo. Adicionalmente as amostras coletadas foram pontuais, ou seja, diretamente dos locais da geração, desta forma pode ter ocorrido diferenciação das concentrações e erro na leitura dos ensaios.

Os resultados dos ensaios sobre a massa bruta feita sobre amostra seca apresentam variações dos parâmetros conforme transcorre o processo no sistema. Alguns parâmetros como é o caso do Vanádio, Manganês e Mercúrio apresentam-se nas matérias primas não perdendo essa propriedade durante o processo. Sua presença é continuada durante as misturas de areias e encontrada também nos resíduos, sem grandes variações, salvo pelo Manganês no pó de exaustão que apresentou um valor elevado quando comparado com o resultado das outras amostras.

Não foi identificada a presença de Berílio, Chumbo, CromoVI ou Selênio nas amostras.

A presença de Cianeto nos resíduos de quebra de canal, resíduos de areia de moldagem e pó de exaustão justificam-se ao fato do uso de isocianato como agente da resina de areia de macharia. Não se identificou a presença de Cianeto nas areias de macharia ou regeneração da macharia pois pode ter ocorrido a cinética do elemento Isocianato durante o processo, sendo que ao seu final onde houve a presença do Cianeto nos resíduos. Como os valores de Cianeto são baixos pode ter ocorrido erro de leitura durante a análise, pois, analogamente, a amostra de resíduo de areia de macharia deveria apresentar também tal parâmetro, entretanto esta fato não foi observado.

Os Fenóis são presentes pelo uso de resina fenólica no processamento de machos como justifica o resultado desse parâmetro na areia de macharia. Durante o processo a fusão efetuada em altas temperaturas faz como que o fenol se volatilize facilmente. Desta forma, nos resíduos, por serem o fim do processo, a presença do Fenol é reduzida. Pode-se observar também que na areia de desmoldagem o valor é maior do que o encontrado no resíduo de areia de quebra de canal. Este último deveria apresentar resultado maior que o primeiro por ter uma presença maior de areia de macharia, entretanto, o contato direto com o metal fundido em uma temperatura mais elevada pode ter volatilizado o Fenol residual do processo.

O Ferro Total está presente tanto nas matérias primas, quanto nas areias de mistura e nos resíduos. Pode-se verificar uma diferenciação entre as areias que fazem parte do processo de moldagem e seus resíduos. A presença do ferro vem do próprio processo produtivo de fundição de ferro, o ferro fundido chega a volatilizar algumas partículas que poderiam condensar-se e impregnar a areia.

### 5.1.2 Resultado Lixiviado

Tabela 7 – Resultado Ensaio de Lixiviado

Parâmetros	Arsênio	Bário	Cádmio	Chumbo	Cromo Total	Fluoretos	Manganês	Mercúrio	Prata	Selênio	Vanádio
Amostras	(mg/l As)	(mg/l Ba)	(mg/l Cd)	(mg/l Pb)	(mg/l Cr)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l Hg)	(mg/l Ag)	(mg/l Se)	(mg/l)
Areia Base	$3,900 \times 10^{-3}$	2,41	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Bentonita Sódica Ativada	$5,700 \times 10^{-3}$	2,67	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,04	< LQ	< LQ	$1,560 \times 10^{-3}$	< LQ
Bentonita Sódica Neutra	0,016	1,56	< LQ	< LQ	0,111	< LQ	1,063	< LQ	< LQ	$1,400 \times 10^{-3}$	< LQ
Pó de Carvão	$3,300 \times 10^{-3}$	0,84	< LQ	< LQ	< LQ	0,27	< LQ	< LQ	0,033	$1,800 \times 10^{-4}$	< LQ
Areia de Moldagem	0,045	2,7	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,018	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Areia Regeneração Moldagem	0,03	2,45	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,119	$6,000 \times 10^{-4}$	< LQ
Areia de Macharia	$4,900 \times 10^{-3}$	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,13	$3,000 \times 10^{-4}$	< LQ
Areia Regeneração Macharia	$3,800 \times 10^{-3}$	0,58	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Resíduo de Areia de Macharia	0,011	0,25	< LQ	< LQ	0,229	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Areia Desmoldagem	0,029	1,28	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,029	< LQ	0,059	< LQ	< LQ
Resíduo de Quebra de Canal	0,036	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,207	< LQ	< LQ
Resíduo de Areia de Moldagem	0,043	0,38	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,078	< LQ	< LQ	$6,700 \times 10^{-4}$	< LQ
Resíduo de Pó de Exaustão	$6,900 \times 10^{-3}$	2,61	< LQ	< LQ	< LQ	1,24	11,249	$9,500 \times 10^{-3}$	< LQ	$4,200 \times 10^{-3}$	< LQ
Limite de Qualificação	-----	0,20	0,00	0,01	0,03	0,10	0,01	$1,000 \times 10^{-4}$	0,02	$1,000 \times 10^{-4}$	0,00
Valor Máximo Permitido	0,50	10,00	0,10	0,50	0,50	-----	-----	0,02	-----	0,10	0,10

- Valor Máximo Permitido - Segundo ABNT NBR 10.004/2004
- LQ – Limite de Qualificação

O ensaio de lixiviação procedeu conforme a norma ABNT NBR 10.005. Os limites máximos permitidos observados foram utilizados são segundo ABNT NBR 10.004.

Na análise do lixiviado com extração em meio ácido identificou-se que não houve a constatação da presença de Cádmio, Chumbo ou Vanádio nas amostras.

A identificação de Arsênio e Bário presente nas matérias primas mostrou que não houve perda ou acréscimo desses elementos ao transcorrer o processo de fundição.

A presença do Cromo Total na amostra de resíduos de macharia foi atribuída a um provável erro que tenha ocorrido durante o ensaio, pois não houve a identificação desse elemento nas outras amostras, exceto na bentonita sódica neutra que não participa do processo de macharia. Da mesma forma também foi atribuído erro no resultado do parâmetro Mercúrio, pois não há justificativa da presença desse elemento nas areias bem como nos resíduos.

O Fluoreto, elemento presente na água, foi encontrado na amostra de resíduo de pó de carvão pela provável incorporação da água usada no processo.

Os elementos Manganês e Selênio são metais presentes nas ligas de sucata de ferro, mesmo sendo identificados nas matérias primas, a justificativa do aumento apresentado nos resíduos é característico devido à contaminação ocorrida pelas ligas no processo de fusão. Algumas partículas desses elementos presente nas ligas podem se desprender, volatilizando e se condensando, contaminando as areias e conseqüentemente os resíduos.

As bentonitas, areia base e o pó de carvão, caso fossem considerados resíduos sólidos, seriam classificados como não perigosos-não inertes (IIA) pela norma NBR 10.004.

### 5.1.3 Resultado Lixiviado Neutro

Tabela 8- Resultados Ensaio de Lixiviado Neutro

Parâmetros	Alumínio	Arsênio	Bário	Cádmio	Chumbo	Cianetos	Cloreto	Cobre	Cromo	Dureza	Fenóis Totais	Ferro Total	Fluoretos
Amostras	(mg/l Al)	(mg/l As)	(mg/l Ba)	(mg/l Cd)	(mg/l Pb)	(mg/l CN)	(mg/l Cl)	(mg/l Cu)	(mg/l Cr)	(mg/l CaCO <sub>3</sub> )	(mg/l C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	(mg/l Fe)	(mg/l)
Areia Base	3,26	0,029	1,59	<LQ	<LQ	<LQ	3,54	<LQ	<LQ	18	<LQ	0,988	<LQ
Bentonita Sódica Ativada	2,51	0,41	3,72	<LQ	<LQ	<LQ	233,97	<LQ	<LQ	280	0,038	0,427	0,28
Bentonita Sódica Neutra	9,73	4,600 x 10 <sup>-3</sup>	1,86	<LQ	<LQ	<LQ	219,79	<LQ	<LQ	310	<LQ	16,817	0,86
Pó de Carvão	<LQ	0,03	1,82	<LQ	<LQ	<LQ	2,12	<LQ	<LQ	54	<LQ	0,674	<LQ
Areia de Moldagem	3,53	0,016	3,48	<LQ	<LQ	<LQ	113,44	<LQ	<LQ	660	0,126	10,862	<LQ
Areia Regeneração Moldagem	2,58	0,016	3,24	<LQ	<LQ	<LQ	19,85	<LQ	<LQ	152	<LQ	1,717	<LQ
Areia de Macharia	<LQ	<LQ	3,31	<LQ	<LQ	<LQ	1,41	<LQ	<LQ	2	1,19	0,5	<LQ
Areia Regeneração Macharia	4,47	0,019	1,67	<LQ	<LQ	<LQ	10,63	<LQ	<LQ	80	<LQ	0,403	0,49
Resíduo de Areia de Macharia	1,55	0,018	2,64	<LQ	<LQ	<LQ	46,08	<LQ	<LQ	170	<LQ	5,388	<LQ
Areia Desmoldagem	0,67	0,033	0,85	<LQ	<LQ	<LQ	85,08	<LQ	<LQ	140	<LQ	3,421	<LQ
Resíduo de Quebra de Canal	<LQ	0,064	1,28	<LQ	<LQ	0,012	56,72	<LQ	<LQ	190	<LQ	1,503	0,61
Resíduo de Areia de Moldagem	9,52	0,01	3	<LQ	<LQ	<LQ	141,8	<LQ	<LQ	940	0,105	10,63	<LQ
Resíduo de Pó de Exaustão	<LQ	5,800 x 10 <sup>-3</sup>	0,9	<LQ	<LQ	<LQ	2,83	<LQ	<LQ	26	<LQ	0,785	<LQ
Limite de Qualificação	0,10	1,000	1,000 x 10 <sup>-4</sup>	0,001	0,01	0,005	-----	0,005	0,030	-----	0,025	-----	0,10
Valor Máximo Permitido	-----	-----	-----	-----	-----	2,00	2500,00	2,5	-----	-----	3,00	15,00	14,00

PI = Presença de Interferentes

Valor Máximo Permitido- Segundo Decisão de Diretoria N°. 152/2007/C/E,Cetesb

LQ – Limite de Qualificação



Parâmetros	Manganês	Mercurio	Níquel	Nitrato	Prata	Selênio	Sódio	Sólidos Totais Dissolvidos	Sulfato	Sulfito	Tenso ativo (sulfactante ,detergente)	Zinco
Amostras	(mg/l)	(mg/l Hg)	(mg/l Ni)	(mg/l NO <sub>3</sub> )	(mg/l Ag)	(mg/l Se)	(mg/l Na)	(mg/l)	(mg/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	(mg/l SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	(mg/l LAS)	(mg/l Zn)
Areia Base	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	1,22	9,6	< LQ	< LQ	0,22	< LQ
Bentonita Sódica Ativada	< LQ	< LQ	< LQ	9	< LQ	4,500 x 10 <sup>-3</sup>	196,3	422	33	2,64	0,3	0,033
Bentonita Sódica Neutra	< LQ	< LQ	< LQ	12	< LQ	5,100 x 10 <sup>-3</sup>	600,8	1,37	717	1,68	0,06	0,029
Pó de Carvão	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	2,600 x 10 <sup>-3</sup>	3,74	23,6	< LQ	< LQ	0,11	0,016
Areia de Moldagem	0,113	< LQ	0,028	12	< LQ	< LQ	67,7	119	< LQ	PI	0,25	0,185
Areia Regeneração Moldagem	0,206	< LQ	< LQ	5	< LQ	< LQ	5,92	17,3	33	0,88	0,53	< LQ
Areia de Macharia	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,49	8,88	< LQ	< LQ	0,22	< LQ
Areia Regeneração Macharia	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	5,44	32,5	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Resíduo de Areia de Macharia	< LQ	< LQ	< LQ	6	< LQ	< LQ	10	34,6	26	< LQ	0,32	0,02
Areia Desmoldagem	< LQ	< LQ	< LQ	8	< LQ	2,000 x 10 <sup>-3</sup>	39,8	86,2	140	PI	0,11	0,085
Resíduo de Quebra de Canal	< LQ	< LQ	< LQ	6	< LQ	< LQ	40,7	106	59	2,64	0,2	0,027
Resíduo de Areia de Moldagem	< LQ	8,300 x 10 <sup>-3</sup>	0,022	10	< LQ	6,400 x 10 <sup>-3</sup>	64,4	125	57	PI	0,06	0,125
Resíduo de Pó de Exaustão	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	6,95	26,5	< LQ	< LQ	0,23	< LQ
Limite de Qualificação	0,005	1,000 x 10 <sup>-4</sup>	0,003	4,00	0,02	1,000 x 10 <sup>-4</sup>	.....	.....	25,00	0,800	.....	0,010
Valor Máximo Permitido	0,50	.....	2,00	.....	.....	.....	.....	.....	2500	5,0	.....	25,0

PI = Presença de Interferentes

Valor Máximo Permitido- Segundo Decisão de Diretoria N°. 152/2007/C/E, Cetesb

LQ – Limite de Qualificação

O ensaio de lixiviado neutro foi efetuado com base no ensaio de lixiviação normal modificando a solução de extração de meio ácido pela água deionizada. O valor máximo permitido utilizado foi obtido segundo Decisão de Diretoria nº 152/2007/C/E, CETESB.

Os elementos Arsênio, Bário, Nitrato e Tensoativos foram identificados nas matérias primas sem a perda ou acréscimo ao transcorrer do processo de fundição. Essa presença é continuada nas misturas das areias e nos resíduos sem grandes variações.

O Alumínio, Manganês, Níquel, Selênio e Zinco seguem mesma a justificativa dada nos resultados do ensaio de lixiviado no item 5.1.2. Esses elementos são metais presentes nas ligas de sucata de ferro, mesmo sendo identificados nas matérias primas, a justificativa do aumento apresentado nos resíduos é característico devido à contaminação ocorrida pelas ligas no processo de fusão. Algumas partículas desses elementos presente nas ligas podem se desprender, volatilizando e se condensando, contaminando as areias e conseqüentemente os resíduos.

Os elementos Sódio, Sulfato, Sulfito, Cloreto e Dureza (carbonato de cálcio) presentes nas amostras devem-se ao fato da bentonita, parte da matéria-prima, ser fonte desses elementos.

Outros elementos como o Fluoreto e Carbonato de Cálcio justificam-se suas presenças pela contaminação da água utilizada no processo. Enquanto que a presença de Prata e Mercúrio provavelmente pode ter ocorrido devido a erro de leitura no ensaio.

O Ferro Total está presente tanto nas matérias primas, quanto nas areias de mistura e nos resíduos. A presença do ferro vem do próprio processo produtivo de fundição, o ferro fundido chega a volatilizar algumas partículas que poderiam se condensar e impregnar a areia.

Com relação aos resíduos de desmoldagem e quebra de canal ambos fazem parte da mesma da caixa de moldagem, sendo que o primeiro encontra-se na parte mais externa e é desmoldado facilmente por meio das esteiras agitadoras enquanto que o resíduo de quebra de canal fica aderido à peça e deveria conter maior quantidade de Fenóis por conter maior quantidade de areia de macharia, pois os machos são retirados nessa etapa. Contudo, observando os valores dos elementos como Ferro Total, Alumínio e Fenóis estes são diminuídos ou inexistentes comparando-se com o resíduo de desmoldagem. Essa diferença pode ser justificada pelo fato de que o resíduo de quebra de canal encontra-se mais próximo das altas temperaturas decorrentes na fusão fazendo com que a areia volatilize as propriedades existentes nela. Enquanto que no resíduo de desmoldagem a temperatura não chega ser alta o suficiente a ponto de ocorrer a perda das propriedades da areia.

### 5.1.4 Resultado Distribuição Granulométrica

Tabela 9- Resultado Análise Granulométrica

Abertura Malha	Bentonita Sódica Neutra		Bentonita Sódica Ativada		Pó de Carvão		Areia Base		Areia Moldagem		Areia de Regeneração Moldagem		Resíduo Moldagem		Resíduo Quebra de canal		Areia de Desmoldagem		Areia de Regeneração Macharia		Resíduo Macharia	
	G	%	G	%	G	%	G	%	G	%	G	%	G	%	G	%	G	%	G	%	G	%
1,700	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,850	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	1,18	0,02	0,04
0,600	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,10	0,25	0,50	1,06	2,12	2,00	4,00	0,85	1,70	1,59	3,18	0,69	1,38	4,10	8,20	1,44	2,88
0,425	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,48	1,29	2,58	3,80	7,60	5,73	11,46	3,71	7,42	5,17	10,34	4,00	8,00	11,64	23,28	4,18	8,36
0,300	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	2,16	5,18	10,36	6,53	13,06	8,63	17,26	7,50	15,00	10,71	21,42	10,36	20,72	12,61	25,22	8,02	16,04
0,212	8,73	17,46	0,00	0,00	4,98	9,96	18,58	37,16	14,48	28,96	16,77	33,54	16,94	33,88	20,02	40,04	23,77	47,54	13,54	27,08	19,52	39,04
0,150	8,17	16,34	0,00	0,00	8,25	16,50	15,81	31,62	10,45	20,90	10,54	21,08	10,21	20,42	8,97	17,94	8,95	17,90	4,80	9,60	11,37	22,74
0,106	13,38	26,76	2,09	4,18	12,78	25,56	8,58	17,16	6,84	13,68	5,37	10,74	4,72	9,44	3,13	6,26	2,05	4,10	2,05	4,10	5,12	10,24
0,075	7,35	14,70	7,07	14,14	13,32	26,64	0,22	0,44	0,58	1,16	0,52	1,04	0,26	0,52	0,26	0,52	0,10	0,20	0,15	0,30	0,28	0,56
0,053	8,87	17,74	14,26	28,52	5,98	11,96	0,00	0,00	0,17	0,34	0,00	0,00	0,09	0,18	0,08	0,16	0,00	0,00	0,05	0,10	0,04	0,08
Prato	2,87	5,74	26,08	52,16	1,35	2,70	0,00	0,00	0,21	0,42	0,00	0,00	0,16	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
Soma	49,37	98,74	49,50	99,00	48,03	96,06	49,91	99,82	44,12	88,24	49,89	99,78	44,44	88,88	49,93	99,86	49,92	99,84	49,53	99,06	50,00	100,00

Nos ensaios de granulometria percebe-se que não há uma grande variação de tamanho de grãos entre as areias e os resíduos, todos se encontram entre as peneiras 0,15 mm e 0,30 mm.

### 5.1.5 Resultado Análise de Umidade, Grau de Inchamento, Perda ao Fogo, Voláteis, Permeabilidade, pH

Tabela 10 – Resultados da Análise de Umidade, Grau de Inchamento, Perda ao Fogo, Voláteis, Permeabilidade, pH

Amostra	Umidade (%)	Grau Inchamento (ml)	P. Fogo (%)	Voláteis (%)	Permeabilidade (AFS)	pH
Bentonita Sódica Neutra	11,79	45	6,58	6,58	.....	6,2
Bentonita Sódica Ativada	13,18	39	8,13	7,80	.....	9,3
Pó de Carvão	1,82	.....	85,73	30,44	.....	6,5
Areia Base	0,04	.....	0,00	0,00	111	6,06
Areia Macharia	0,10	.....	1,29	1,26	.....	6,21
Areia Moldagem	0,02	.....	0,07	0,00	110	7,79
Areia Regeneração Macharia	2,9	.....	7,94	3,5	111	8,40
Areia Regeneração Moldagem	0,18	.....	1,07	0,94	99	7,90
Resíduo Macharia	0,27	.....	2,22	1,66	135	8,90
Resíduo Moldagem	1,44	.....	5,65	2,68	115	8,8
Resíduo Quebra de Canal	0,36	.....	3,78	1,57	142	7,3
Areia Desmoldagem	0,78	.....	4,92	2,73	140,00	8,7
Pó de Exaustão	0,27	.....	13,06	0,11	.....	9,1

Como de esperado nenhuma amostra apresentou caráter ácido ou básico, todos se encontraram dentro de pH 6 a 9 apresentando um caráter não corrosivo.

O grau de inchamento é maior na bentonita sódica neutra , resultado também esperado por esta ser de melhor qualidade que a ativada.

Nos ensaios de voláteis e perda ao fogo há o indício também esperado de o pó de carvão ser o mais volátil.

O ensaio de permeabilidade caracterizou os resíduos por serem mais permeáveis sendo coerente com o ensaio granulométrico. Há uma similaridade entre o resíduo de areia de moldagem e a própria areia de moldagem.

## 6 CONCLUSÃO

O estudo realizado na empresa Schulz S.A. faz parte de um projeto de Doutorado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

Inicialmente foi efetuado um fluxograma do processo produtivo da empresa, identificando as entradas dos insumos e saídas de resíduos. Após a identificação dos pontos de entrada e saídas no fluxograma partiu-se para a análise e escolha dos pontos de amostragem. Os pontos escolhidos foram treze, as quatro matérias primas, quatro areias do processo e cinco resíduos. Estas amostras foram selecionadas por esperar-se que haveria uma mudança significativa nos parâmetros antes e depois do processo de fusão.

O objetivo principal de fazer uma análise comparativa e identificar onde as areias adquirem características de um passivo ambiental, demonstrou que os resultados obtidos das areias do processo assim como em seus resíduos não apresentam variações significativas quando comparadas aos resultados das matérias primas utilizadas, salvo por alguns parâmetros. Alguns parâmetros apresentaram variações provavelmente por se caracterizarem pelo fim do processo e terem recebido influência das ligas utilizadas durante a fusão. Uma justificativa poderia ser baseada no fato de que partículas metálicas das ligas se desprendem durante o processo, chegam a volatilizar e após condensarem contaminam as areias, contudo, sem provocarem variações que ultrapassem os limites máximos permitidos observados neste estudo.

No ensaio de lixiviado neutro, em que a solução de extração do lixiviado é água deionizada, todos os parâmetros estavam adequados à norma NBR 10.004, embora a quantidade de ferro total na bentonita (matéria prima) fora a única amostra que se apresentou fora do padrão exigido.

Os ensaios realizados nas matérias primas da areia descartada de fundição apresentaram os parâmetros acima do permitido pela norma NBR 10.004, sendo que a areia base, pó de carvão e a bentonita sódica natural, todas de origem mineral, seriam classificadas como não-perigosos-não-inerte (Classe II A) pela mesma norma, caso fossem consideradas resíduos.

No ensaio de determinação da distribuição granulométrica não houve uma grande variação de tamanho de grãos entre as areias e os resíduos, todos se encontram entre as peneiras 0,15 mm e 0,30 mm.

O mesmo pode ser dito sobre o ensaio de permeabilidade, não ocorreram grandes variações entre as areias e os resíduos, estes últimos demonstraram ser fracamente mais permeáveis do que as misturas utilizadas no início do processo.

## 7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

\_ALBA Química Indústria e Comércio Ltda. **Resinas sintéticas para fundição.** Itaúna, MG, 1989\_

ALVAREZ, A. **Aplicação de produção mais limpa (P+L) em fundição.**, 2001

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA) – Comissão de Meio Ambiente. **Manual de regeneração de areias de fundição.** São Paulo: Associação Brasileira de Fundição, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA) – Comissão de Meio Ambiente.. **CEMP 080 – areia base para fundição – determinação da permeabilidade** São Paulo: Associação Brasileira de Fundição, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA) -**VI Seminário de Fundição.** São Paulo, ABIFA: 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 10.004: Classificação dos Resíduos Sólidos,** 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 10.005: Procedimento para obtenção de extrato de lixiviado,** 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 10.006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos,** 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos,** 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 12.634: Areia-base para fundição - Determinação da permeabilidade**

\_\_\_\_\_. Areias de Fundição de Ferro Descartadas (AFFD). Revista Fundição & Materias-Primas, vol. 78, Setembro de 2006.

BAUMER, B. DEMATTE, C.L. **Influência no teor de finos nas propriedades tecnológicas da areia a verde.** In: Congresso de Fundição. São Paulo, 1995. **Anais.** São Paulo, 1995.

BONIN, André L. **Reutilização da Areia Preta de Fundição na Construção Civil.** In: Congresso de Fundição. São Paulo, 1995. **Anais.** São Paulo, 1995.

CASTRO, César A. G. **A produção de areia base para fundição e o meio ambiente: Sibelco Mineração Ltda.** In: Congresso de Fundição, São Paulo, 2001. **Anais.** São Paulo, 2001.

CAMPOS FILHO, M. P. de. **Solidificação e fundição de metais e suas ligas.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978.

CHEGATTI, Schirlene. **Aplicação de resíduos de fundição em massa asfáltica, cerâmica vermelha e fritas cerâmicas.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

CHEGATTI, Schirlene . **Análise do processo produtivo de uma fundição visando detectar diferentes pontos geradores de resíduos para reciclagem.** Monografia apresentada ao Programa de Graduação em Química Industrial da Região de Joinville-UNIVILLE. Joinville,1999.

COSTA, O. GIÃO, D. **Tecnologia de fundição em areia verde.** Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia. Portugal, 200.

CUNHA, Carlos Jorge et al. **Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como Agregado em Misturas Asfálticas.** In: Congresso de Fundição, São Paulo, 2005. **Anais.** São Paulo, 2005.

D'ELBOUX, Francisco Augusto. **Minimização do descarte de areias de fundição.** In: Congresso de Fundição, São Paulo, 2001. **Anais.** São Paulo, 2001.

DEMATTE, Cesar Luiz. **Caracterização de bentonitas para fundição.** In: Semana Tecnológica da Metalurgia. SOCIESC. Joinville, 2003.

GARCIA, Fábio. Matéria publicada na Revista Fundição & Matérias-Primas na seção Informe Ambiental ed. nº 78, p. 54-61, Setembro de 2006

GIANNINI, A. R. (1995). **Resinas sintéticas para aglomeração de areia** *Mineração metalurgia.*

\_\_MARIOTTO, L.C. **Regeneração de Areias de Fundição.** São Paulo: IPT, 2001.

LORÉ, V. **Areias de Fundição: generalidades, classificação, técnicas de preparo, componentes.** IN: Fundição. SIEGEL coord., Associação Brasileira de Metais-ABM. 10.ed., aula n.8, 1978.

OKIDA, J. R. **Estudo para Minimização e Reaproveitamento de Resíduos Sólidos de Fundição.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2006.

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

PEREIRA, Raquel L. **Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas.** Dissertação (Química), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

REINERT, Maria Inêz. **Areias de moldagem a verde.** Sociedade Educacional de Santa Catarina, Joinville, 2003.

SCHEUNEMANN, Ricardo. **Regeneração de areia de fundição através de Tratamento Químico via Processo Fenton.** Dissertação apresentada ao Programa de

Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SILVA, Tatiane C. **Comparativo entre os regulamentos existentes para reutilização de resíduos de fundição.** . TCC apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

WALDEN, W. **Alternate use of sand.** Technikon LCC, Mc Clellan, CA, 2003

WEINFURTER, Antonio. **Tecnologias dos processos de macharia.** Escola Técnica Tupy- Curso de Metalurgia, Joinville, 1990.

WINKLER, E. S.; BOL'SHAKOV, A. A. **Characterization of foundry sand waste.** Massachusetts: Chelsea Center for Recycling and Economic Development, 82 p., October, 2000. (Technical Report number 8).



## APÊNDICE



### COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

Referente ao Relatório à Diretoria Nº 002/2007/C/E, de 01/08/2007.

Relator: Otavio Okano e Marcelo Minelli

### DECISÃO DE DIRETORIA Nº 152/2007/C/E, de 08 de agosto de 2007.

Dispõe sobre procedimentos para gerenciamento de areia de fundição

A Diretoria Plena da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, no uso de suas atribuições estatutárias e regulamentares, e considerando o contido no Relatório à Diretoria nº 002/2007/C/E, que acolhe, DECIDE:

- Artigo 1º** Aprovar o documento intitulado "PROCEDIMENTOS PARA GERENCIAMENTO DE AREIA DE FUNDIÇÃO", anexo.
- Artigo 2º** Ficam estabelecidos os seguintes prazos, após a aprovação deste procedimento, para a execução, pelo Grupo de Trabalho – Areia de Fundição, das seguintes atividades:
- a) 30 (trinta) dias para a elaboração de instrução técnica para gerenciamento de areias de fundição;
  - b) 90 (noventa) dias para a conclusão do "Relatório do Grupo de Trabalho Areia de Fundição", o qual deverá ser publicado na página da CETESB na Internet.
- Artigo 3º** Esta Decisão de Diretoria possui caráter normativo e o Procedimento ora aprovado contém exigências técnicas obrigatórias a serem atendidas pelas empresas geradoras dos resíduos areia de fundição, assim como, pelas empresas destinatárias destes resíduos, cujo descumprimento ensejará ações corretivas por parte da CETESB, nos termos do Regulamento da Lei Estadual nº 997/76, aprovado pelo Decreto nº 8468/76.

Publique-se no Diário Oficial do Estado de São Paulo – Poder Executivo – Seção I, na parte da Secretaria Estadual do Meio Ambiente.

Divulgue-se a todas as Unidades da Companhia.

Diretoria Plena da CETESB, em 08 de agosto de 2007.

ORIGINAL  
DEVIDAMENTE  
ASSINADO

**FERNANDO REI**  
Diretor Presidente

ORIGINAL  
DEVIDAMENTE  
ASSINADO

**EDSON TOMAZ DE LIMA Fº**  
Diretor de Gestão Corporativa

ORIGINAL  
DEVIDAMENTE  
ASSINADO

**OTAVIO OKANO**  
Diretor de Controle de Poluição Ambiental

ORIGINAL  
DEVIDAMENTE  
ASSINADO

**MARCELO MINELLI**  
Diretor de Engenharia, Tecnologia e  
Qualidade Ambiental