

FACCAMP - FACULDADE CAMPO LIMPO PAULISTA

Waldeir Roberto Santos

R.A: 8127

AREIA DE FUNDIÇÃO: CARACTERÍSTICAS E USO  
SUSTENTÁVEL

Campo Limpo Paulista

2012

FACCAMP - FACULDADE CAMPO LIMPO PAULISTA

Waldeir Roberto Santos

R.A: 8127

## O USO SUSTENTÁVEL DA AREIA DE FUNDIÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade Campo Limpo  
Paulista para a conclusão do curso de  
Bacharelado em Química sob orientação  
da Prof<sup>a</sup> Doutora Lisete Maria Luiz Fischer

Campo Limpo Paulista

2012

## DEDICATÓRIA

*À minha esposa Carla Fabiana que tanto  
me apoiou nos momentos mais difíceis.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela paciência, força e sabedoria que me foram concedidas para chegar até onde cheguei.

Agradeço também aos meus queridos professores que me concederam os conhecimentos necessários para realização do trabalho.

À minha família pela paciência e compreensão diante de meu cansaço e ausência; aos amigos de perto e os de longe que me apoiaram e aos colegas de classe que me ajudaram com materiais de pesquisas ou palavras de conforto.

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo demonstrar a existência de alternativas sustentáveis e verdes de modo que a areia seja utilizada de forma mais consciente e moderada no processo de fundição. Para tal foram realizadas diversas pesquisas que abrangem áreas como: a indústria da fundição no Brasil, os processos de fundição, a geração de resíduos por parte das empresas de fundição, as características desses resíduos e as técnicas de regeneração e aplicação externa desses excedentes. Com base na fundamentação teórica observou-se o problema das empresas com o descarte da areia de fundição e o alto custo do mesmo, fato esse que pode gerar não só problemas de ordem administrativa, mas também ambiental que sendo o foco deste trabalho. Para comprovar a possibilidade das empresas realizarem o uso sustentável dessa areia, foi realizada uma vasta pesquisa neste sentido, trazendo a mostra as alternativas viáveis para o sucesso do uso sustentável da areia de fundição.

Palavras-chave: sustentabilidade; processo de fundição; regeneração.

## **ABSTRACT**

The present work has as objective to demonstrate the existence of sustainable and green alternatives so that the sand is used of more conscientious and moderate form in the casting process. For such diverse research had been carried through that encloses areas as: the casting industry in Brazil, the casting process, the generation of residues on the part of the casting companies, the characteristics of these residues and the techniques of regeneration and external application of these excesses. On the basis of the theoretical recital observed the problem of the companies with the discarding of the casting sand and the high cost of the same, fact this that can not only generates problems of administrative order, but also ambient that is the focus of this work. To prove that it is possible the companies to obtain to make the sustainable use of this sand, a vast research in this direction was carried through, bringing the sample the viable alternatives for the success of the sustainable use of the casting sand.

Key words: sustainability; casting process; regeneration.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE SIGLAS.....	9
INTRODUÇÃO.....	10
OBJETIVOS.....	11
JUSTIFICATIVA.....	12
METODOLOGIA.....	13
1 FUNDIÇÃO.....	14
2 RESÍDUOS.....	20
2.1 Definição.....	20
2.1.1 Granulometria.....	20
2.1.2 Composição.....	21
2.1.3 Estrutura.....	23
2.1.4 Descarte.....	24
3. ALTERNATIVAS PARA DIMINUIR O IMPACTO AMBIENTAL.....	25
3.1 A regeneração da areia de fundição.....	28
3.2 A pavimentação com areia de fundição.....	29
4 PESQUISA DE CAMPO.....	31
4.1 Instrumentos de Pesquisa.....	31
4.2 Análise e Interpretação dos Resultados.....	31
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
REFERÊNCIAS.....	34
Apêndice A – Questionário aplicado.....	37

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Confecção do Modelo;	14
Figura 2 - Confecção dos Moldes	15
Figura 3 - Confecção de Machos;	16
Figura 4 - Fusão;	17
Figura 5 - Vazamento;	17
Figura 6 - Desmoldagem;	18
Figura 7 - Rebarbação;	19
Figura 8 - Granulometria para algumas areias de fundição;	21
Figura 9 - Diagrama de fases dos principais polimorfos de SiO <sub>2</sub> ;	24
Figura 10 - Comparação da resistência média dos pavimentos de concreto;	27
Figura 11 - Silicato de sódio: estrutura química;	29



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Areia verde - composição e propriedades	21
Tabela 2 - Areia ligada quimicamente - composição e propriedades	22
Tabela 3 - Composição química da areia sílica (quartzo)	23
Tabela 4 - Características da areia excedente e da areia de construção	25

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
OMS	Organização Mundial da Saúde
P+L	Produção Mais Limpa

## INTRODUÇÃO

A respeito ao meio ambiente e sustentabilidade são temas abordados e discutidos desde a década de 60, quando foi divulgado pelo Clube de Roma um relatório, chamado “Os Limites para o Crescimento”, que abordava o tema dos limites da exploração dos recursos naturais dentro da expectativa de crescimento da população e do consumo para a época. (Moura, 2002) Entretanto nos últimos anos tem-se observado um movimento crescente em vários segmentos, educação, indústria e sociedade. Os cidadãos mais conscientes fazem a sua parte reciclando seus excedentes, ou o lixo, evitam o desperdício de água e energia, visando o bem do planeta e das futuras gerações.

Mas quando estendemos esse quesito às organizações, nem sempre vemos bons exemplos partindo das mesmas: descarte de efluentes nos rios, não reciclagem do lixo produzido, entre outros. E quando falamos de processo produtivo, como a fundição, a questão ambiental se torna mais profunda, porque envolve duas vertentes: a aquisição contínua de areia virgem, para abastecer o processo, e a produção, inversamente proporcional de excedentes, e, sua disposição em aterros sanitários, podendo gerar um desequilíbrio ainda maior no meio ambiente.

Para ilustrar essa situação esse trabalho foi desenvolvido para demonstrar a possibilidade das empresas se utilizarem de processos mais verdes e sustentáveis para o tratamento de seus excedentes.

Tomou-se por base a indústria de fundição que apresenta como resíduo a areia utilizada nos moldes. No primeiro capítulo apresenta-se os conteúdos que deram base e fundamento para a pesquisa, abrangendo temas tais como: i) processo de fundição, ii) resíduos e descarte e iii) alternativas para diminuir o impacto ambiental. Já no segundo capítulo apresenta-se um paralelo entre as teorias descritas no estudo, mostrando os pontos convergentes e divergentes entre elas e a realidade na qual estão inseridas as empresas atualmente.

## OBJETIVOS

- Descrever os processos de fundição;
- Fazer um estudo das estruturas químicas dos compostos químicos envolvidos no processo de fundição;
- Reconhecer a dimensão da geração de resíduos pelas indústrias;
- Conhecer as alternativas de uso sustentável dos resíduos gerados com o processo de fundição;
- Identificar a possibilidade do uso sustentável da areia de fundição visando redução dos impactos ambientais causados pelas empresas do ramo;
- Apresentar estudos sobre a viabilidade da utilização da areia regenerada na fabricação de pavimentos;

## JUSTIFICATIVA

O setor de fundição brasileiro apresenta relevância para o ramo industrial uma vez que o produto fundido é básico na maioria das cadeias produtivas, especialmente no setor automotivo e de bens de capital com o consumo de, respectivamente, 55% e 18% de toda a produção nacional de fundidos. (Carmelio et. al, 2008)

Como todo processo produtivo, a fundição de materiais e peças gera um volume muito alto de resíduos sólidos e entre eles está a areia de moldagem, ou fundição. Essa areia, quando descartada, está totalmente contaminada por metais pesados (dependendo da liga metálica usada para fazer as peças) e por aglomerantes, que pode ser resinas ou argila. (Fagundes, 2010)

Ainda de acordo com Dantas (2010) a finalidade comumente dada à essa areia excedente é o seu descarte em aterros sanitários, gerando assim um grande impacto ambiental pois, além de devolver ao ambiente um material contaminado por resíduos químicos como os metais pesados e resinas, estimula o consumo da areia virgem, que é considerada um bem de consumo não renovável por ser extraída de rios e jazidas.

Portanto, tendo por base no que foi exposto, esse trabalho se justifica por apresentar e analisar alternativas mais sustentáveis e limpas para a utilização da areia excedente do processo de fundição, bem como a sua regeneração e utilização dentro do próprio processo.

## **METODOLOGIA**

Todas as informações teóricas contidas no presente trabalho foram coletadas em livros de autores como Watanabe (2004) e Chiaverini (1986), materiais didáticos sobre processos de fundição, revistas de metalurgia e química e também foram feitas consultas a sites oficiais, como o da ABNT e da empresa Ashland, sendo assim considerado um trabalho bibliográfico, mas possui pesquisa de campo.

No cerne de todas as informações colhidas com a pesquisa está desde o passo a passo do processo de fundição até as soluções já utilizadas para a reutilização sustentável da areia de fundição, foco principal deste trabalho.

# 1. FUNDIÇÃO

A fundição é um processo de fabricação de peças ou artefatos onde se utiliza ligas metálicas ferrosas (ferro e carbono) ou ligas de metais não ferrosos (magnésio, cobre ou zinco) em estado líquido, colocando-os ou “vazando-os” em um molde com características de formato e tamanho correspondentes às peças, ou então fazendo essas peças em seu formato quase definitivo para depois serem trabalhadas em outros processos mecânicos até chegar à sua forma final. (Chiaverini, 1986)

A fundição pode ser realizada por diversos processos, entre eles por centrifugação, por gravidade, por pressão e por precisão.

O processo de fundição segue as seguintes etapas:

- **Confecção do modelo:** Nesse estágio se constrói um molde, que pode ser de madeira, resina plástica, ou até mesmo isopor, com as medidas e tamanho aproximados da peça a ser feita. Da elaboração do modelo, é preciso considerar a contração do ferro após sua solidificação e também o metal excedente para uma eventual usinagem da peça no futuro. (Moraes, 2000)



**Figura 1 - Confecção do Modelo**

**Fonte: (LEONE,2012)**

- **Confecção do molde:** O molde toma por base o modelo desenvolvido na primeira etapa. Para a confecção do molde de areia, utiliza-se uma mistura

de areia e aglutinante que é colocado sobre o modelo e quando retirado, fica com o formato da peça a ser fundida. O aglutinante em geral é constituído de água e argila (Chiaverini, 1989), mas também utilizam, segundo Costa (2008) aglutinantes orgânicos tais como resinas furânicas, fenólicas ou uretânicas; aglutinantes inorgânicos como o silicato de sódio e o cimento portland; e os mistos como as resinas fenólicas alcalinas. Lopes (2009) aponta que as resinas são utilizadas como aglutinantes na indústria de fundição por proverem grande resistência à areia no processo de moldagem. Em sua maioria, as resinas são compostas por polímeros orgânicos e a mais utilizada é a **resina fenólica uretânica**, que consiste na ligação de um grupo OH com uma cadeia aromática, ou anel benzênico. Essa resina caracteriza-se por ser uma massa incolor ou então de amarelo-claro; é solúvel em água e em solventes tais como o éter, álcool e acetona. Os elementos que constituem o molde são os canais (de entrada, descida e alimentação), os massalotes (que servem para compensar as contrações do metal durante a solidificação) e macho (peça utilizada para evitar que o metal ocupe determinados espaços no molde para gerar as cavidades nas peças). (Moraes, 2000).



**Figura 2 - Confeção dos Moldes**

**Fonte ( OLX, 2012 )**



- Confeção dos machos – Os machos são peças também de areia que são colocados dentro do molde antes da fundição da peça para formar os vazios e os furos das mesmas. Essa peça é uma parte de areia aglomerada que, depois da moldagem, fica consistente por secagem ou como resultado do processo de fabricação das peças. (Moraes, 2000).



**Figura 3 -Confeção de Machos;**

**Fonte: (GRUPO B<sub>2</sub>B, 2012 )**

- Fusão: Parte do processo que consiste na elaboração da liga a ser usada na fabricação da peça (ferrosa ou não ferrosa)



**Figura 4 -Fusão;**

**Fonte: (GRUPO B<sub>2</sub>B, 2012 )**

- Vazamento: Nessa parte do processo a liga elaborada no processo de fusão é despejada dentro do molde. Este processo consiste em aproximar a borda da panela o máximo possível do canal de entrada do molde para evitar ao máximo o contato do metal líquido com o ar. (Recusani Filho, 1974).



**Figura 5 -Vazamento;**

**Fonte: (GRUPO B<sub>2</sub>B, 2012 )**

- Desmoldagem: Consiste em retirar a peça do molde depois de sua solidificação. O tempo para a solidificação do metal depende da liga utilizada, do tipo de peça e molde usado.



**Figura 6 - Desmoldagem;**

**Fonte: ( Cruzaço, 2012)**

- Rebarbação: É o aperfeiçoamento da peça, retirando suas rebarbas e restos de metal. Esse processo é realizado quando a mesma está quase na temperatura ambiente.



**Figura 7 -Rebarbação;**

**Fonte: ( Cruzaço, 2012 )**

- **Limpeza:** Ela é necessária, pois muitas vezes há sobras de areia usadas na confecção do molde dentro das peças. Para esse processo normalmente utiliza-se jatos abrasivos.

Chiaverini (1986) descreve cada um dos processos de fundição: o **por centrifugação** consiste em vaziar a liga metálica em um molde que esteja girando rotativamente, para que a força centrífuga gerada nesse movimento empurre a liga metálica para as paredes do molde, onde então se solidificará.

Por sua vez, o **processo por gravidade** é o processo que utiliza os moldes de areia, também chamados de moldes temporários. O processo de moldagem em areia verde é o mais simples e mais comum nas fundições e consiste em compactar a chamada areia de fundição - um composto de areia silicosa, argila e água - sobre a matriz do molde para formar as cavidades da peça. Em seguida, o metal líquido é vazado sobre esse molde de areia e, após o resfriamento da peça, a mesma é retirada do molde e é ajustada mecanicamente, com corte ou usinagem.

O **processo por pressão** é a injeção do metal líquido na cavidade do molde, ou matriz. Esse molde, também metálico, pode ser utilizado várias vezes. Devido à pressão que o líquido sofre quando injetado no molde, o mesmo atinge as paredes

da matriz em alta velocidade, o que permite a fabricação de peças mais complexas e com paredes mais finas do que as produzidas pelo processo por gravidade.

Já o **processo por precisão** utiliza um molde feito a partir de um modelo revestido de material refratário que endurece à temperatura ambiente ou mediante tratamento térmico apropriado. A liga metálica então é vazada dentro desse molde e, uma vez resfriada a peça, tanto o molde quanto o modelo utilizado são descartados.

## **2. RESÍDUOS**

### **2.1 Definição**

De acordo com a definição proposta pela Organização Mundial da Saúde (OMS), resíduo é tudo aquilo que seu proprietário não quer mais em um determinado momento. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define resíduo como algo resultante de atividades diversas, gerados como sobras de processos ou mesmo os materiais que não podem mais ser usados para em sua finalidade principal.

De acordo com Mariotto (2008) os processos de fundição podem gerar de 8 a 40 tipos de resíduos (madeira, pedaços de ferro, restos de disco abrasivos) e as sobras de areia são as mais representativas em relação a custo e quantidade. Atualmente o custo para efetuar o descarte da areia de fundição é próximo a R\$ 50,00 por tonelada.

#### **2.1.1 Granulometria**

A figura 8 apresenta um gráfico mostrando o tamanho do grão para algumas areias de fundição. (Mariotto, 2008)

A granulometria é muito importante na fundição, pois é neste processo que determina o tamanho do grão a ser usado na confecção do molde, não podem ser do mesmo tamanho e também não pode possuir finos, pois os finos impedem a formação dos intertícios, onde então é necessário que essa areia tem que possuir uma boa permeabilidade.

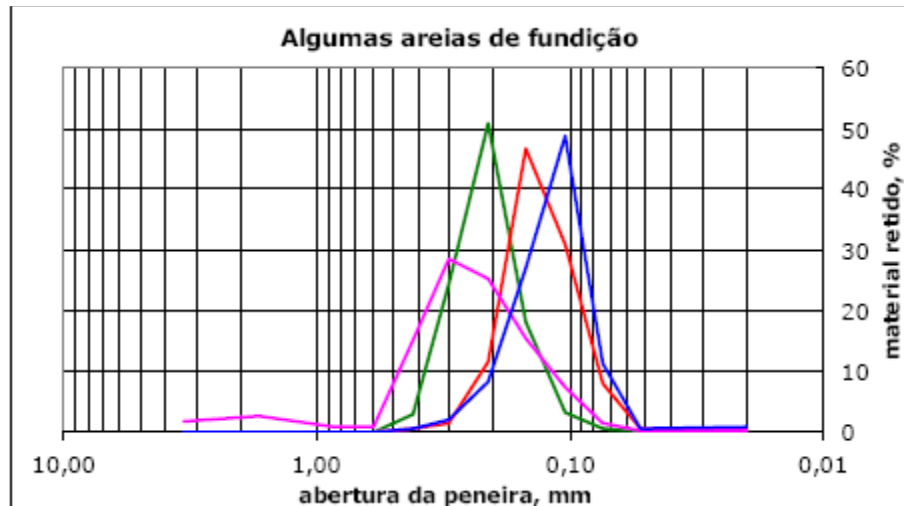


Figura 8 - Granulometria para algumas areias de fundição.

Fonte: Mariotto (2008)

Pode-se observar que o tamanho do grão das areias descartadas varia de 0,1 mm a 0,6 mm.

### 2.1.2 Composição

A confecção dos moldes de areia pode ser feita utilizando a areia verde ou a areia ligada quimicamente.

O primeiro caso, areia verde, tem-se uma mistura de areia silicosa, argila e água. O processo de moldagem que utiliza a areia verde é o mais utilizado por apresentar baixo custo e ser menos impactante tanto à saúde quanto ao ambiente. Na tabela 1 apresenta-se a composição e as propriedades de uma areia verde estudada por Mariotto (2008).

Tabela 1: Areia verde – composição e propriedades

Características	Faixas
Areia ( em geral, quartzo), %	70 - 80
Argila, %	5. - 15
Aditivos (pó de carvão, amido e outros), %	2. - 5
Umidade, %	0 - 5
Perda ao Fogo, %	1,5 - 11
pH	3. - 12
Módulo de Figura	40 - 150
Material mais fino que 0,1 mm. %	1. - 12
Materiais metálicos	Muito variável ( * )
Densidade aparente	1,0 - 1,6

Fonte: Mariotto (2008)

No segundo caso, areia ligada quimicamente, tem-se uma mistura de areia silicosa e ligantes tais como silicato de sódio ou resina fenólica. Na tabela 2 apresenta-se a composição de uma areia quimicamente ligada estudada por Mariotto (2008).

**Tabela 2: Areia ligada quimicamente – composição e propriedades**

Características	Ligantes	
	Inorgânicos Silicato de Sódio	Misto Fenólico Alcalino
Areia (quartzo), %	93 - 96	95 - 98
Na <sub>2</sub> O, %	1 - 2,5	1,5 - 2,5
CaO	0,7 - 3	0 - 0,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
MgO		
K (solúvel, %)		0,1 - 0,5
Água, %	1,3	0,2 - 0,5

Fonte: Adaptado de Mariotto, 2008.

A análise das tabelas 1 e 2 infere às seguintes conclusões:

- Existe uma maior concentração de areia (quartzo) nos excedentes de areia ligada quimicamente (de 95 a 98,5%) do que na areia verde (de 70 a 80%).
- Existe maior número de componentes químicos nos excedentes da areia ligada quimicamente do que na areia verde, sendo os mais comuns a resina fenólica e silicatos de sódio.

Sobre os silicatos de sódio, Lopes (2009) explica que esta resina começou a ser usada na década de 50 e é aplicada à produção de peças com baixo grau de complexidade e de precisão dimensional. É uma resina considerada de baixo impacto ambiental comparado aos mecanismos orgânicos, mas que ainda assim gera muitos resíduos.

Segundo Scheunemann (2005) a resina fenólica é obtida por meio da reação de um fenol e possui características tais como: secagem rápida, grande resistência à água, solventes fortes e agentes químicos, além de sua dureza característica. Por esse motivo, a resina fenólica tem sido cada vez mais indicada para utilização no processo de fundição para aglomerar a areia-base, promovendo a resistência mecânica necessária para a fabricação dos moldes. Essa matéria-prima, apesar de apresentar muitas vantagens, tem o inconveniente de ser altamente tóxica.

### 2.1.3 Estrutura

Lopes (2009) aponta que a sílica pode ser encontrada em sob três aspectos: anidras (sem água), hidratada (silicatos) e coloidais (vidro). Na natureza as sílicas anidras se apresentam sob três aspectos de mesma estrutura química, mas com organização físico-cristalina diferentes entre si. São eles: o **quartzo** (estável à temperatura ambiente), a **tridimita** (estável à temperatura de 867°C) e a **crystalita** (estável à temperatura de 1.470 °C)

O quartzo é utilizado em maior quantidade, por ter um custo menor e estar abundante na natureza, além de ser estável à temperatura ambiente, proporcionar refratariedade e estruturas que permitem proporcionar um melhor acabamento superficial à peça fundida. A sua composição química está representada na tabela 3

**Tabela 3 – Composição química da areia de sílica (quartzo)**

SiO <sub>2</sub>	99,65%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,074%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11%
TiO <sub>2</sub>	0,037%
ZnO <sub>3</sub>	0,009%
CaO <sub>2</sub>	0,004%
MgO	0,004%
Na <sub>2</sub> O	0,002%
K <sub>2</sub> O	0,00%

**Fonte: Adaptado de Fernandes (2004)**

Vlach (2009) explica que o quartzo, a tridimita e a cristobalita possuem cada um uma característica polimorfa de alta temperatura, que é representada pela letra grega  $\beta$ , e outro de baixa temperatura, representada pela letra  $\alpha$ . A transformação que ocorre da fase  $\beta$  para a  $\alpha$  é chamada de polimorfismo de deslocamento e consiste basicamente na realocação das ligações químicas e das unidades tetraédricas. Esse processo não implica em nenhum rompimento das ligações químicas, consome pouca energia e é facilmente reversível; ocorre de forma rápida



e em toda a estrutura, com temperaturas bem definidas, chamadas de temperaturas de inversão.

Para promover a inversão de um quartzo  $\beta$  para um quartzo  $\alpha$  sob uma pressão atmosférica de 1 atm, a temperatura na qual ocorre a transformação é 573°C; já para a reversão a temperatura mínima necessária é 574°C. Esses valores variam proporcionalmente de acordo com a pressão aplicada no processo. Essa variável é prevista na equação de Clayperon e pode ser melhor visualizada no diagrama de fase da figura 9:

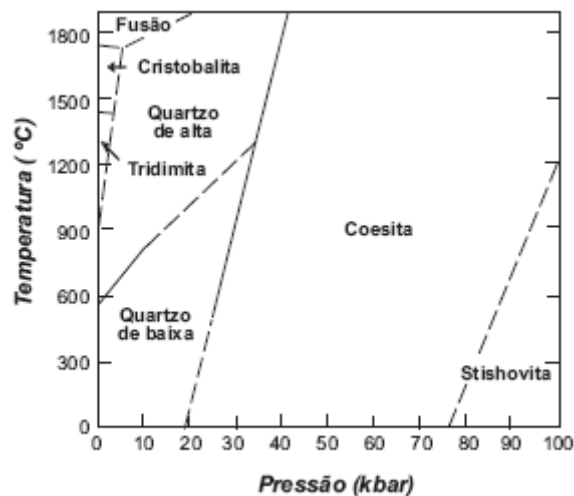


Figura 9: Diagrama de fases dos principais polimorfos de  $\text{SiO}_2$

Fonte: Adaptado de Vlach (2009)

#### 2.1.4 Descarte

Os resíduos gerados desse processo pelas empresas de fundição são descartados no ambiente e, no caso da areia, os aterros sanitários são o destino final.

De acordo com Mariotto (2008) alguns estudos mostram que a areia depositada em aterros sanitários libera metais em níveis que mesmo sendo em níveis baixo, a liberações de metais como o chumbo, cobre, cromo e zinco é motivo de preocupação constante para as autoridades ambientais tanto no que se refere à disposição dessa areia quanto ao seu reuso em construções e afins.

### 3. ALTERNATIVAS PARA DIMINUIR O IMPACTO AMBIENTAL

Duas alternativas para evitar a disposição em aterros sanitários são descritas na literatura (Mariotto, 2008):

- i) Reuso externo (aplicação da areia para outras finalidades);
- ii) Regeneração da areia e reutilização dentro do próprio processo de fundição.

Por reuso externo pode-se entender a utilização dessa areia como matéria-prima em outro ramo da indústria, tais como:

- Substituição total ou parcial da areia em concreto, exceto o de fundição e aplicações estruturais; massa asfáltica; tijolos cerâmicos e outros itens de concreto;
- Fonte de sílica na produção de peças dos fornos de cimento e na fabricação de lã de rocha utilizada na absorção acústica.
- Como substituto de solos não muito resistentes em obras de engenharia de grande porte.

Estudo realizado por Armange (2005) avalia a utilização da areia não regenerada em argamassas. No presente estudo foram avaliadas duas areias, a de retorno, que são os resíduos da areia de moldagem, e as de exaustão, que é a areia contida nos exaustores. Na tabela a seguir está um comparativo entre as características dos resíduos e da areia utilizada na construção civil.

**Tabela 4: Características da areia excedente e da areia de construção**

Características	Areia de Retorno	Areia de Exaustão	Areia de Construção Civil
Módulo de finura	72,11	101	73,17
Teor de Finos	3%	14,56%	3,95%
Argila (partículas inferiores a 0,02 micron)	11,80%	38,80%	1,70%
Teor de Sílica	92,96%	86,60%	98,29%
Umidade	1,40%	0,10%	5,60%
Densidade	1206,10 kg/m <sup>3</sup>	1009 kg/m <sup>3</sup>	1287,05 kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Armange (2005)

É possível observar que a areia de retorno apresenta características mais próximas da areia utilizada na construção civil relativamente à areia de exaustão. Mas, mesmo apresentando características físicas muito próximas, após a realização de teste de moldagem e cura, resistência mecânica e de solubilização fica evidente

que não é possível substituir 100% a areia pura pela excedente no caso da construção civil.

De acordo com a pesquisa de Armange (2005) a quantidade de água que foi necessária para manter a mesma consistência da argamassa aumenta conforme a quantidade de resíduo aplicado. Isso se deve à argila presente nos resíduos que absorve mais água.

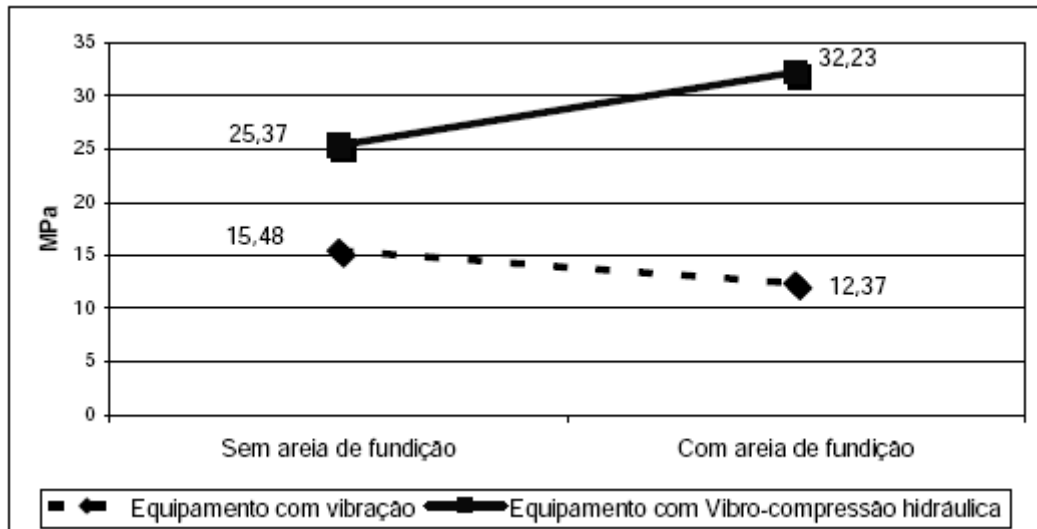
De acordo com o mesmo estudo, quando utiliza-se mais de 60% de areia de retorno na confecção da argamassa, fica mais difícil misturar e moldar. Já no caso da areia de exaustão, essa quantidade não pode ultrapassar os 40%. Outro ponto a observar é que com a grande concentração de resíduos há a liberação de enxofre, o que gera um odor muito forte e desagradável. Com relação a resistência mecânica, a argamassa feita com areia de exaustão teve seu rendimento inferior devido a granulometria do resíduo. Como os seus grãos são bem menores do que a areia comum, a área superficial é maior sendo preciso mais cimento para manter a mesma resistência. Isso geraria uma demanda maior na quantidade de cimento, aumentando os custos da argamassa com areia de exaustão.

Já a regeneração e reutilização dentro do próprio processo de fundição torna-se um processo vantajoso pois diminui a aquisição de areia nova e o descarte em aterros sanitários. Ainda estudos (pesquisa de campo) mostram que areia regenerada tem melhor desempenho, especialmente à longo prazo, em comparação às areias novas.

Segundo Maciel (2009) os principais desafios das empresas de fundições para diminuir os impactos que as mesmas causam no ambiente baseia-se na redução do consumo de areia nova, diminuição da produção de resíduos sólidos, redução das emissões de gases poluentes, do consumo de energia e dos recursos naturais. E para que esses objetivos sejam alcançados as palavras de ordem são reduzir o desperdício durante o processo produtivo e utilizar racionalmente os recursos naturais.

Um estudo realizado por Watanabe (2004) avalia a aplicabilidade da areia excedente da fundição na fabricação de pavimentos de concreto. Foram considerados dois métodos na fabricação deste concreto: por vibração e por vibro-compressão.

Na figura 10 mostra-se a resistência mecânica do pavimento fabricado sem areia de fundição e com 25% de areia de fundição após 30 dias:

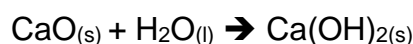


**Figura 10 – Comparação da resistência média dos pavimentos de concreto**

**Fonte: Watanabe (2004)**

Observa-se então uma redução no valor da resistência do pavimento para 12,37 MPa, representando uma queda de 20% na resistência do pavimento fabricado por vibração. Já para o pavimento fabricado por vibro-compressão observa-se um aumento no valor da resistência para 32,23 MPa, representando um acréscimo de 27% na sua resistência.

A resistência desses materiais se deve principalmente ao processo de fabricação e não propriamente à quantidade de resíduo incorporado à massa. Isso porque os equipamentos funcionam de maneiras distintas; o com vibro-compressão hidráulica, que fabricou um pavimento mais resistente com a areia de fundição, promove, além da vibração, uma pressão de 1,1 MPa em cada pavimento por meio de um cilindro hidráulico. Isso faz com que o pavimento se torne mais denso e com menos porosidade, aumentando assim sua resistência. Já no pavimento fabricado por vibração, foi observado uma porosidade maior, o que permitiu a formação de cristais de hidróxido de cálcio nessas regiões porosas, justamente porque a utilização do processo de vibração apenas aumenta a concentração de água nesses locais, favorecendo a formação desses cristais que prejudicam a resistência do pavimento. A reação que caracteriza este processo é:



### 3.1 A regeneração da areia de fundição

A regeneração consiste em retirar as espécies que ficam ligadas ao grão de areia. Esse processo visa manter as características da areia, permitindo o seu reuso no próprio processo de fundição, mesmo naquelas fases que exigem areia nova.

Considera-se areia regenerada aquela que pode ser aplicada nas seguintes situações dentro do processo de fundição:

- confecção de machos;
- confecção do moldes com areia ligada quimicamente ou não;
- diluição de sistemas de areia verde.

A areia usada na confecção de machos e moldes deve ter um grau elevado de pureza, características químicas e físicas específicas, destacando-se pH e granulometria.

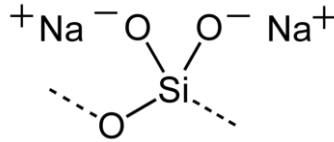
O processo de regeneração é dividido nas seguintes fases:

- Destorroamento: consiste basicamente em desfazer os torrões e aglomerados de areia que se formam para separar os grãos individualmente;
- Remoção de metálicos;
- Limpeza da superfície dos grãos: é a remoção das capas dos grãos de areia constituídas dos resíduos de aglomerantes e aditivos usados no processo de fundição.
- Despoeiramento: é a limpeza do grão, retirando-se a poeira gerada nos processos anteriores;
- Classificação final: é o peneiramento da areia para a retirada de partículas maiores que eventualmente possam estar junto.

Para determinados tipos de areia, o grau da limpeza está ligado com o processo utilizado, tais como regeneração mecânica, térmica e termomecânica.

A **regeneração mecânica** consiste no atrito entre os grãos ou dos grãos com a máquina e pode ser a seco ou úmido. O processo seco é indicado para quase todos os tipos de areia e tem baixo consumo de energia e custos reduzidos. A eficiência da limpeza é considerada moderado. Já o processo úmido é indicado para areias ligadas com silicato de sódio, que tem sua estrutura química mostrada na figura 11, apresenta bons resultados com a areia verde também. O alto consumo de energia neste processo é considerável, pois é preciso secar a areia em sua fase final e

também se deve levar em conta que a lama formada no processo úmido contém aglomerantes, que são difíceis de processar. Esse processo exige também a reciclagem da água utilizada para a limpeza dos grãos.



**Figura 11 - Silicato de sódio: estrutura química**

Fonte: Wikipedia

A **regeneração térmica** é o processo de aquecimento dos grãos de areia a certa temperatura (entre 650°C e 750°C) e por determinado período de tempo (geralmente entre 40 e 50 minutos) suficiente para queimar os resíduos orgânicos aderidos aos grãos.

Já a **regeneração termomecânica** é a união dos dois processos descritos acima. Consiste no processo de gerar atrito entre os grãos a quente. As temperaturas são menores das que a utilizada no processo térmico (em torno de 250°C e 300°C), e isso facilita a secagem e rigidez da capa que envolve os grãos de areia, facilitam assim o seu rompimento no momento da geração do atrito mecânico

Outras duas opções de regeneração que vem sendo estudadas e devem ser apontadas: a regeneração crio-mecânica e regeneração por biodigestão.

Na **regeneração por crio-mecânica** os grãos são expostos à temperaturas abaixo de zero, provocando a rigidez da camada externa que recobre o grãos, tornando-os mais frágeis e facilitando o seu rompimento no momento do atrito entre os grãos. Já na **regeneração por biodigestão** utilizam-se microorganismos específicos para consumirem os componentes orgânicos que estão no revestimento dos grãos de areias.

### 3.2 A pavimentação com areia de fundição

Costa (2008) apresenta um estudo sobre a utilização da areia de fundição na pavimentação de estradas e rodovias. A mistura asfáltica constitui-se basicamente

de 5% de asfalto e 95% de agregados e o agente ligante usado nessa mistura predominantemente é o betume. O betume tem como característica química uma cadeia de hidrocarbonetos complexos, com composição química variada. Como características básicas pode-se destacar que o betume é orgânico, que pode ser tanto encontrado na natureza quanto pode ser obtido através de um processo industrial; é um poderoso aglomerante, que dispensa o uso da água; são facilmente solidificados e repelem a água; e não possuem ponto de fusão.

Lopes (2009) em seu estudo realizado aponta uma avaliação positiva no uso da areia de fundição na produção de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) pelo método Marshall.

Esse método consiste basicamente em determinar quantidade ou porcentagem dos agregados minerais utilizados na mistura asfáltica que se enquadre na especificação recomendada pelo Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT). O próximo passo está em determinar a quantidade de cimento asfáltico para que, quando misturado ao agregado possa atender aos requisitos mínimos de estabilidade determinado pelo DNIT. (Costa, 2008).

## **4. PESQUISA DE CAMPO**

De acordo com Demo (1987), a pesquisa é um procedimento ordenado e racional e tem objetivo de formular respostas aos problemas existentes, e desenvolvidos por meio de ocorrência dos conhecimentos disponíveis onde se emprega métodos, técnicas e outros procedimentos científicos. Com base nestes conceitos foi dada seqüência na pesquisa, buscando um panorama mais completo do atual cenário das empresas de fundição e sua relação com a regeneração da areia.

### **4.1 Instrumentos de Pesquisa**

Demo (1987) afirma que entrevista é a técnica em que o investigador se apresenta frente ao investigado e lhe formulam perguntas, com o objetivo de obtenção dos dados que interessam à investigação.

Para a coleta de dados desta pesquisa foi utilizado um questionário (vide Apêndice A) aplicado à dois colaboradores de empresas de fundições distintas. Após a coleta de todas as informações, foi feito um estudo dos dados que possibilitou o melhor entendimento dos processos regenerativos utilizados pelas empresas versus a teoria estudada.

### **4.2 Análise e Interpretação dos Resultados**

A partir dos dados recolhidos com as entrevistas é possível delinear de uma maneira geral, como funcionam efetivamente os processos de regeneração de areia dentro das fundições.

Uma das empresas, a Sulzer Pumps Brazil utiliza dois métodos de regeneração: o mecânico e o térmico. Com um consumo de aproximadamente 600



toneladas de areia recuperada por mês, a regeneração se mostrou uma saída econômica e ecologicamente viável para a empresa. Segundo informações toda a areia regenerada da empresa é aplicada novamente no processo de fundição como areia verde, sendo até mesmo considerada pela empresa como de melhor qualidade do que a própria areia virgem, por ser isenta de impurezas e ter um *mesh* (tamanho da partícula) diferenciado, baixo teor de expansão e de finos.

Basicamente o processo de regeneração da areia pode ser assim descrito: o processo inicial é o mecânico, que consiste em destorrar a areia, ou seja, separa-se a areia da resina e do catalizador por meio da vibração. Nesse processo de vibração, os torrões entram em atrito, promovendo assim a separação dos componentes. Esse processo a remoção dos componentes é meramente superficial; o passo seguinte é o processo térmico. Esse processo consiste em passar a areia por uma cascata com água corrente, onde são absorvidas as partículas menores e o pó de resina. Logo em seguida a areia passa por um filtro de manga, que é uma espécie de funil onde existem vários níveis de filtragem dessa areia, começando pelo *mesh* menor e terminando com o maior, e assim a areia fica sem torrões ou grãos muito grandes. No final, parte dessa areia é encaminhada para reuso dentro do próprio processo de fundição e a outra parte vai para calcinação.

A areia, por ser um material inorgânico, não consegue ser regenerada apenas termicamente. Como descrito acima, é preciso o processo mecânico de destorramento (que separa as partículas) e a lavagem (para dissolver o carbonato de sódio), para só então ser aplicado o processo térmico, que é a secagem da areia. A água utilizada nesse processo deve ser encaminhada a uma estação de tratamento para só então poder ser reutilizada.

Todo esse processo de recuperação da areia causa impactos ambientais, seja pela emissão de gases, seja pela utilização da água. Já a empresa Sulzer Pumps Brasil Fundição utiliza a seguinte metodologia para tratamento dos gases provindos deste processo: durante a combustão dos gases, os mesmos passam por um “lavador”, um forno com uma temperatura entre 850 °C e 900 °C, onde são retirados resíduos como o as cadeias aromáticas de benzeno.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O volume de material inerte produzido pelas empresas de fundição é algo que preocupa tanto a sociedade quanto os próprios empresários. Com o alto custo do descarte e o impacto ambiental provocado pela disposição desses materiais em aterros sanitários, além da reutilização dentro das próprias empresas de fundição, existe a alternativa da aplicação desta areia na construção civil.

Os estudos sobre a viabilidade e eficiência do uso da areia excedente, ou dos resíduos dos processos de fundição na construção civil ainda são poucos, mas pelo que se pode observar os riscos na sua utilização são bem menores do que as vantagens que ela traz. Além de evitar que várias toneladas de areia sejam devolvidas ao meio ambiente com resíduos agregados aos seus grãos que podem ser prejudiciais ao meio ambiente, está evitando também a retirada de mais areia do ambiente para a sua utilização nessas obras.

A regeneração da areia é uma alternativa válida, pois também evita que as empresas de fundição adquiram mais areia virgem, sendo que podem usar parte da areia regenerada na fabricação de seus moldes ou em seus exaustores.

O processo que determina a qualidade do processo de regeneração é a limpeza da superfície dos grãos. Dentre os modelos de regeneração apresentados, o processo mecânico seco é o mais sensato e viável do ponto de vista ambiental e de custos. Já o processo mecânico úmido tem que ser considerado em casos extremos, quando a utilização externa ou o processo mecânico seco não for viável ou eficiente, pois o desperdício de água e consumo de energia elétrica nesse processo não compensa, uma vez que a água usada nesse processo também terá que ser reciclada para evitar maiores desperdícios.

Por fim, pode-se destacar que as empresas de fundição apresentam preocupação e fornecem alternativas sustentáveis para o seu descarte.

## REFERÊNCIAS

ABNT– ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação. Setembro, 1987, 33p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6022: informação e documentação – artigo em publicação periódica científica impressa – apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

ARMANGE, Luciana Cristina et al. Utilização da Areia de Fundição Residual para uso em Argamassa. Revista Matéria. Rio de Janeiro, v.10, n.1, p. 51-62, 2005. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10631>>. Acesso em: 04 ago. 2011

CARMELIO, J. S. *et al.* Guia ABIFA de Fundição: Anuário 2008. Associação Brasileira de Fundição. São Paulo: ABIFA, 2008.

CHIAVERINI, Vicente. Tecnologia Mecânica. 2.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

COSTA, Cláudio José B. da. Mistura Asfáltica com o Uso de Areia de Fundição de Ferro Descartada. 2008. 214 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro.

DEMO, Pedro. Introdução à metodologia da ciência. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1987.

FAGUNDES, Alexandre Borges. Mapeamento do gerenciamento das areias a verde de fundição no Estado do Paraná sob a ótica da Produção mais Limpa: uma contribuição para o estabelecimento de estratégias. 2010. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Tecnológica do Paraná, Campus Ponta Grossa. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Ponta Grossa.

FERNANDES, Deilon Lopes. Areias de fundição aglomeradas com ligantes fenólicosuretânicos - Caixa fria. 1 ed. Itaúna: SENAI-DR. MG, 2004. 55 p.

FUNDIÇÃO E MECANICA CRUZAÇO, apresenta textos e imagens disponíveis em <http://cruzaco.dominiotemporario.com/home/#> , ultimo acesso em 19/08/2012.

GRUPO B 2 B, Soluções para Siderurgias e Fundições. Apresenta textos e imagens disponíveis em <http://b2bgroup.com.br/index.php/2011/06/12/processo-de-fundicao-de-metais-ferrosos/> , ultimo acesso em 19/08/2012.

Leone, apresenta imagens disponíveis em <http://www.modelacaoleoni.com.br/servicos.html>, ultimo acesso em 19/08/2012.

LOPES, Luiz Rogério Natividade. Avaliação da redução dos resíduos sólidos de areia resinada em fundição de aço através de recuperação térmica. 2009.

94 p. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia.

LOPES, Luiz Rogério Natividade; ESTRELA, Danilo Pereira. Melhoria da qualidade: redução de horas de retrabalho na produção de válvulas industriais. 2003. 111 p. Monografia (MBA em Gestão da Qualidade) Programa de Educação Continuada em Engenharia - PECE, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MACIEL, C. B. et al. Minimização da Geração de Areia de Fundição Utilizando Ferramentas do Programa de Produção Mais Limpa. São Paulo: 2009. 11 p.

MARIOTTO, Cláudio L. Regeneração de Areias de Fundição. Treinamento desenvolvido para Ashland Resinas. São Paulo: 2008. 112 p.

MATOS, Stelvia Vigolvinio; SCHALCH, Valdir. Alternativas de Minimização de Resíduos na Indústria de Fundição. São Carlos: 2003. 14 p.

MORAES, C. A. M. Apostila de Fundição I. Apostila do Curso de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Vol. 1. 2000.

MOURA, L.A.A. Qualidade e Gestão Ambiental. 3.ed. São Paulo: Editora Juarez de Oliveira, 2002.

OLX, apresenta imagens e textos disponíveis em <http://barretos.olx.com.br/pictures/servicos-de-fundicao-iid-173473803>, ultimo aceso em 19/08/2012.

RECUSANI FILHO, A. Estudo das operações de Vazamento. Desmoldagem e rebarbação. In: Curso de Fundição de Ligas não Ferrosas. Associação Brasileira de Metais – ABM, 3. ed. São Paulo, 1974

SCHEUNEMANN, Ricardo. Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo Fenton. 2005. 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

VLACH, Prof. Dr. Silvio Roberto Farias. A Classe dos Tectossilicatos: guia geral da teoria e exercício. 2009. Revista do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - USP. Apresenta textos e imagens em: <http://geologiausp.igc.usp.br/downloads/geoindex597.pdf> Acesso em: 29 maio 2012.

WATANABE, Fabio André. Estudo sobre Utilização de Areia de Fundição como Agregado na Confecção de Pavimento de Concreto. 2004. Tese (Mestrado) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Estado de Santa Catarina, Santa Catarina.

# APÊNDICE

## APÊNDICE A – Questionário aplicado

1. Qual é a principal atividade da sua empresa?
2. Descreva o processo de regeneração com o qual sua empresa trabalha.
3. Quais as medidas tomadas pela sua empresa para reduzir os impactos ambientais causados pelos processos regenerativos?
4. Levando em conta que parte da areia excedente da produção não é possível regenerar, qual é a medida para o descarte correto da mesma?
5. A areia regenerada é utilizada novamente no seu processo produtivo?
6. Qual é o consumo médio de areia reutilizada?
7. É utilizada alguma resina fenólica em seus processos? E silicato de sódio?
8. No processo de regeneração, a descontaminação é de 100%?