



ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UMA EMPRESA DE FUNDIÇÃO

Carlos Alberto Mendes Moraes¹, Amanda Gonçalves Kieling², Daiane Calheiro³, Daniel Canello Pires⁴, Clarissa Arend⁵

¹ NucMat/Unisinos (cmoraes@unisinos.br)

² NucMat/Unisinos (amandakieling@hotmail.com)

³ NucMat/Unisinos (dcalheiro@gmail.com)

⁴ NucMat/Unisinos (dpires88@hotmail.com)

⁵ NucMat/Unisinos (claarend@googlemail.com)

Resumo

A indústria da fundição contribui para a sociedade atendendo a demanda da reciclagem de sucata metálica, mas, ao mesmo tempo, possui um alto risco de impacto ambiental por gerar uma série de resíduos potencialmente contaminantes. Dentre estes, estão a escória e as areias usadas (processo de moldagem de cura a frio) de fundição, classificadas pela ABNT NBR 10.004 como resíduo Classe IIA- não-inerte, e I- Perigoso, respectivamente. O gerenciamento destes resíduos deve ocorrer de forma adequada, buscando minimizar a geração na fonte, adequar a segregação na origem, controlar e reduzir riscos ao meio ambiente e assegurar o correto manuseio e disposição final. Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo elaborar um plano de gerenciamento de resíduos sólidos de uma empresa de fundição tendo em vista conhecer e gerenciar esses resíduos de forma qualitativa e quantitativa. Através de um levantamento de informações sobre o processo produtivo de uma empresa de pequeno porte do ramo de fundição de ferro fundido, foram compilados dados que auxiliaram na determinação do atual cenário organizacional em termos de geração e segregação de resíduos sólidos. Com base nesse conceito de gerenciamento, será criado um ambiente favorável ao desenvolvimento de um programa de Produção mais Limpa, propiciando uma migração para ações mais complexas visando elevação da eficiência do processo, como a minimização e a reciclagem interna destes resíduos.

Palavras-chave: Gerenciamento. Resíduos sólidos. Fundição.

Área Temática: **Tema 4** – Gestão Ambiental na Indústria

Abstract

The foundry industry contributes to society meeting the demand of metal scrap recycling, but, at the same time, it has a high risk of environmental impact for its many potentially pollutant wastes. Among these, there are the slag and used foundry sand (cold box process), classified as waste Class IIA and Class I, respectively, according to the Brazilian Standard ABNT NBR 10.004. The management of these solid wastes should occur appropriately, seeking to minimize it at the source, adjust the segregation, control and reduce risks to the environment and ensure adequate management and disposal. Given the above, this work aims to elaborate a waste management plan for a foundry industry, having in view knowing and managing the waste both in quantity and quality. Through a survey about the production process of a small cast iron company, the collected data was compiled to determine the organizational setting in terms of generation and segregation of waste. Based on this management concept, a favorable environment to the development of a Cleaner Production program will be created, providing a migration to more complex actions aiming at improving process efficiency, such as minimization and internal recycling of the generated wastes.

Key words: Management. Solid Waste. Foundry.

*Theme Area: **Theme 4** – Environmental Management in Industry*



1 Introdução

A indústria da fundição, ao mesmo tempo em que contribui para a sociedade atendendo a demanda da reciclagem de sucata metálica, possui um alto risco de impacto ambiental por gerar uma série de resíduos potencialmente contaminantes. Dentre estes, estão a escória e as areias usadas (processo de moldagem de cura a frio) de fundição, classificadas pela ABNT NBR 10.004 como resíduo Classe IIA - Não-inerte, e I - Perigoso, respectivamente.

No Brasil, o surgimento de legislações específicas, tanto federais como estaduais, refletem a crescente preocupação com a geração de resíduos, bem como o desenvolvimento de estudos e a adoção de medidas de redução de poluentes, por empresas que visam o mercado internacional. Entretanto o setor de fundição é responsável por diferentes tipos de impactos ambientais associados com a geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos, e emissões atmosféricas. (FATTA *et al.*, 2004).

Segundo Diehl (1996), o processo de fundição é um forte consumidor de insumos (entre eles: areia, bentonita, resinas, pó de carvão, tintas, refratários, sucata de ferro fundido), mas ao mesmo tempo contribui para a sociedade reciclando toda espécie de sucata metálica, transformando-a em bens de consumo e de capital. Já de acordo com Deng (2006), o grande problema das empresas de fundição são os seus resíduos sólidos, constituídos em sua maioria das areias usadas na confecção dos moldes e machos, escórias e poeiras.

O método de moldagem mais utilizado em todo o mundo para a produção de peças fundidas é a moldagem em areia (ARMANGE *et al.*, 2005). Estima-se que o índice de consumo de areia para a fabricação de uma peça fundida varia de 0,8kg de areia para cada peça de 1,0kg. As areias utilizadas para confecção dos moldes e machos podem ser extraídas de jazidas de cava ou de rios, sendo considerado um bem não renovável, cujo beneficiamento invariavelmente causa impactos ambientais.

Conforme Silva e Chegatti (2007), na plena capacidade de produção das fundições no Brasil, são descartadas 2 milhões de toneladas/ano de areia, requerendo igual quantidade de areia nova. Em algumas fundições da serra gaúcha, estima-se que o volume de areia de fundição (ADF) descartada esteja em torno de 2.000 t/mês (ALRS, 2007).

A cinza do coque, os produtos de oxidação, refratários consumidos e todos os materiais estranhos que participam - propositalmente ou não - da fusão, contribuem para a formação da escória, resíduo referente à porção sobrenadante no banho líquido de ferro fundido (PIESKE, 1980). A mesma é composta, basicamente, por óxidos de cálcio, silício, ferro e alumínio.

Caspers (1999) e Siegel (1982) estimam que a geração de escória no processo de fundição chegue a 5 kg do resíduo a cada 100 kg de ferro fundido.

A geração de areia usada representa em torno de 90% dos resíduos sólidos de uma fundição de moldagem em areia. Atualmente os estudos estão centrados na minimização de sua geração e reciclagem destes resíduos. Porém, estes estudos têm sido recentes, e por outro lado, o setor de fundição gerou muito resíduo durante os últimos 50 anos dispondo, irregularmente em locais como banhados, e servindo de aterramento de locais para construção de fábricas e inclusive zonas residenciais, entre outros (GARCIA, *et al.*, 2005).

Deste modo, conhecer e gerenciar seus resíduos caracteriza uma atitude que faz parte de empresas que buscam contribuir para o desenvolvimento sustentável, à medida que estas ações têm sido eficientes em relação à redução da degradação ambiental, bem como a adequação à legislação vigente.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo elaborar um plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS) de uma empresa de fundição tendo em vista conhecer e gerenciar esses resíduos de forma qualitativa e quantitativa.



2 Metodologia

Para elaboração do PGRS utilizou-se uma metodologia baseada nas legislações vigentes e adaptada pelo Núcleo de Caracterização de Materiais da Unisinos (NucMat) para este tipo de empreendimento.

A primeira etapa foi conhecer e buscar informações sobre o processo produtivo de uma fundição de ferro fundido do Vale do Rio dos Sinos, considerada uma empresa de pequeno porte de acordo com a Lei Complementar nº 123/2006, para após realizar um diagnóstico ambiental, onde se identificou a situação atual da empresa, se esta possuía licença e/ou pendências ambientais, bem como sua estrutura organizacional (fluxograma) e balanço de massa qualitativo (diagrama de blocos).

Concluída a familiarização, realizou-se um levantamento, por setor, dos resíduos gerados na empresa durante oito meses do ano de 2009. Com a ajuda dos colaboradores, iniciou-se a quantificação dos resíduos e dos equipamentos envolvidos no processo.

O presente estudo concentrou a análise quantitativa da geração da fundição em escória, areia fenólica e areia Shell.

Para analisar os dados foram elaborados diagramas de blocos - entradas e saídas - e fluxograma do processo produtivo. Estes dados foram compilados para a elaboração do plano de gerenciamento de resíduos. Na Figura 1 é apresentado um fluxograma simplificado das etapas para a elaboração do plano.

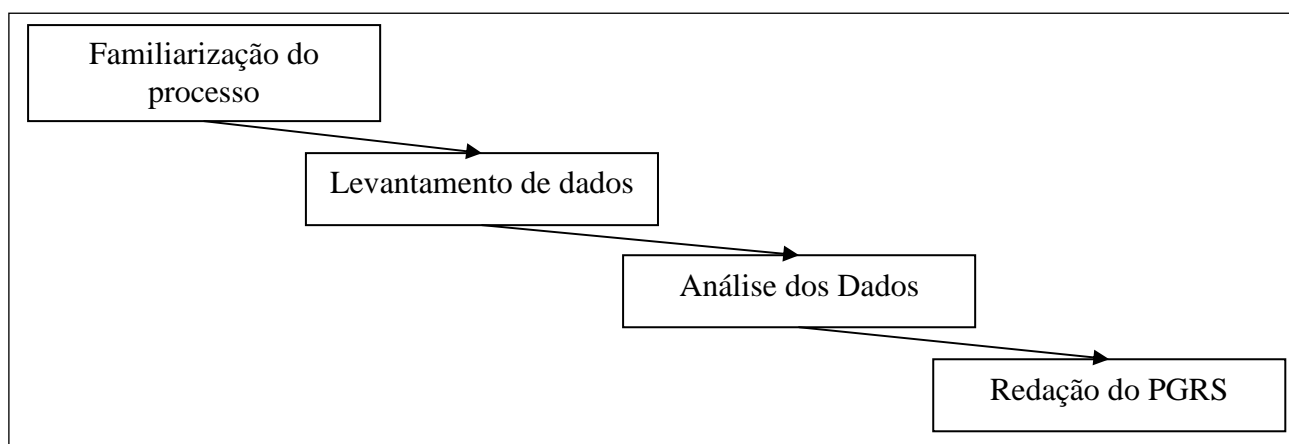


Figura 1: Etapas para a elaboração do plano

3 Resultados e Discussão

Com a qualificação e a quantificação dos resíduos gerados, possibilitou-se uma análise mais profunda dos resíduos focados pelo estudo, podendo estabelecer relações de consumo de insumos e matérias-primas, bem como a criação de indicadores de eficiência do processo.

Juntamente com o plano de gerenciamento, realizou-se uma capacitação dos funcionários voltada para questões ambientais com o objetivo de sensibilizá-los frente à quantidade de resíduos gerados pelo setor de fundição e para haver maior cooperação na coleta dos dados.

A empresa, que possui licença de operação vigente, utiliza ciclo fechado de água para resfriamento, tendo baixa geração de efluentes líquidos.



A Figura 2 expressa o fluxograma geral do processo de produção com Areia Fenólica.

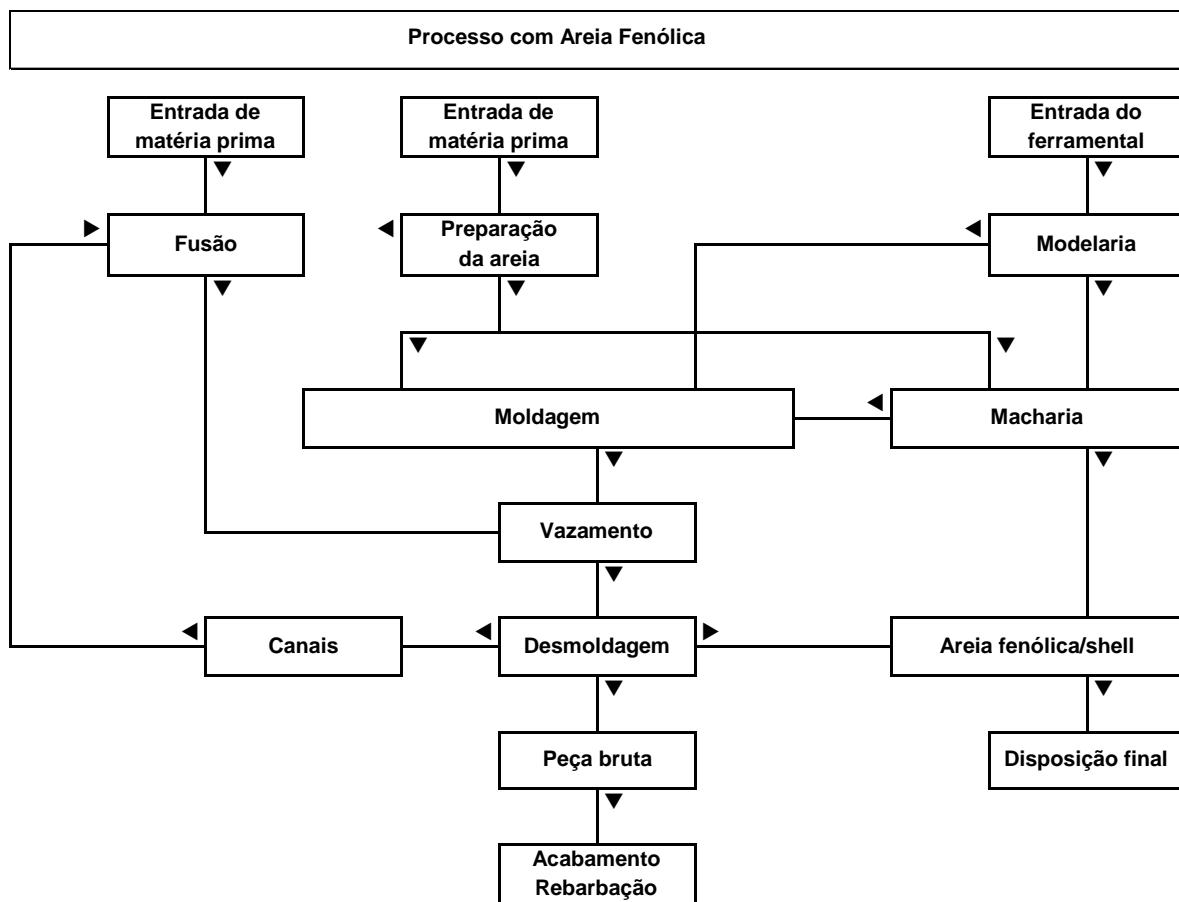


Figura 2: Fluxograma geral do processo com Areia Fenólica

Após analisar a estrutura organizacional do processo produtivo, monitoraram-se as entradas e saídas de todas as etapas do mesmo, como mostra a Figura 3.



BALANÇO DE MASSA QUALITATIVO		
ENTRADAS	ETAPA	SAÍDAS
Madeira, gesso, isopor, massa plástica	Ferramentaria	Refugo, madeira, isopor, embalagens (RS), modelo (P)
Areia, resina fenólica/shell/silicato, carvão grafite, álcool, CO ₂ , ar comprimido, gás butano (cozinha)	Macharia	Areia fenólica, emissões atmosféricas, areia shell, areia silicato (RS), macho (P)
Areia, betonita, carvão mineral água, energia elétrica	Preparação areia	Perdas de transporte (RS), areia preparada (P)
Areia verde preparada, caixa, macho, óleo diesel, energia elétrica	Moldagem	Perdas de transportem (RS), molde pronto (P)
Sucata, ferro gusa, inoculante, estanho, cobre, FeSi granulado, energia elétrica, água, areia fenólica e shell. Ajuste de liga: Mn, Pirita, Grafaloy, FeP, Carbureto de Si, Cr	Fusão (cinzento)	Escória, embalagens (RS), ferro fundido (P)
Sucata, ferro gusa, inoculante, FeSiMg liga 4, energia elétrica, água, areia fenólica e shell. Ajuste de liga: Pirita, Grafaloy, FeP, Carbureto de Si	Fusão (nodular)	Escória, embalagens (RS), ferro fundido (P)
Metal líquido, filtro (depende da peça), caixa, molde, macho, energia elétrica	Vazamento	Escória, filtro (RS), peça vazada (P)
Caixa, molde, macho, peça	Desmoldagem	Peça bruta (P), caixa usada, areia verde usada, macho usado (RS)
Peça bruta, energia elétrica, granalha, disco de desbaste	Acabamento	Peça acabada (P), canais, pó da peça, resíduo metálico (rebarbação), peça de refugo, granalha (RS)

OBS.: P = Produto, RS = Resíduos Sólidos.

Figura 3: Balanço de massa qualitativo de cada etapa

O plano se deu pela quantificação dos principais equipamentos e matérias-primas envolvidos no processo da fundição, sendo os mesmos expressos nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1: Caracterização de equipamentos.

Equipamento	Capacidade	Quantidade
Forno Rotativo	2t	1
Forno Elétrico à Indução	1t	2
Misturador de Areia	0,3t	2
Jato de Granalha Pequeno	0,35t	1
Jatos de Granalha Grande	1t	1

Tabela 2: Listagem de Matérias-Primas

Principais Matérias-Primas	Quant./mês (aprox.)
Ferro-Ligas	25t
Areia Base	119t
Areia Shell	1,5t
Sucatas	36t



Tornou-se necessário também levantar informações sobre a destinação que a empresa dá aos seus resíduos sem um plano de gerenciamento oficialmente estruturado e conforme sua Licença de Operação estabelece, sendo apresentadas nas Tabelas 3 e 4 a seguir.

Tabela 3: Acondicionamento dos Resíduos Sólidos

Tipo de Resíduo	Forma de Acondicionamento	
	Estocagem	Quant./mês (aprox.)
Escória	Disposição em pátio coberto	3,6t
Areia Fenólica		119t
Areia Shell		1,5t

Tabela 4: Destino Final dos Resíduos Sólidos

Tipo de Resíduo	Destino Final
Escória	Disposição em Aterro Industrial
Areia Fenólica	
Areia Shell	

A fundição passou por um momento de transição tecnológica – 2008/2009 – passando a produzir ferro fundido somente com Fornos Elétricos à Indução. Porém, com o aumento da demanda dos pedidos e o volume de peças solicitadas, eventualmente, o Forno Rotativo é acionado para auxiliar a produção. As Tabelas 5 e 6 expressam o consumo médio das matrizes energéticas de cada tipo de forno.

Tabela 5: Consumo de Combustíveis

Equipamento	Combustível	Quant./mês (aprox.)
Forno Rotativo	Óleo BTE / (BPF + Biodiesel)	56l

Tabela 6: Consumo de Energia Elétrica

Consumo médio mensal	KW
Energia Elétrica Forno Indução	88.000

Os dados colhidos na empresa permitiram um comparativo da eficiência de produção e consumo na fundição estudada com as informações expressas na literatura, com o intuito de analisar a situação gerencial da mesma no que concerne os resíduos estudados.

Sendo assim, 1t de ferro fundido gera aproximadamente 30kg de escória. A empresa gera em torno de 3% de escória na fusão do metal via forno a indução, sendo que a literatura cita uma média de 5%, segundo Caspers (1999) e Siegel (1982). Caso toda produção fosse via forno rotativo, esta geração seria bem maior.



Ressalta-se que o consumo de areia base é de aproximadamente 119t por mês, onde produzir 1t de peça fundida consome, aproximadamente, 1,1t de areia fenólica. A empresa utiliza 37% a mais do que o citado na literatura (ARMANGE *et al.*, 2005), identificando um desperdício de matéria-prima e conseqüente aumento na geração final, em especial, de resíduos sólidos.

Observou-se também a falta de relação entre a quantidade de areia gerada e a massa de peça produzida (em kg) – peças mais pesadas, por vezes, consomem menos areia que outras mais leves.

A empresa tem o consumo de aproximadamente 1,5t de areia Shell por mês, considerado baixo, pois grande parte dos machos Shell são fornecidos pelos próprios clientes.

Dificuldades de relacionar a quantidade de matérias-primas consumidas com os resíduos gerados foram encontradas pelo fato de que esta fundição não possuía medidas que padronizassem o processo no que tange a geração de resíduos. Esta situação denota a necessidade da empresa de implementar indicadores ambientais em paralelo a seus indicadores de processo e produto, como número de pedidos por mês recebidos, ou quantidade de ferro fundido em número e toneladas de peças mensais produzidas e aprovadas.

Assim, uma das ações necessárias e urgente, é a disponibilização de maior área para o armazenamento de resíduos sólidos, conforme as normas NBR 11174/1990 (referente ao armazenamento de resíduos classe IIA – não inerte e classe IIB – inerte) e NBR 12235/1992 referente aos resíduos sólidos classe I – perigoso, com o propósito de sistematizar a segregação dos mesmos e incentivar a empresa a aderir um sistema de segregação de resíduos permanente, facilitando o desenvolvimento do plano para a correta e consciente destinação dos mesmos.

Também sugeriu-se o desenvolvimento ou aquisição de um sistema de captação de material particulado e outras emissões atmosféricas em ambos os fornos.

4 Considerações Finais

O programa facilitou o conhecimento de todas as entradas e saídas do processo, permitindo dessa forma que a empresa conheça melhor suas etapas de produção, identificando as áreas que demandam mais atenção do ponto de vista gerencial.

A partir da capacitação ambiental, os colaboradores passaram a contribuir mais positivamente para a construção de um plano de gerenciamento de resíduos adequado para a empresa estudada.

Desta forma, com o encaminhamento das ações propostas será possível implementar ferramentas mais elaboradas da gestão ambiental, como a Produção mais Limpa, prevista para ser implementada na empresa no primeiro semestre de 2010.

Referências

ARMANGE, Luciana Cristina et al. Utilização de Areia de Fundição Residual para uso em Argamassa. **Revista Matéria**. Joinville, n.1, p.51-62, 2005.



ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO RIO GRANDE DO SUL - ALRS, Comissão Especial sobre Lixo. **Tratamento e Inertização das Areias de Fundição**. 2007. Disponível em: <www.al.rs.gov.br/Download/ComEspLixo/Inertizacao_Areias_Fundicao.pdf>.

SILVA, Tatiane Cristina da; CHEGATTI, Schirlene. Comparativo entre os regulamentos existentes para a reutilização de resíduos de fundição. **Revista da ABIFA – Fundição & Matérias-Primas**. Edição 90. São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação**. ABNT, Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11174 – Armazenamento de resíduos Classe II – Não Inerte e III – Inerte**. ABNT, Rio de Janeiro. 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12235 – Armazenamento de resíduos sólidos perigosos**. ABNT, Rio de Janeiro. 1992.

CASPERS, K. H. **Fusão de ferro fundido sintético em forno cubilô**. In: FUNDIÇÃO E SERVIÇOS. Aranda Editora Técnica: Março, 1999.

DENG A, TIKALSKY PE. Metallic characterization of foundry by-products per waste streams and leaching protocols. **Journal of Environmental Engineering**. 2006.

DIEHL, M. D. **Planejamento da Regeneração de Areias de Fundição**. 51º Congresso Anual da ABM . Porto Alegre. 1996.

FATTA D, MARNERI M, PAPADOPOULOS A, SAVVIDES CH, MENTZIS A, NIKOLAIDES L, LOIZIDOU M. Industrial pollution and control measures for a foundry in Cyprus. **Journal of Cleaner Production**, 2004.

GARCIA, A. C. A., MORAES, C. A. M., BERQUÓ, A. R. **Avaliação de impacto ambiental por disposição irregular de areias de fundição – Estudo de caso**. 60º Congresso Internacional da ABM – Belo Horizonte. Julho, 2005.

PIESKE, A.; CHAVES FILHO, L. M.; REIMER, J. F. **Ferros fundidos cinzentos de alta qualidade**. Joinville: SOCIEDADE EDUCACIONAL TUPY, 1980.

SIEGEL, M. **Fundição**. São Paulo: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS, 1982.