

# ELABORAÇÃO DE PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE EMPRESAS DE FUNDIÇÃO DE FERRO FUNDIDO DE PEQUENO PORTE

Carlos Alberto Mendes Moraes<sup>1</sup>

Amanda Gonçalves Kieling<sup>2</sup>

Daiane Calheiro<sup>3</sup>

Daniel Canello Pires<sup>4</sup>

Cynthia Fleming Batalha da Silveira<sup>5</sup>

Ana Cristina de Almeida Garcia<sup>6</sup>

Feliciane Andrade Brehm<sup>7</sup>

## Resumo

A indústria de 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. Entre estes, estão a escória e as areias usadas (em especial aquelas geradas nos processos de moldagem por cura a frio) de fundição. A partir de um diagnóstico ambiental completo realizado em oito fundições de ferro fundido de pequeno porte, uma delas foi escolhida para servir como base na elaboração de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos industriais (PGRSI) de fundição de ferro fundido de pequeno porte, tendo em vista a necessidade de conhecer e gerenciar esses resíduos de forma qualitativa e quantitativa. Através de um levantamento de dados sobre o processo produtivo, estes foram compilados e auxiliaram na determinação do atual cenário organizacional. Com base nisto, torna-se possível criar um ambiente favorável ao desenvolvimento de ferramentas de prevenção de impactos ambientais, propiciando uma migração para ações mais complexas visando elevação da eficiência do processo, como produção mais limpa, a reciclagem interna e externa dos materiais excedentes.

**Palavras-chave:** Gerenciamento ambiental; Resíduos sólidos; Fundição; PGRSI.

## ELABORATION OF MANAGEMENT PLAN OF SOLID WASTE FROM SMALL CAST IRON FOUNDRIES

## Abstract

The foundry industry contributes to society meeting the demand of metal scrap recycling, but, at the same time, it brings a high risk of environmental impact for its many potentially pollutant wastes. Among these, there are slag and used foundry sand (cold cure molding). 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. From a complete environmental diagnosis carried out in eight small cast iron foundries, one of them was chosen to be a basis for the elaboration of an industrial solid waste management plan, which is becoming necessary to know and manage the generation of wastes qualitatively and quantitatively. A data assessment about the production process was carried out and compiled to determine the actual organizational scenario. As a result of that, it is possible to create a favorable environment to develop tools for environmental impacts prevention, which will permit the migration for more complex actions on the direction of more efficient process, cleaner production, and internal and external recycling of exceeding materials.

**Keywords:** Environmental management; Solid waste; Foundry; MPISW.

<sup>1</sup> Engenheiro Metalúrgico, Doutor, Professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Engenharia Mecânica, Núcleo de Caracterização de Materiais – NucMat, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, RS, Brasil. E-mail: cmoraes@unisinos.br

<sup>2</sup> Engenheira de Alimentos, Ms. Professora, Coordenação Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, RS, Brasil. E-mail: amandag@unisinos.br

<sup>3</sup> Gestora Ambiental, Ms, Núcleo de Caracterização de Materiais – NucMat, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, RS, Brasil. E-mail: dcalheiro@unisinos.br

<sup>4</sup> Gestor Ambiental, Ms, Núcleo de Caracterização de Materiais – NucMat, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, RS, Brasil. E-mail: dpires88@hotmail.com

<sup>5</sup> Bióloga, Ms, Núcleo de Caracterização de Materiais – NucMat, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, RS, Brasil. E-mail: cynthiafbs@hotmail.com

<sup>6</sup> Bióloga, Doutora, Professora, Coordenação Curso de Gestão Ambiental, Núcleo de Caracterização de Materiais – NucMat, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, RS, Brasil. E-mail: aagarcia@unisinos.br

<sup>7</sup> Química, Doutora, Professora, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Núcleo de Caracterização de Materiais – NucMat, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, RS, Brasil. E-mail: felicianeb@unisinos.br

## I INTRODUÇÃO

A indústria de 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 negativo, por gerar uma série de resíduos potencialmente contaminantes. Entre estes, estão a escória e as areias usadas (processo de moldagem de cura a frio) de fundição, classificadas pela NBR 10004 [1] como resíduo Classe II A - Não-inerte, e Classe 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, efluentes líquidos, e emissões atmosféricas [2].

Segundo Diehl [3], 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 [4], o grande problema das empresas de fundição são os seus resíduos sólidos, constituídos em sua maioria pelas 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 [5]. 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 kg. 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 Chegatt [6], 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 [7].

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 [8]. A mesma é composta, basicamente, por óxidos de cálcio, silício, ferro e alumínio. Caspers [9] e Siegel [10] 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 são 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 [11].

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

Gaspar *et al.* [12] realizaram uma caracterização em areia quimicamente ligada, usada de fundição, após o processo de regeneração termomecânica, ou seja, removeram a resina existente na areia. A areia utilizada é proveniente do processo de moldagem em areia com resina fenólica alcalina. Os resultados granulométricos mostraram uma grande semelhança entre a areia regenerada termomecanicamente e a areia nova do processo.

Peruffo [13] estudou a viabilidade da utilização da escória de fundição de ferro fundido em fornos cubilô, como coproduto na construção civil, na fabricação de blocos de concreto para pavimentação. Como resultado foi constatado uma uniformidade na massa e nas dimensões dos blocos. Diante a resistência à compressão, os blocos obtiveram valores satisfatórios, próximos ou superiores aos blocos referenciais. Já a resistência ao desgaste à abrasão os blocos obtiveram valores plausíveis, com o desgaste muito inferior ao desgaste normal de uma peça de concreto para pavimentação.

Calheiro *et al.* [14] avaliaram o emprego de areia de fundição fenólica, como substituição parcial de areia natural na produção de concreto. Os resultados indicaram um bom ajuste dos traços de concreto estudados, apresentando coeficiente de determinação de 95%. Os resultados mais satisfatórios foram obtidos para o teor de 10% desta areia.

Este trabalho tem como objetivo elaborar um plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS) de fundição de ferro fundido de pequeno porte, tendo em vista conhecer e gerenciar esses resíduos de forma qualitativa e quantitativa.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para subsidiar a construção do plano de gerenciamento de resíduos sólidos industriais (PGRSI) para Fundição de ferro fundido de pequeno porte foi utilizado o diagnóstico ambiental realizado por Moraes *et al.* [15], onde estes avaliaram um grupo de 21 fundições de vários segmentos metalúrgicos dentro de um projeto Fundi-RS, apoiado pelo Sebrae-RS e Sindimetal da região do Vale do Rio dos

Sinos, RS. Selecionou-se deste, 8 empresas que produzem ferro fundido. Posteriormente optou-se por uma das empresas, que apresentava disponibilidade para a elaboração do PGRSI.

A metodologia utilizada para o PGRSI foi 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 [16]. O diagnóstico ambiental realizado anteriormente identificou a situação atual da empresa, no que se refere à licença e/ou pendências ambientais.

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.

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.

### 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.

Geralmente as empresas de fundição, deste setor não utilizam água no processo produtivo, a não ser em casos de processos de fusão via indução, onde se utiliza

água em circuito fechado para resfriamento, tendo que repor somente água de pela evaporação. Desta forma estas fundições em sua maioria, têm somente geração de efluentes líquidos domésticos. Outra fonte seriam os processos de tratamento térmico de têmpera em água, mas não foi considerado, pois todas as empresas aqui avaliadas não possuem estes processos.

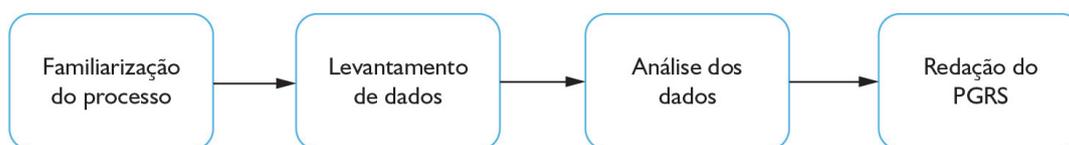
Na Tabela 1 é apresentado parte da avaliação do diagnóstico ambiental desenvolvido por Moraes *et al.* [15] das 8 empresas de fundição de ferro fundido referidas na metodologia deste artigo. Este trabalho contribuiu junto com diagnóstico tecnológico e organizacional para certificar empresas de fundição, grande maioria de pequenas, preocupadas com melhoria contínua de seus processos produtivos, o que resultou no prêmio Fundi-RS de qualidade.

Pode-se observar na Tabela 1, levando em consideração a pontuação máxima, que é de 24 pontos que, nenhuma das 8 fundições analisadas atingiu 50% da pontuação máxima, pois apresentaram muitas deficiências, principalmente, em relação ao gerenciamento de resíduos sólidos, e emissões atmosféricas. Deste modo evidenciou-se naquele momento a importância da busca de alternativas para aumentar a sustentabilidade ambiental deste setor. Outra questão ambiental relevante é que a maioria destas empresas não possuía, na época, licença ambiental. A Lei 12305 de 2010 [17], de acordo com a Política Nacional de Resíduo Sólido, PGRSI é uma das exigências para obter o licenciamento ambiental.

A Figura 2 expressa o fluxograma geral do processo de produção com Areia Fenólica de uma destas fundições que foi escolhida como base para a construção do PGRSI.

**Tabela 1.** Diagnóstico ambiental de fundições de ferro fundido [15]

EMPRESA	Pontuação Ambiental	%
1	6,5	27,1
4	4,5	18,8
6	10,5	43,8
11	11	45,8
14	9,5	39,6
15	4	16,7
16	6	25
17	10	41,7
Total de Pontos Máximos	24	100



**Figura 1.** Etapas para a elaboração do plano.

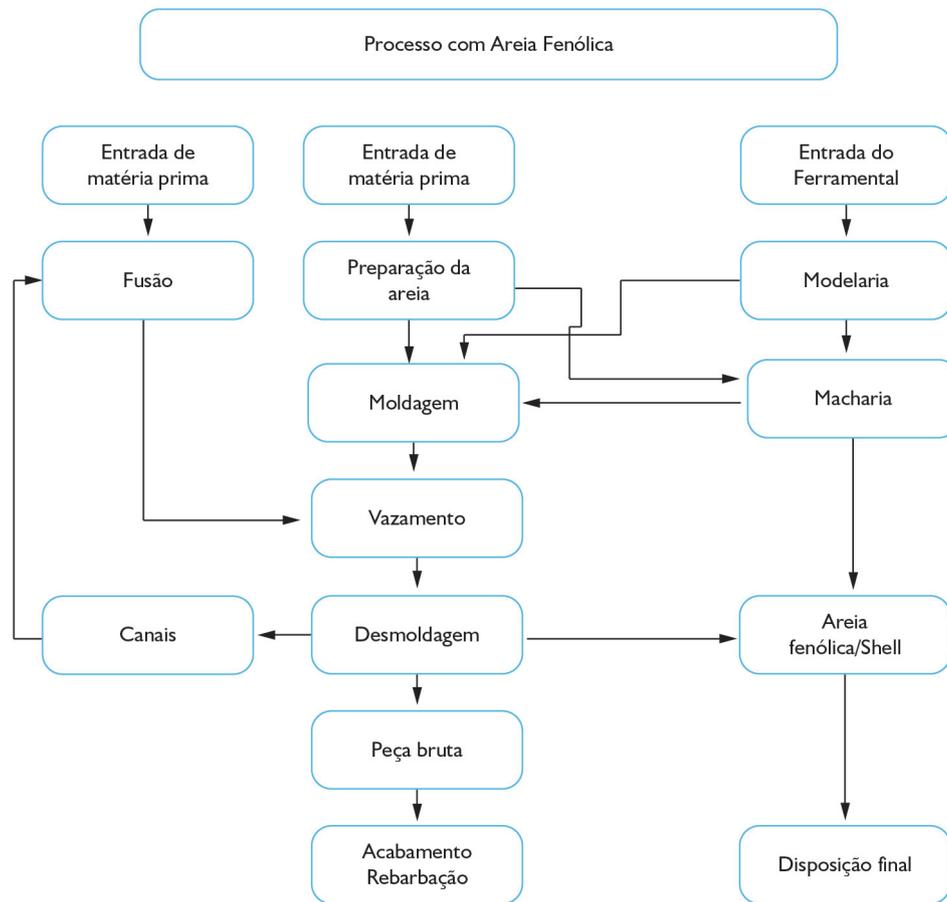


Figura 2. Fluxograma geral do processo com Areia Fenólica.

Quadro I. Balanço de massa qualitativo de cada etapa

BALANÇO DE MASSA QUALITATIVO		
Entradas	Etapas	Saídas
Madeira, gesso, isopor, massa plástica	Ferramentaria	Refugo, madeira, isopor, embalagens (RS), modelo (P)
Areia, resina Fenólica/Shell/Silicato, carvão grafite, álcool, CO <sub>2</sub> , ar comprimido, gás butano (cozinha)	Macharia	Areia fenólica, areia Shell, areia Silicato (P); emissões atmosféricas, resíduos de areia com resina (RS)
Areia, bentonita, carvão mineral, água, energia elétrica	Preparação da areia	Perdas de transporte (RS), areia preparada (P)
Areia verde preparada, caixa, macho, óleo diesel, energia elétrica	Moldagem	Perdas de Transporte (RS), molde pronto (P)
Sucata, ferro gusa, inoculante, estanho, cobre, FeSi granulado, medidor de temperatura, energia elétrica, água, areia fenólica e cápsula de areia Shell, ajuste de liga (Mn, Pirita, Grafaloy, FeP, Carbureto de Si, Cr)	Fusão (cinzento)	Escória, ponteira do medidor de temperatura, embalagens (RS), emissões atmosféricas, material particulado, Ferro fundido (P)
Sucata, ferro gusa, inoculante, FESiMg, liga 4, medidor de teperatura, energia elétrica, água, areia fenólica e Shell, ajuste de liga (Pirita, Grafaloy, FeP, Carbureto de Si)	Fusão (nodular)	Escória, ponteira medidor temperatura, embalagens (RS), emissões atmosférica, material particulado, Ferro Fundido (P).
Metal líquido, filtro (depende da peça), caixa, molde, macho, energia elétrica	Vazamento	Escória, filtro (RS), emissões atmosféricas, Peça vazada (P)
Caixa, molde, macho, peça	Desmoldagem	Caixa usada, areia verde e fenólica usada, macho usado (RS), peça bruta (P)
Peça bruta, energia elétrica, gralalha, disco de desbates, tintas	Acabamento	Canais, pó da peça, resíduo metálico (refugo), granalha (RS), peça acabada (P)

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

Após analisar a estrutura organizacional do processo produtivo, monitoraram-se as entradas e saídas de todas as etapas do mesmo, como mostra o Quadro 1.

O plano foi construído a partir da quantificação dos principais equipamentos e matérias-primas envolvidos nos processos de fundição, respectivamente:

- Um forno rotativo com 2 t de capacidade, dois fornos elétricos a indução com 1 t de capacidade, dois misturadores de areia com 0,3 t, um jato de granalha pequeno 0,35 t de capacidade e um jato de granalha grande com 1 t de capacidade; e
- As principais matérias-primas consumidas mensalmente são: Ferro-ligas 25 t, areia base 119 t, areia Shell 1,5 t e sucatas 36 t.

Tornou-se necessário também levantar dados sobre a destinação que a empresa dava aos seus resíduos, sem um plano de gerenciamento oficialmente estruturado, mas tendo que obedecer as exigências que sua Licença de Operação estabelece. A estocagem mensal dos resíduos: escória (3,6 t), areia fenólica (119 t) e areia Shell (1,5 t) é realizada com disposição em pátio coberto. Até o momento o destino final destes resíduos é o aterro industrial.

A fundição vivenciou um momento de transição tecnológica no período de 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. O consumo médio energético mensal de cada tipo de forno também foi contabilizado, sendo o do forno rotativo, óleo BTE (BPF + Biodiesel) 56L, e 88.000 KW no forno elétrico à indução.

Fez-se 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 em relação aos resíduos estudados.

Sendo assim, 1 t de ferro fundido gera aproximadamente 30 kg de escória. A empresa gera em torno de 3% de escória na fusão do metal via forno à indução, sendo que a literatura cita uma média de 5%, segundo Caspers [9] e Siegel [10]. Caso toda produção fosse via forno rotativo, esta geração seria bem maior.

Ressalta-se que o consumo de areia base é de aproximadamente 119 t por mês, onde produzir 1 t de peça fundida consome, aproximadamente, 1,1 t de areia fenólica. A empresa utiliza 37% a mais do que o citado na literatura [5], identificando um desperdício de matéria-prima e consequente 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 um consumo de aproximadamente 1,5 t de areia Shell por mês, considerado baixo, pois grande parte dos machos Shell são fornecidos pelos próprios clientes.

Houve dificuldade em relacionar a quantidade de matérias-primas consumidas com os resíduos gerados, pelo fato desta fundição não possuir 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 [18] (referente ao armazenamento de resíduos classe IIA – não

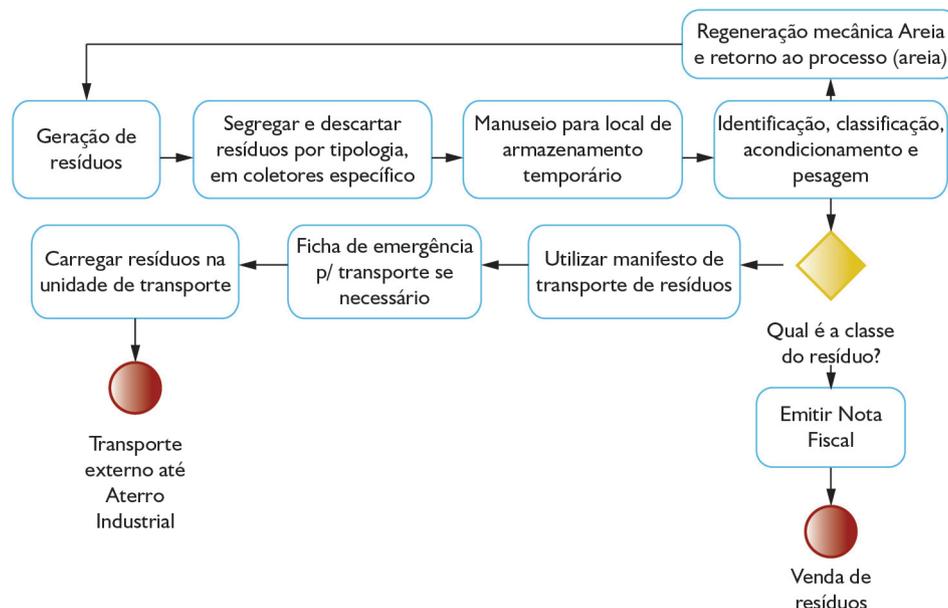


Figura 3. Fluxograma para o gerenciamento dos resíduos sólidos industriais (PGRSI) da Empresa.

inerte e classe IIB – inerte) e NBR 12235 [19] referente aos resíduos sólidos classe I – perigoso, com o propósito de sistematizar a segregação dos mesmos e incentivar a empresa a aderir a um sistema de segregação de resíduos permanente, facilitando o desenvolvimento do plano para a correta e consciente destinação dos mesmos.

Também se sugeriu o desenvolvimento ou aquisição de um sistema de captação de material particulado e outras emissões atmosféricas em ambos os fornos. Durante o processo de implantação do PGRS, foi desenvolvido um fluxograma para o gerenciamento dos resíduos sólidos da Empresa (Figura 3).

A empresa adquiriu um equipamento de regeneração mecânica de areia fenólica usada de fundição, permitindo assim, que parte da areia gerada seja recirculada novamente no processo para a produção de moldes e machos, o que fez com que a empresa reduzisse substancialmente o impacto ambiental deste outrora resíduo sólido, conforme trabalho desenvolvido por Moraes *et al.* [20].

Ainda ocorre a geração de resíduos que são transformados em coprodutos, como alumínio, papelão não contaminados, etc., porém os dados de venda destes produtos não são contabilizados, ocorrendo de uma maneira informal. As gerações destes resíduos são, comparados a escoria e areia, muito menores, o que em termos de impacto ambiental são considerados não relevantes [21].

Considerando o perfil deste setor o PGRSI, apresentado neste artigo, pode ser replicado a qualquer fundição de ferro fundido de pequeno porte respeitando suas particularidades em termos de processo de moldagem, macharia e fusão das ligas ferrosas. E com base nisto, torna-se possível criar um ambiente favo-

rável ao desenvolvimento de ferramentas de prevenção de impactos ambientais, propiciando uma migração para ações mais complexas visando elevação da eficiência do processo, como a minimização, a reciclagem interna e externa destes resíduos.

## 4 CONCLUSÃO

Através dos diagnósticos ambientais nas fundições de pequeno porte de ferro fundido e a aplicação da metodologia do PGRSI em uma delas, foi possível concluir que este método pode ser replicado nas demais, com pequenos ajustes, para adaptação à realidade de cada empresa.

O PGRSI 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, e se tornou possível implementar ações de produção mais limpa nos processos produtivos.

## Agradecimentos

À empresa Metalúrgica Lorscheitter Ltda., ao Sebrae-RS e Sindimetal pelo apoio financeiro, e ao CNPq, FAPERGS, Unisinos e Banco Santander pelas bolsas de pesquisa dos autores.

## REFERÊNCIAS

- 1 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004: Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro: ABNT; 2004.
- 2 Fatta D, Marneri M, Papadopoulos A, Savvides C, Mentzis A, Nikolaidis L, *et al.* Industrial pollution and control measures for a foundry in Cyprus. *Journal of Cleaner Production*. 2004;8(3):314-333.
- 3 Diehl MD. Planejamento da regeneração de areias de fundição. *Anais do 51º Congresso Anual da ABM - Internacional*; 1996; Porto Alegre, Brasil. São Paulo: ABM; 1996. p. 457-476.
- 4 Deng A, Tikalsky PE. Metallic characterization of foundry by-products per waste streams and leaching protocols. *Journal of Environmental Engineering*. 2006;1(6):586-595. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2006\)132:6\(586\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2006)132:6(586))
- 5 Armange LC, Neppe LF, Gemelli E, Camargo NHA. NHA. Utilização de areia de fundição residual para uso em argamassa. *Revista Matéria*. 2005;1:51-62.
- 6 Silva TC, Chegatti S. Comparativo entre os regulamentos existentes para a reutilização de resíduos de fundição. *Revista da ABIFA*. 2007;90.
- 7 Assembleia Legislativa do Rio Grande do Sul, 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](http://www.al.rs.gov.br/download/comesplixo/inertizacao_areias_fundicao.pdf).
- 8 Pieske A, Chaves F, Montenegro L, Reimer JF. Ferros fundidos cinzentos de alta qualidade. Joinville: Sociedade Educacional Tupy; 1980.
- 9 Caspers KH. Fusão de ferro fundido sintético em forno cubilô. *Fundição e Serviços*. 1999;75:34-49.
- 10 Siegel M. Fundição. São Paulo: Associação Brasileira de Metais; 1982.

- 11 Garcia ACA, Moraes CAM, Berquó AR. Avaliação de impacto ambiental por disposição irregular de areias de fundição: estudo de caso. In: Anais do 60º Congresso Anual da ABM - Internacional; 2005; Belo Horizonte, Brasil. São Paulo: ABM; 2005. p. 2722-2732.
- 12 Gaspar RC, Calheiro D, Oliveira KR, Brehm FA, Moraes CAM. Caracterização de areia de fundição via tratamento de regeneração termo-mecânico. Anais do 63º Congresso Anual da ABM - Internacional; 2008; Santos, Brasil. São Paulo: ABM; 2008. p. 3713-3724.
- 13 Peruffo V. Estudo da viabilidade de utilização de escória granulada de fundição na confecção de blocos de concreto para pavimentação [trabalho de conclusão de curso]. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Curso de Engenharia Civil; 2008.
- 14 Calheiro D, Metz DC, Kulakowski MP, Moraes C. Avaliação da reciclagem de areia fenólica-alcálica usada de fundição (AF) na produção de concreto. Anais do 65º Congresso Anual da ABM - Internacional; 2010, Rio de Janeiro, Brasil. Rio de Janeiro: ABM; 2010. p. 3260-72.
- 15 Moraes CAM, Ely EE, Rocha L, Simon J, Kessler S, Silveira C et al. Avaliação da gestão empresarial, tecnológica e ambiental em empresas de fundição como ferramentas para aumento de competitividade no setor: O Caso do Projeto Fundi-RS. Anais do 13º Congresso de Fundição da ABIFA – CONAF; 2007; São Paulo, Brasil. São Paulo: ABIFA; 2007. p. 1-14.
- 16 Brasil. Lei complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006. Institui o Estatuto Nacional da Microempresa e da Empresa de Pequeno Porte. Casa Civil. 2006 [27 fev. 2012]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LCP/Lcp123.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LCP/Lcp123.htm).
- 17 Brasil. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 3 ago. 2010. Seção I, p. 3.
- 18 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11174: Armazenamento de resíduos: Classe II – Não Inerte e III – Inerte. Rio de Janeiro: ABNT; 1990.
- 19 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12235: Armazenamento de resíduos sólidos perigosos. Rio de Janeiro: ABNT; 1992.
- 20 Moraes CAM, Calheiro D, Pires DC, Nunes SS, Lorscheitter G. Avaliação dos aspectos e impactos ambientais de uma indústria de fundição. Anais do 65º Congresso Anual da ABM - Internacional; 2010; Rio de Janeiro, Brasil. Rio de Janeiro: ABM; 2010. p. 2979-2988.
- 21 Pires DC, Kieling AG, Calheiro D, Simon L, Arend CO, Moraes CAM. Avaliação de areia fenólica usada de fundição regenerada em escala industrial por método mecânico. Anais do 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente; 2012; Bento Gonçalves, Brasil. Nova Santa Rita: Proamb; 2012.

Recebido em: 02/04/2012

Aceito em: 08/10/2013