

# ASPECTOS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICOS DO DESENVOLVIMENTO DE COPRODUTOS DE FUNDIÇÃO<sup>1</sup>

Carlos Alberto Mendes de Moraes<sup>2</sup>

Suzete Schneider Nunes<sup>3</sup>

Johny Severo<sup>4</sup>

Leandro Moosher<sup>4</sup>

## Resumo

A indústria de fundição pode ser considerada como paradoxal no contexto ambiental, pois, ao mesmo tempo em que é uma indústria recicladora quando reaproveita sucata em seu processo produtivo, também utiliza enormes quantidades de recursos naturais não renováveis, como areia, gerando um montante considerável de resíduo a ser descartado. Os estudos realizados em relação à regeneração destas areias são motivados por fatores de ordem social, econômica e ambiental. A relevância do tema levou à elaboração de normalização específica que, aliada a estudos realizados de avaliação de impactos ambientais em áreas onde houve descarte do resíduo, servirá de ferramenta para a correta aplicação do resíduo areia de fundição usada como um coproduto. Este trabalho tem como objetivo traçar um panorama do gerenciamento das areias descartadas de fundição, com ênfase na questão ambiental e nas alternativas buscadas pelas empresas para a minimização, recuperação e destinação final dada às areias usadas. Destaca os processos de reciclagem como caminho para sustentabilidade do setor e as aplicações da areia usada como coproduto para o próprio processo de fundição e em diversos segmentos da construção civil, tais como: fabricação de bloquetes de pavimentação, misturas asfálticas, cerâmicas, entre outros.

**Palavras-chave:** Fundição; Reciclagem; Benefícios ambientais; Coproduto.

## ENVIRONMENTAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF FOUNDRY BYPRODUCTS

### Abstract

The Foundry Industry can be considered a paradox concerning the environmental context, at the same time this sector recycles metallic scrap, also needs huge amounts of non renewable natural resources, such as sand, generating considerable amounts of solid waste. Studies in relation to the regeneration of these sands are motivated by factors of social, economic and environmental. The relevance of this theme contributed to the elaboration of specific normalization, which linked to some studies about environmental impacts in land with discarded used sand, will contribute to the adequate transformation of this solid waste as a byproduct. This work has the aim of mapping the management of discarded used sand from foundries, emphasizing the environmental issue and the possibilities of minimization, reclamation and better final destination of this material. The analysis shows the path to sustainability is related to regeneration of sands and its use back to its molding or core making process, and also in some segments of civil construction such as pavement blocks, asphaltic mixtures, ceramics between others.

**Key words:** Foundry; Recycling; Environmental benefits; Byproduct.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Prof. Dr. – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – Núcleo de Caracterização de Materiais (NucMat) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos -Unisinos.

<sup>3</sup> Bióloga- Universidade do Vale do Rio dos Sinos-Unisinos.

<sup>4</sup> Engenheiro Mecânico - Universidade do Vale do Rio dos Sinos- Unisinos.

## 1 INTRODUÇÃO

As altas taxas cobradas para utilização de aterros de resíduos industriais, somadas aos anseios dos órgãos ambientais para redução destes resíduos, têm incentivado o estudo de processos para reciclagem e reutilização das areias de fundição. Segundo a ABNT NBR10004: 2004,<sup>(1)</sup> as areias descartadas de Fundição - ADF, conforme os tipos de insumo utilizados na mistura podem ser classificados como resíduos classe I ou classe II A. Segundo a ABIFA, estima-se que no Brasil o descarte das ADF represente cerca de dois milhões de toneladas por ano. A importância deste resíduo resultou na publicação em 2011 da ABNT NBR 15984:2011,<sup>(2)</sup> Areia Descartada de Fundição – Central de processamento, armazenamento e destinação – (CPAD), o que representa um avanço no gerenciamento das ADF para a areia verde. Porém, ainda há uma grande quantidade de areias usadas ligadas a resinas orgânicas que precisam de solução, e não podem ser avaliadas como as areias verde usadas, porque ou elas conferem periculosidade ao resíduo gerado ou são impossibilitadas de serem recicladas na construção civil por interferirem negativamente nas propriedades dos produtos.

O Brasil ocupa hoje a sétima posição no ranking dos maiores produtores mundiais de fundidos,<sup>(3)</sup> e tem como importante matéria prima a areia que é um recurso natural não renovável. Em muitos casos, após seu uso o descarte acaba sendo feito em aterros não licenciados pelos órgãos de controle ambiental, representando grande impacto para o meio ambiente. A regeneração e desenvolvimento de coprodutos utilizando as ADF podem se mostrar, neste caso, como alternativas ambientais e economicamente viáveis para a reinserção destes materiais em diferentes processos produtivos a partir de sua adequação como coproduto.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Aspectos e Impactos da Geração de Areias Usadas de Fundição

Segundo o Anuário Mineral Brasileiro do Dep. Nacional de Produção Mineral – DNPM, no Brasil a produção de areia até o de 2005 foi de 238 milhões de toneladas e suas reservas estão estimadas em 2,7 bilhões de toneladas. A possibilidade de exploração está sendo cada vez mais limitada, tornando incertas as perspectivas de garantia de suprimento futuro.<sup>(4)</sup>

Nesse contexto, observa-se, cada vez mais, a inclusão de novas tecnologias em vários setores industriais com objetivo de reduzir os impactos ambientais causados por suas atividades. A adoção de medidas na busca pela minimização da geração destes e de outros resíduos pode contribuir para a redução e solução dos problemas ambientais em curto, médio e longo prazo dependendo do nível de impacto associado.<sup>(5)</sup> Um bom exemplo da aplicação dessas medidas é apresentado por Pires,<sup>(5)</sup> onde as caixas de moldagem em areia fenólica de formato tradicionalmente retangular, foram substituídas por caixas de formato circular, conforme demonstrado na Figura 1, o que eliminou a quantidade de areia desnecessária que preenchia os cantos das caixas de formato retangular, demandando um menor consumo de areia fenólica para a fusão da mesma peça.



Figura 1 - À esquerda os moldes retangulares substituídos pelos moldes redondos à direita.<sup>5)</sup>

Os aspectos ambientais com adoção dessa medida incluem a diminuição no consumo de areia base, de resina fenólica e de catalisador, promovendo menor geração de resíduos.

Os impactos ambientais negativos também são reduzidos, pois há menor consumo de recursos naturais não renováveis, e por consequência a disposição dos resíduos em aterros industriais e a contaminação da água e do solo também diminui.

O benefício chega a atingir 3,8 t de areia fenólica preparada por ano que deixa de ser consumida. Por caixa foi possível economizar 38 kg de areia preparada com resina, os benefícios econômicos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Benefício econômico por caixa moldada<sup>(5)</sup>

|                                  |          |
|----------------------------------|----------|
| Quantidade de areia desperdiçada | 38 kg    |
| Custo por kg de areia fenólica   | R\$ 0,14 |
| Benefício econômico por caixa    | R\$ 5,32 |

Assim, no âmbito da indústria metal mecânica, a reciclagem das ADF em substituição à extração da areia natural, utilizada como coproduto, vem trazendo muitos benefícios ainda não tão divulgados.

Nessa perspectiva, a regeneração das ADF aparece como uma alternativa desejável tanto pela sociedade no geral, como pelas empresas, que terão na regeneração uma utilidade para um material antes inutilizado, em função de sua composição, podendo em alguns casos obter ganhos ou ter seus custos reduzidos pela disposição em aterros licenciados.

A contaminação das areias de fundição se dá em função de matérias não reagidas, catalizadores, solventes e polímeros solúveis, que são adicionados durante o processo de moldagem. A Figura 2 apresenta as quantidades de ADF geradas no ano de 2005 no Estado do Rio Grande do Sul, de acordo com os processos de moldagem utilizados. As areias verdes constituem aproximadamente 74% do volume total das areias geradas na fundição de ferro.

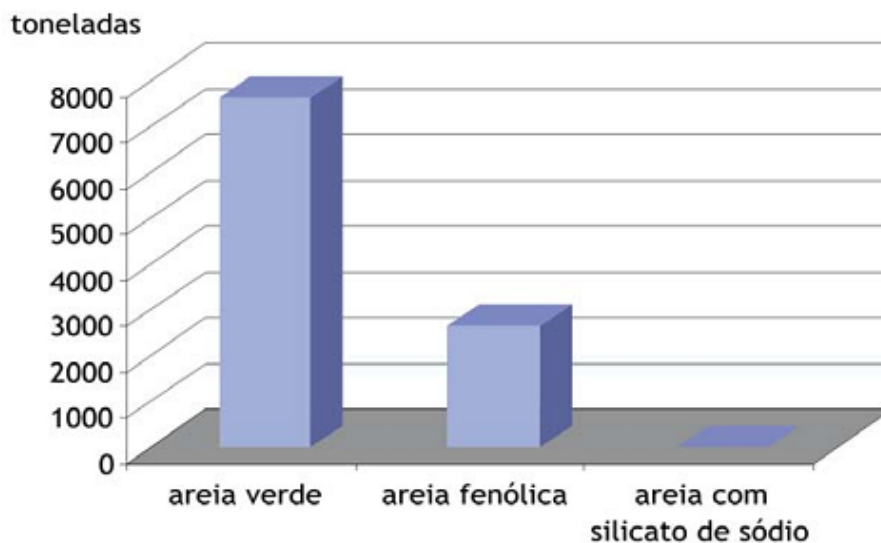


Figura 2: Quantidade de ADF gerada no RS por processo em 2005.<sup>(6)</sup>

Segundo a ABNT NBR10004:2004,<sup>(2)</sup> a classificação das ADF conforme os insumos utilizados na mistura podem ser de duas maneiras: Resíduo Classe I – Perigoso, no caso das areias contaminadas com resinas fenólicas ou Resíduo Classe II A – Não Inertes, no caso da areia verde.

Acredita-se que no futuro a disposição das ADF em aterros industriais não será mais viável devido à legislação cada vez mais rigorosa, e também em função dos encerramentos cada vez mais rápidos dos aterros disponíveis. As fundições deverão se sensibilizar com este problema através do desenvolvimento de mercados para utilização das ADF na indústria da construção civil, bem como, instalando sistemas de regeneração de areia que permitam seu reuso no próprio processo de fundição.<sup>(6)</sup> Outro aspecto relacionado ao termo “Areias Descartadas de Fundição”, é o fato de unificar este resíduo numa única terminologia. Isso tem levado a interpretações equivocadas, inviabilizando muitas vezes, técnica, ambientalmente e economicamente a correta aplicação deste resíduo. Mesmo em publicações sobre o tema, caso não conste nos artigos a correta descrição da areia e o processo de moldagem onde é gerada, não será possível a correta classificação e aplicação desse resíduo.

Uma grande dificuldade na gestão dos resíduos de fundição está relacionada com o dinamismo dessa atividade, pois além da grande diversidade de processos de fundição, cada empresa está constantemente modificando e ajustando o sistema de ligante das areias, resultando em composições de resíduos muito diversificados.<sup>(7)</sup>

A ABNT NBR 15984<sup>(2)</sup> – Areia Descartada de Fundição- Central de Processamento, Armazenamento e Destinação – (CPAD), informa que um dos itens mais relevantes antes de quaisquer interpretações é que somente se aplica esta norma às ADF classificadas como classe IIA conforme ABNT NBR 10004: 2004.<sup>(1)</sup> Ao se fazer uma análise mais criteriosa da NBR 10004 onde as areias de fundição são classificadas como Resíduo Não Perigoso (Anexo H) com o código A016, o mesmo anexo traz a seguinte nota: Excluídos aqueles contaminados por substâncias constantes nos anexos C, D ou E que apresentem características de periculosidade.

Como definir então critérios para avaliar as características de periculosidade de uma areia de fundição? Seria o tipo de matéria prima adicionada para confecção dos moldes? Se a areia que vai ser descartada tem resina e catalisador então é Classe I,

se é areia verde é classe II? Mas se a areia verde foi contaminada durante o processo de vazamento em processos que utilizam sucatas?

A correta caracterização das ADF permitirá uma adequação da terminologia viabilizando a correta destinação final ou determinada aplicação deste resíduo como um coproduto.

## 2.2 Regeneração de Areias Usadas de Fundição

O processo de regeneração consiste em devolver as características de areia-base nova a uma areia já utilizada.

De acordo com Mariotto,<sup>(8)</sup> não se deve confundir regenerar com recuperar ou recircular. A recirculação da areia usada no próprio sistema que a gerou requer tratamentos como desagregação de grumos, remoção de poeiras e remoção de materiais metálicos, que em seu conjunto constituem o que no Brasil denomina-se recuperação da areia usada.

A regeneração de uma areia de fundição implica na limpeza superficial de seus grãos (destacamento das substâncias aderentes) e remoção das partículas resultantes dessa limpeza, com o objetivo de reconduzir a areia usada a uma condição semelhante à de uma areia nova, permitindo sua reutilização no processo sem prejudicar a qualidade dos moldes ou machos produzidos.

A regeneração de uma dada areia usada consiste de uma sequência de tratamentos específicos e deve contemplar as seguintes etapas:

- 1º desagregação de torrões e grumos;
- 2º remoção de resíduos metálicos, óxidos e gotas;
- 3º limpeza superficial, remoção de resíduos de aglomerantes, aditivos e produtos de decomposição aderidos aos grãos;
- 4º classificação. Etapa onde se deve restabelecer a granulometria desejada.

Atualmente, existem basicamente três processos de regeneração que podem ser utilizados isoladamente ou combinados para tratamento das areias usadas de fundição. São eles: mecânico, térmico e químico.

### 2.2.1 Regeneração mecânica

Consiste na agitação por meios mecânicos, onde as ligações entre os grãos são quebradas pelo impacto ou atrito entre os próprios grãos e entre as partes do equipamento.

Os equipamentos utilizados para este tipo de regeneração apresentam um custo relativamente baixo, porém, a eficiência deste tipo de regeneração não é muito alta, pois para melhorar a quebra das ligações entre os grãos, deve-se aumentar a energia de atrito, o que acaba por aumentar também o teor de finos.<sup>(9)</sup>

O processo de regeneração mecânica pode ser realizado em via úmida, onde as ligações entre os grãos também são quebradas pelo impacto e atrito entre os próprios grãos e entre as partes do equipamento. Na Regeneração Via Úmida, a agitação do material se dá através da suspensão em água.

Este tipo de tratamento é bastante eficiente, pois é beneficiado pela ação solvente da água. Porém, seu custo é elevado devido o tipo de equipamento utilizado e o posterior tratamento de neutralização do aglomerante na massa de água utilizada<sup>(9)</sup>.

### 2.2.2 Regeneração térmica

No processo térmico, uma determinada massa de areia é aquecida para decomposição de resíduos orgânicos, calcinação de resíduos minerais a fim de

torná-los inertes e secagem de resíduos argilosos, facilitando sua remoção por meios mecânicos.

Existem atualmente dois tipos de regeneradores térmicos: Fornos Rotativos e via Leito Fluidizado.

A eficiência da regeneração térmica é bastante alta, porém, seu custo também é elevado, pois, além do equipamento ser muito complexo do ponto de vista tecnológico, tem-se ainda o custo do combustível ou da energia elétrica para prover o aquecimento necessário a este processo.<sup>(9)</sup>

Uma desvantagem do tratamento térmico é a emissão de gases devido á calcinação de matéria orgânica.

### 2.2.3 Regeneração termo-mecânica

Este processo visa obter melhores resultados em relação às regenerações mecânicas e térmicas separadamente. Neste caso a areia passa pelos processos de destorroamento, regeneração mecânica e posteriormente pela regeneração térmica. A tendência é que toda a resina que permanece após a regeneração mecânica possa ser totalmente eliminada com o acréscimo da regeneração térmica.

Observando os resultados encontrados nos processos de regeneração, mecânica e térmica, percebe-se que ambos, quando aplicados sozinhos, não satisfazem totalmente a intenção de regeneração, que é a máxima limpeza dos grãos da areia usada. A regeneração térmica apresenta melhores resultados quando comparada com a regeneração mecânica, porém deve-se salientar que as fissuras e cavidades presentes em grãos irregulares tornam-se pontos de ancoragem para a resina, dificultando sua limpeza na regeneração mecânica e necessitando de um tempo maior na regeneração térmica, o que pode aumentar o custo deste processo.<sup>(10)</sup>

A sequência de regeneração mecânica mais térmica mostrou ser a mais eficiente entre os processos apresentados isoladamente, mesmo que não muito superior ao tratamento somente térmico. Por isso, é necessário analisar se somente o tratamento térmico não compensa, devido ao seu resultado ser muito próximo do termo-mecânico e este desprender mais tempo e certamente maior custo.<sup>(10)</sup>

### 2.2.4 Regeneração química

No processo químico, a matéria orgânica é destruída através de um processo de oxidação avançada conhecido como Processo Fenton, o qual utiliza uma mistura de peróxido de hidrogênio e um íon ferroso, gerando radicais hidroxil altamente reativos que atacam e destroem a matéria orgânica. A sua grande vantagem é que os contaminantes são destruídos quimicamente em vez de sofrerem apenas uma mudança de fase. Dependendo da extensão da oxidação, pode até atingir a total mineralização dos compostos orgânicos e obter CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e sais inorgânicos.<sup>(11)</sup>

A regeneração via Processo Fenton também apresenta um custo elevado, pois além do custo dos reagentes utilizados no processo, assim como na regeneração em via úmida é necessário o posterior tratamento dos efluentes.

### 2.2.5 Avaliação dos processos de regeneração

Segundo Mariotto,<sup>(8)</sup> a eficiência da regeneração está ligada ao grau de limpeza dos grãos obtidos com um dado processo de tratamento. O grau de limpeza obtido é função de parâmetros de processo, tais como intensidade da ação mecânica, temperatura e tempo de tratamento.

Podem-se adotar vários critérios para expressar a eficiência da regeneração:

1. Se as capas aderentes aos grãos são essencialmente orgânicas a eficiência do tratamento de regeneração pode ser expressa, por exemplo, pela redução relativa da perda ao fogo, conforme demonstrado na equação 2.1.

$$ER = \frac{(PFu - PFr)}{PFu} \cdot 100 \quad (2.1)$$

2. Para a regeneração de areias aglomeradas com argila pode-se adotar como critério o percentual de aumento da resistividade elétrica, conforme demonstrado na equação 2.2.

$$ER = \frac{(\rho u - \rho r)}{\rho u} \cdot 100 \quad (2.2)$$

3. Em qualquer caso, o critério final deverá ser ligado ao desempenho da areia regenerada na sua aplicação final, por exemplo, a relação entre a resistência mecânica de machos feitos com areia regenerada e a resistência obtida com areia nova, conforme demonstrado na equação 2.3.

$$ER = \frac{\sigma r}{\sigma n} \cdot 100 \quad (2.3)$$

O rendimento de regeneração refere-se à quantidade Q, de areia regenerada que é obtida a partir de uma dada quantidade de areia usada submetida ao tratamento de regeneração, conforme demonstrado na equação 2.4.

$$\eta = \frac{Qr}{Qn} \cdot 100 \quad (2.4)$$

A Tabela 2 resume os valores de rendimento, calculados a partir de dados relatados por alguns fabricantes e usuários, dos vários tipos de equipamentos empregados para a limpeza dos grãos de areia.

**Tabela 2** - Faixas de rendimento de regeneração por processo<sup>(8)</sup>

| Tipo de Tratamento          | Areia Ligada Quimicamente | Areia Verde     |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------|
| Térmico (Leito Fluidizado)  | 96% a 99%                 | Não recomendado |
| Térmico (Forno Rotativo)    | 90% a 92%                 | 90% a 92%       |
| Mecânico (alta intensidade) | 80% a 95%                 | 65% a 75%       |
| Químico – Processo Fenton   | -                         | -               |

### 2.3 Utilização da Areia Usada de Fundição como Coproduto

Sabe-se que em muitos casos somente a regeneração das ADF não é suficiente para sanar o problema de descarte desses resíduos. Atualmente existem muitos estudos buscando novas tecnologias para a utilização das ADF como coproduto nas mais diversas áreas. Esses resíduos são utilizados com o objetivo de agregar valor a um novo material.

Algumas pesquisas provaram que alguns tipos de resíduos industriais (resíduos siderúrgicos – pós de exaustão e areias de fundição) com argila natural podem ser usados para a fabricação de cerâmica vermelha (tijolos, telhas, pisos, azulejos, etc.) de construção civil.<sup>(12)</sup>

Saturde et al.<sup>(13)</sup> utilizaram ADF para produzir tijolos de cerâmica e obtiveram resultados positivos tanto nas características mecânicas quanto ambientais.

Guney, Aydilek e Dermirkan<sup>(14)</sup> testaram e aprovaram a aplicabilidade do uso das ADF alteradas com cimento e cal como sub base para pavimentação de estradas. Tal aprovação se deu após a realização de testes mecânicos e de lixiviação realizados simulando o efeito das condições de inverno, onde foram examinados por realização de condutividade hidráulica e testes de pressão sobre as amostras após uma série de ciclos de congelamento e degelo. Os resultados foram satisfatórios e, por vezes melhores, quando usadas matéria-prima virgem ao invés da ADF como coproduto.

Já Silva et al.<sup>(15)</sup> estudaram a influência do emprego das ADF nas propriedades no estado fresco e endurecido de misturas cimentícias e encontraram resultados que indicaram um aumento no teor de ar incorporado, fissuração por reações expansivas e consequente redução de resistência. Mas o resultado deste trabalho é limitado aos materiais empregados no mesmo. Por fim, considerando os materiais empregados nesta pesquisa, os autores concluem que a utilização das ADF em concreto são inadequadas, pois prejudicam não apenas a resistência mecânica, mas também a durabilidade do material.

Núñez, Morae e Brehm<sup>(16)</sup> e Costa<sup>(17)</sup> realizaram trabalhos que mostram que o uso das ADF composta de areia verde e do processo de cura a frio com resina fenólico-alcalina pode substituir a areia de rio como componente de concreto asfáltico, onde a areia de fundição contribui para reduzir levemente a fragilidade das misturas asfálticas, sendo aprovadas nas avaliações mecânicas e ambientais.

Apesar de existirem estudos para aplicação de ADF nas mais diversas áreas observa-se que a grande maioria tem focado na construção civil, em especial no caso de areia verde. As razões para isso podem estar relacionadas à maior capacidade de absorção da quantidade gerada no Brasil, o baixo custo do material, redução de impacto ambiental negativo em termos de extração de areia de rio (utilizada na construção civil). Com relação a areia usada contendo resina fenólica, tem-se alguns trabalhos que estudam a viabilidade de usá-la também na construção civil, porém com um cuidado maior, pois é necessário coibir a lixiviação do fenol presente no produto produzido com esta areia. A Tabela 3 apresenta um resumo de aplicação das areias usadas de fundição como coproduto.



**Tabela 3**–Resumo aplicação areias usadas de fundição como coproduto<sup>(18)</sup>

| Autor                 | Tipo de Fundição           | Classificação Ambiental | Aplicação                            |
|-----------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| TOLEDO, 2006          | Não especificado           | -                       | Cerâmicas, telhas e tijolos          |
| PIOVESAN et al., 2008 | Areia Verde + cura química | Classe I                | Blocos de concreto para pavimentação |
| KLINSKY, 2008         | Areia de cura química      | Classe I                | Sub-bases e bases de rodovias        |
| SIDDIQUE et al., 2008 | Não especificado           | -                       | Concreto                             |
| BAKIS et al., 2006    | Não especificado           | -                       | Concreto asfáltico                   |
| PANAZOLLO; 2007       | Areia Verde                | Classe IIA              | Blocos de concreto para pavimentação |
| BRAGANÇA et al., 2006 | Areia de cura química      | Classe I                | Cerâmica branca triaxial             |
| BITENCOURT, 2006      | Areia Verde + cura química | Classe I                | Concreto                             |
| NUNES et al., 2007    | Areia Verde + cura química | Classe I                | Misturas asfálticas                  |

### 3 CONCLUSÕES

Antes mesmo de estudar-se o desenvolvimento ou o uso de um coproduto de fundição, é preciso analisar e, se for o caso, corrigir o processo interno fabril de cada empresa. É nesse momento que busca-se a mudança de visão em todos os setores da empresa, propondo os conceitos de Produção mais Limpa.

A premissa básica da eliminação dos resíduos durante o próprio processo de produção ainda parece ser a melhor alternativa para as fundições brasileiras.

No quesito ADF, apesar dos esforços da comissão de elaboração da ABNT NBR 15984:2011,<sup>(2)</sup> a norma atenderá somente em parte as fundições brasileiras, pois a disposição do resíduo contaminado com resina fenólica, classificado pela ABNT 10004 como Classe I - Perigoso, continuará tendo de ser feita somente em aterros industriais, pois a norma estabelece parâmetros somente para utilização de resíduo classe II A.

A Regeneração das ADF Classe I, bem como a utilização das ADF Classe II como coproduto, torna-se fundamental para crescimento sustentável do setor de fundição, que além de contribuir para economia de recursos naturais, gera ganhos econômicos reduzindo a utilização de areia nova através da regeneração, melhora a imagem desse setor produtivo em termos de sustentabilidade ambiental, e contribui com outros setores, como o da construção civil.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES e Fundação Milton Valente pelas bolsas de mestrado dos autores.

### REFERÊNCIAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2004. NBR 10004 – Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, ABNT, p. 21.

- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2011. NBR 15984 – Areia Descartada de Fundação – Central de processamento, armazenamento e destinação – (CPAD). Rio de Janeiro, ABNT, p. 17.
- 3 MODERN CASTING – Census 2009. Disponível em: <<<http://www.moderncasting.com/images/stories/Census/2009census.pdf>>. Acesso em 05.jan..2011.
- 4 AZEVEDO, L.G.; RIBEIRO, M.M.; SILVA, R.G. Avaliação Econômica de Areia Extraída em Cursos d'água: o caso do Rio Paraíba. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.11, n.2, p.199-211, 2009.
- 5 PIRES, Daniel Canello. Aplicação da análise do fluxo de materiais em uma indústria de fundição com produção mais limpa. 2011. 157 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, RS, 2011.
- 6 ADEGAS, Roseane Gonçalves; BERNARDES, Andrea Moura. Avaliação do gerenciamento das areias geradas nas fundições de ferro do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. FEPAM em Revista, Porto Alegre, v.2, n.1, p.4-10, jan./dez. 2008.
- 7 MOREIRA, Maria Teresa P. O. T. Contaminação Ambiental Associada às Areias de Fundação. 2004. 235 f. Portugal. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. 2005.
- 8 MARIOTTO, C. L. Regeneração de Areias: Uma Tentativa de Discussão Sistemática. Fundação & Matérias-Primas: Caderno Técnico, p. A a T, 2000.
- 9 FERNANDES, D. L. Areias de fundição aglomeradas com ligantes furânicos. Itaúna: SENAI-DR.MG, 2001.
- 10 MOOSHER, L., MORAES, C.A.M. Regeneração de areia de fundição por método termo-mecânico. In. CONGRESSO ANUAL da ABM, 65, 2010, Rio de Janeiro. Resumos. Rio de Janeiro, 2010.
- 11 SCHEUNEMANN, R. 2005. Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo Fenton. Florianópolis, SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- 12 RIBEIRO, R. A. C. Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de resíduos industriais metal – mecânicos. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em engenharia (PIPE). Área de concentração: Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, 104 p. 2008.
- 13 SATURDE et al. Valorization of Foundry Sand in Clay Bricks at Industrial Scale - Environmental Behavior of Clay-Sand Mixtures. Journal of Industrial Ecology, Volume 14, Number 2, p. 217 – 230. 2010.
- 14 GUNAY, Y.; AYDILEK, H.A.; DERMIRKAN, M.M. Geoenvironmental behavior of foundry sand amended mixtures for highway subbases. Waste Management 26 (2006) 932–945.
- 15 SILVA et al., Influência do emprego de areia de fundição residual nas propriedades no estado fresco e endurecido de misturas cimentícias. IBRACON.
- 16 NÚÑEZ, W. P.; MORAES, C. A. M.; BREHM, F. A. Adição de areia de fundição em mistura asfáltica para pavimentação. Revista Pavimentação, Ano 2. setembro, 2007. P.30-36.
- 17 COSTA, C., Misturas Asfálticas com o uso de Areia de Fundação de Ferro Descartada. 38<sup>a</sup> Reunião Anual de Pavimentação 12<sup>o</sup> Encontro Nacional de Conservação Rodoviária 38<sup>o</sup> RAPv / 12<sup>o</sup> ENACOR. Manaus, 2007.
- 18 CALHEIRO, D. et al. Estudo sobre metodologias de adequação da areia usada de fundição para aplicação na construção civil. In. ENCONTRO NACIONAL SOBRE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO, 2009, Feira de Santana. ENARC 2009.