

O fortalecimento do setor de fundição através da aplicação de conceitos e metodologias ambientais: os excedentes de areia de fundição em foco

ALEXANDRE BORGES FAGUNDES

UTFPR

CAROLINE RODRIGUES VAZ

UTFPR

IVANIR LUIZ DE OLIVEIRA

UTFPR

Resumo: A questão ambiental vem se apresentando de forma cada vez mais evidente como fator de influência na competitividade entre as empresas; o dever responsável para com o meio ambiente, em resposta à satisfação dos consumidores, associado à aplicação de imposições legais cada vez mais severas com relação ao trato de resíduos industriais, contribuem para que as organizações aumentem seus custos devido a necessidade de dispendir valores nesses procedimentos. Em decorrência dessa realidade, este artigo propõe fortalecer o setor de fundição através da aplicação dos conceitos e metodologias ambientais de Ecologia Industrial, Produção mais Limpa e Análise do Ciclo de Vida aos excedentes de areias de fundição, por entender que a integração dos mesmos reúne as ferramentas necessárias para proporcionar a revalorização desse material, fomentando, também, a sustentabilidade do setor no campo social, econômico e ambiental. O tema, a princípio, é contextualizado frente à evolução das tendências ambientalistas. É feita uma revisão bibliográfica sobre os conceitos e metodologias citados e são apresentadas as respectivas análises de suas aplicações sobre as areias de fundição, evidenciando que essa integração pode, simultaneamente, potencializar os ganhos econômicos das organizações, trazer benefícios sociais e favorecer de forma decisiva a preservação do meio ambiente.

Palavras-chave: Areia de fundição. Conceitos e metodologias ambientais. Ecologia industrial. Produção mais limpa. Análise do ciclo de vida.

The strengthening of the foundry industry through the application of environmental concepts and methodologies: the surplus of casting sand in focus

Abstract: The environmental issue has been presented so increasingly evident as a factor of influence on the competitiveness between the companies, the responsible duty towards the environment, in response to consumer satisfaction, with the application of legal charges increasingly stringent with respect the treatment of industrial waste contribute to organizations that increase their costs because the need to expend values such procedures. Because of this fact this article proposes to strengthen the sector of foundry by application of the concepts and methodologies of environmental Industrial ecology, cleaner production and life-cycle analysis of the surplus of sand casting, because he believes that the integration of these tools meet the necessary to provide a revaluation of this material also promoting the sustainability of the sector in the social, economic and environmental. The theme is the principle contextualized against the development of environmental trends, there is a literature review on the concepts and methodologies cited are presented and their analysis of their applications on the foundry sand, showing that integration can also increase the economic gains of organizations, and promote social benefits of making the preservation of the environment.

Key words: Casting sand. Environmental concepts and methodologies. Industrial ecology. Cleaner production. Life cycle assessment.

INTRODUÇÃO

O crescente aumento populacional mundial gerou a necessidade de maior quantidade de produtos e maior velocidade em sua manufatura; produtos artesanais de outrora já não satisfaziam mais a demanda, e a industrialização, com o advento da Revolução Industrial, veio a suprir essa necessidade. Os avanços tecnológicos desde então vêm num crescente desenvolvimento sob a forma de novas máquinas, novos materiais e processos produtivos, chegando a níveis que seriam inimagináveis até pouco tempo atrás.

Os resíduos dos processos industriais que antes eram praticados, por serem em sua maioria de origem natural, não causavam grandes impactos ao ambiente (BIDONE, 1999); já os resíduos dessa nova concepção de produção, com sua vasta gama de formas e composições, repercutiram de maneira violenta, em poucas décadas, no equilíbrio ambiental do planeta.

Materiais desenvolvidos com foco apenas nas propriedades necessárias à aplicação do produto final e nos processos produtivos que visam tão somente a obtenção do máximo lucro culminaram em rejeitos de difícil decomposição, alta toxicidade, dentre outras tantas propriedades estranhas à natureza, causando os desdobramentos que se presencia na atualidade: alterações climáticas, desertos que não pararam de crescer, desequilíbrios nos ecossistemas.

Ambientalistas há décadas vêm lutando em prol de atitudes para a reversão desse quadro; dentre elas, pode-se citar a Conferência de Estocolmo (1972), a Assembléia Geral das Nações Unidas (1983), o relatório de Brundtland (1987), a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ECO 92), realizada no Brasil (consagrando o conceito de Desenvolvimento Sustentável: um modelo econômico menos consumista e mais adequado ao equilíbrio ecológico), e a Conferência Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, realizada em Joanesburgo (2002), na África do Sul, traçando novas diretrizes para o Desenvolvimento Sustentável (aplicar o “pensar globalmente e agir localmente”).

Arelados a isso, os governos vêm impondo legislações em benefício ao meio ambiente específicas para cada área de atuação humana, fiscalizando e punindo os infratores de forma cada vez mais severa. Essa tendência mundial gerou um novo perfil de consumidor, que, mais consciente e preocupado com a questão ambiental, agrega valor de estima aos produtos ecologicamente corretos, tornando esse um dos fatores de influência na competitividade entre as empresas.

Devido a essa nova realidade, as empresas estão vencendo essa dicotomia da sustentabilidade: de um lado, no âmbito ambiental, o dever responsável para com o meio ambiente, em resposta à satisfação dos clientes; de outro lado, no âmbito econômico, as imposições legais e o valor desses procedimentos, que contribuem para aumentar seus custos.

Nesse contexto, as areias de fundição evidenciam-se como objeto de grande preocupação, pois se apresentam isoladamente como o resíduo de maior volume produzido pelas fundidoras no Brasil, volume esse maior que o de todos os outros resíduos de fundição somados (ABIFA, 2008b).

Em decorrência dessa realidade, este artigo propõe fortalecer o setor de fundição através da aplicação dos conceitos e metodologias ambientais de Ecologia Industrial, Produção mais Limpa e Análise do Ciclo de Vida aos excedentes de areias de fundição, por entender que a integração dos mesmos reúne as ferramentas necessárias para proporcionar a revalorização desse material, fomentando também a sustentabilidade do setor no campo social, econômico e ambiental.

METODOLOGIA

Esta pesquisa consiste, quanto aos procedimentos técnicos, numa revisão bibliográfica sobre os conceitos e metodologias ambientais de Ecologia Industrial, Produção mais Limpa e Análise do Ciclo de Vida, e no estudo sobre os possíveis efeitos da aplicação de cada um deles sobre os excedentes de areia de fundição, visando ao fortalecimento desse setor industrial através do fomento à sua sustentabilidade; é classificada como qualitativa quanto à sua abordagem, aplicada quanto à sua natureza e exploratória quanto aos seus objetivos (GIL, 1999; LAKATOS e MARCONI, 2000).

MATERIAIS ENVOLVIDOS E PROCESSO PRELIMINAR

As areias de fundição são materiais utilizados para a confecção de moldes e machos para fundição e podem ser divididas em dois grupos genéricos: as areias a verde e as areias ligadas quimicamente.

“Areias a verde” é o nome dado às areias aglomeradas com argila, que, após confeccionado o molde, não sofrem nenhum processo de secagem antes do vazamento de metal. São constituídas basicamente por quatro componentes: material refratário (areia), material aglomerante (argila), aditivos e água (SENAI, 1987). Já as areias ligadas quimicamente são formadas por material refratário (areia), material aglomerante (orgânico, inorgânico ou misto) e aditivos (COMISSÃO DO MEIO AMBIENTE DA ABIFA, 1999).

Os moldes são obtidos através da moldagem, geralmente em areia a verde, num processo em que o formato externo do produto que se deseja obter é transferido às areias pela compactação das mesmas sobre um modelo, normalmente bipartido, cada qual numa caixa de fundição. Os machos, por sua vez, formados por areia ligada quimicamente, são responsáveis por dar o formato interno do

produto que se deseja obter.

Em linhas gerais, depois de feita a moldagem, as duas metades do molde juntam-se (com a inclusão ou não de um macho, dependendo da exigência do produto) e o metal líquido é vazado para dentro do molde, preenchendo toda a sua cavidade.

A areia que entrou em contato com o metal incandescente é queimada, havendo aí alterações em suas propriedades, não garantindo a mesma performance se sujeita a nova vazagem de metal.

Após a vazagem de metal, todo o material contido nas caixas de fundição é submetido a uma ação vibratória, a fim de separar as peças fundidas das areias de fundição; feito isso, obtêm-se como resíduo a mistura da areia a verde (a porção de areia queimada somada à porção de areia ainda boa para uso em nova vazagem), a areia ligada quimicamente (proveniente da desagregação de machos, quando utilizados na moldagem) e restos de metal fundido.

De acordo com a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), a classificação dos resíduos sólidos segue a norma NBR 10.004, que os divide em três classes: I (perigosos), II-A (não inertes) e II-B (inertes), e dentro dessa classificação os excedentes de areias de fundição enquadram-se geralmente nas classes I e II-A, devido à presença de ligantes químicos e metais (COMISSÃO DO MEIO AMBIENTE DA ABIFA, 1999).

Considerando a responsabilidade ambiental no manejo desses materiais obtidos, é particularmente a partir deste ponto do processo que se concentram as maiores atenções do presente estudo.

ECOLOGIA INDUSTRIAL

A Ecologia Industrial vem a contribuir com a sustentabilidade ambiental das organizações industriais por alterar a visão sobre o conceito de resíduo, encarando-o, na verdade, como um subproduto, pois na natureza o “resíduo” do término de um ciclo é também a matéria-prima necessária para o início de outro ciclo.

A Ecologia Industrial, para Agner (2006), baseia-se numa analogia entre os sistemas ecológicos naturais e os sistemas industriais, e a aplicação desse conceito pode fomentar a sustentabilidade das organizações pelo fato de orientar as estratégias empresariais no sentido de promover a integração entre as empresas, adotando como modelo os sistemas encontrados no meio ambiente natural.

A troca de informações entre as organizações, com o objetivo de reestruturar ou criar distritos industriais, tratando de forma mais racional suas matérias-primas e subprodutos, pode ser, segundo Erkman (1997), uma aplicação imediata do conceito de Ecologia Industrial.

A filosofia da Ecologia Industrial, portanto, vem cha-

mar a atenção dos gestores industriais para a maneira como os recursos disponíveis são manejados pelos sistemas naturais, propondo utilizar esses sistemas como exemplos para as indústrias e arranjos produtivos atuais.

Conforme o CNTL (2003a), a Ecologia Industrial adota seis princípios, que podem ser compreendidos como:

a) Criação de ecossistemas industriais: otimizar o aproveitamento dos materiais e energia, minimizar a geração de resíduos, maximizando sua reciclagem;

b) Equiparação das entradas e saídas dos processos industriais à capacidade natural dos ecossistemas: conhecimento da quantidade de resíduos tóxicos que os grandes sistemas naturais podem absorver, para o caso de desastres ambientais;

c) Desmaterialização: redução no uso de materiais e energia na produção industrial;

d) Melhoria dos caminhos metabólicos dos processos industriais e no uso de materiais: reavaliar os processos industriais, buscando redução ou simplificação, com o objetivo de aproximá-los à eficiência dos processos naturais;

e) Padrões sistemáticos no uso de energia: originar o aumento de um sistema de fornecimento de energia que trabalhe como uma parte do ecossistema;

f) Alinhamento de políticas com a perspectiva de longo prazo da evolução do sistema industrial: atuação conjunta das organizações, integrando suas políticas econômicas e ambientais.

Os seis itens apresentados pelo Centro Nacional de Tecnologia Limpa, em síntese, evidenciam atitudes de fomento à sustentabilidade industrial, pela analogia aos sistemas naturais, a exemplo dos recifes de corais, como salienta Agner (2006, p.20):

Os recifes de corais estão entre os mais antigos ecossistemas, com somente algumas mudanças nas espécies ao longo dos milênios. Eles existem em ambientes relativamente constantes nos mares tropicais. Sua alta produtividade é mantida, apesar de muitas vezes o ambiente ser escasso de recursos. As águas tropicais são límpidas, devido ao fato de serem desprovidas de plâncton e nutrientes. Para manter esta alta produtividade, os recifes de corais são muito eficientes em captar recursos que estejam disponíveis. Para isto, reciclam materiais escassos dentro do sistema, interceptando a maior quantidade de energia solar na sua superfície e transferindo energia muito eficazmente dentro do sistema.

Ao transportar esse conceito para um arranjo produtivo industrial, por exemplo, considerando-o como um ecossistema, pode-se obter grandes benefícios através da aplicação de ferramentas que promovam a implementação dos seis princípios da Ecologia Industrial e que estabeleçam uma relação simbiótica entre as empresas, favorecendo, assim, a sustentabilidade de todo o ecossistema em questão.

PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Não necessitando obrigatoriamente da implementação de um Sistema de Gestão Ambiental para a aplicação de seus conceitos, a Produção mais Limpa é uma ferramenta que contribui de maneira bastante acessível e prática na prevenção de impactos negativos ao meio ambiente, por promover o melhor gerenciamento dos recursos energéticos e minimizar os resíduos produzidos, podendo gerar lucros com as economias alcançadas.

A Produção mais Limpa surgiu em 1991, num programa da UNIDO/UNEP, como uma abordagem intermediária entre a Produção Limpa do Greenpeace e a diminuição de resíduos do Environmental Protection Agency – EPA (CNTL, 2003b). Teve suas origens estimuladas pela Conferência de Estocolmo, em 1972, conforme Barbieri (2004), com a definição de tecnologia limpa, que consiste em disseminar menos poluição ao meio ambiente, gerar menos resíduos e consumir menos recursos naturais.

De acordo com o Centro Nacional de Tecnologia Limpa – CNTL (2003b), Produção mais Limpa constitui o aproveitamento contínuo de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica, associada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia através da não-geração, diminuição ou reciclagem de resíduos gerados em todos os setores produtivos.

A Produção mais Limpa aplica uma abordagem preventiva na Gestão Ambiental, que permite o funcionamento da empresa de modo social e ambientalmente responsável, trazendo influência em melhorias econômicas e tecnológicas (CNTL, 2001; SILVA FILHO e SICSÚ, 2003), com a intenção de maximizar a eficiência na utilização das matérias-primas, água e energia, aplicada a serviços e produção, e diminuir os riscos para as pessoas e ao meio ambiente (CNTL, 2001; SILVA FILHO e SICSÚ, 2003; PIMENTA e GOUVINHAS, 2007).

De acordo com CNTL (2002), quando comparada às tecnologias de fim-de-tubo (tecnologias estas que, ao invés de adotar a prevenção, se preocupam em sanar os impactos ambientais dos resíduos através do tratamento após sua geração, apenas tentando remediar o mal causado), a tecnologia da Produção mais Limpa apresenta grandes vantagens, dentre elas:

- a) Redução da quantidade de materiais e energia usados, apresentando assim um potencial para soluções econômicas;
- b) A minimização de resíduos, efluentes e emissões;
- c) A responsabilidade pode ser assumida para o processo de produção como um todo e os riscos no campo das obrigações ambientais e da disposição de resíduos podem ser minimizados.

A Produção mais Limpa tem como objetivo fortalecer economicamente a indústria através da prevenção da poluição, colaborando com o progresso da situação ambiental

de determinada região. Explora o processo produtivo e as demais atividades de uma empresa e avalia a utilização de materiais e energia. A partir disto, são criteriosamente examinados os produtos, as tecnologias e os materiais, com a intenção de diminuir os resíduos, as emissões e os efluentes, e descobrir modos de reutilizar os resíduos inevitáveis (CNTL, 2002).

As definições para Produção mais Limpa apresentadas acima, em síntese, apontam para atitudes que proporcionem benefícios sociais e ambientais à região e, simultaneamente, ganhos econômicos e tecnológicos às empresas através da maximização da eficiência na utilização de matérias-primas, água e energia, e pela não-geração ou minimização de resíduos, efluentes e emissões.

As maiores barreiras para a sua implantação, de um modo geral, acontecem em função da resistência à modificação; da compreensão errônea (ausência de informação sobre a técnica e a relevância oferecida ao ambiente natural); da não-existência de políticas nacionais que ofereçam suporte às atividades de Produção mais Limpa; de empecilhos econômicos (alocação indevida dos custos ambientais e investimentos) e de empecilhos técnicos (novas tecnologias), afirmam Moura *et al.* (2005).

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

A aplicação do conceito ambiental de Análise do Ciclo de Vida vem a complementar a integração com os conceitos de Ecologia Industrial e Produção mais Limpa devido à sua abordagem sistêmica quanto à avaliação dos impactos ambientais dos produtos, processos e atividades envolvidas, abrangendo todo o seu ciclo de vida.

Segundo a norma NBR ISO 14040 (2001), a Análise do Ciclo de Vida pode ser definida como sendo a compilação e avaliação de todas as entradas e saídas envolvidas (quantidades de energia dispendidas, materiais empregados, resíduos gerados), aliadas à prospecção dos potenciais impactos que possam ser gerados sobre o meio ambiente, considerando um sistema de produto e avaliando desde a obtenção das matérias-primas até a última destinação.

Essa análise, conforme o SETAC (1993), engloba a extração da natureza dos componentes básicos envolvidos e seu processamento, a produção e distribuição, a utilização e a manutenção, o reciclo, o reuso e a disposição final.

Pode-se então definir a Análise do Ciclo de Vida como sendo uma ferramenta ambiental de importância singular, por oportunizar a implementação de melhorias ambientais através do levantamento dos recursos, dos procedimentos e dos possíveis impactos ambientais envolvidos durante todo o ciclo de vida de um produto, e que, por meio de indicadores, possibilita um mapeamento das opções para a tomada de decisão, dessa forma, apontando também benefícios econômicos a quem a utiliza.

Para aplicar uma Análise do Ciclo de Vida, a norma

NBR ISO 14040 (2001) sugere a execução de quatro etapas distintas, na seguinte sequência: definição do objetivo e escopo / análise do inventário / avaliação de impacto / interpretação.

A definição do objetivo e escopo se caracteriza por ser uma fase de planejamento na qual se identifica a finalidade principal da análise, seus motivos e aplicações, define-se o público-alvo, a unidade funcional e os requisitos da qualidade necessários para o estudo, bem como os procedimentos metodológicos para a coleta de dados (CHEHEBE, 1998; SETAC, 1993).

Na análise do inventário é que ocorrem as atividades de coleta dos dados, quantificando todas as variáveis de entrada e saída ao longo do ciclo de vida do objeto em questão, procedendo-se através de medições, cálculos teóricos, pesquisas em literaturas e buscas em bancos de dados (CHEHEBE, 1998).

A avaliação de impacto busca compreender e quantificar os efeitos das interações entre o meio ambiente e as variáveis consideradas na análise do inventário. Os impactos são classificados através da análise da saúde ambiental, da saúde humana e das tendências de escassez dos recursos naturais, sendo as principais categorias dessa análise: os consumos de energia e recursos ambientais, a eutrofização, a acidificação, o efeito estufa e a redução da camada de ozônio (CHEHEBE, 1998; SILVA, 2002).

Na etapa de interpretação dos dados, organiza-se as informações obtidas com a análise do inventário e/ou com a avaliação de impacto, alinhando-as ao objetivo e escopo definidos no início da pesquisa; identifica-se e avalia-se os principais problemas, e faz-se a definição das prioridades (CHEHEBE, 1998).

Um relatório é gerado e atividades baseadas em princípios de prevenção, a exemplo da Produção mais Limpa, são comumente direcionadas à solução das prioridades eleitas.

A quantidade de informações e a complexidade das interações envolvidas num estudo de Análise do Ciclo de Vida demandam tempo e investimentos que devem ser considerados para a utilização desta importante ferramenta, tais como a execução de testes práticos para a obtenção de valores mais precisos, a aquisição de *softwares* específicos para o tratamento dos dados levantados e todo o material humano envolvido.

SETOR DE FUNDIÇÃO: ANÁLISE E DISCUSSÃO DA APLICAÇÃO DOS CONCEITOS E METODOLOGIAS APRESENTADOS

Para o fortalecimento dos arranjos produtivos de fundição sob a ótica do conceito de **Ecologia Industrial**, este artigo propõe como atitude inicial a implementação de um empreendimento conjunto, estrategicamente posicionado

dentro do ecossistema, que centralize a recepção dos excedentes de areias de fundição, integrando todas as empresas geradoras desse material, além da utilização dos conceitos de Produção mais Limpa e Análise do Ciclo de Vida como ferramentas auxiliares à aplicação dos seis princípios apresentados.

Podem-se citar alguns dos benefícios da implementação de um empreendimento conjunto para processamento das areias: a redução dos custos logísticos, tanto da recepção de matérias-primas quanto do envio de areias já utilizadas, devido à proximidade entre o empreendimento e as empresas; o fluxo mais ágil de movimentação das areias usadas, evitando a ocupação de espaço improdutivo no *layout* das empresas (capital “parado”); a melhoria na qualidade da matéria-prima fornecida às empresas (processada), e a possibilidade de praticar preços menores de venda dessas areias pela diluição dos custos de processamento, devido ao manejo de grandes volumes.

Os princípios da **Produção mais Limpa** também se aplicam às fundições, como para qualquer outra atividade, apenas adaptando-se os conceitos ao tipo de processo e/ou produto em questão.

Seguindo a orientação da Comissão do Meio Ambiente da ABIFA (1999), com o intuito de diminuir os excedentes de areias de fundição e adequar-se às exigências ambientais, as fundições devem adotar as seguintes ações:

- a) Aperfeiçoar o processo de produção visando minimizar a geração de descartes;
- b) Promover pesquisa e desenvolvimento no sentido de diminuir a carga poluente dos descartes;
- c) Desenvolver processos de regeneração dentro da própria fundição, reutilizando a areia no próprio processo produtivo, acarretando em ganhos logísticos e ganhos nas propriedades da matéria-prima;
- d) Encontrar aplicação para a utilização alternativa desses resíduos fora do processo produtivo original;
- e) Definir o efetivo impacto ambiental das areias descartadas de fundição.

Podem-se determinar como alternativas de destinação para as areias descartadas de fundição a reciclagem (interna e externa), a disposição final (procedimento este que, por questões ambientais, é recomendado apenas como último recurso) e a criação de depósitos exclusivos para esses materiais.

A reciclagem pode ser definida, em linhas gerais, como o conjunto de operações pelo qual o produto final é submetido a fim de proporcionar sua aplicação num processo produtivo novamente como matéria-prima; pode ainda, em fundição, ser classificada em processos de reciclagem interna – a recuperação e a regeneração das areias de fundição – e como processo de reciclagem externa a reutilização desse excedente em aplicação fora do processo produtivo original.

A **recuperação**, segundo a Comissão do Meio Am-

biente da ABIFA (1999), consiste em trazer de volta ao processo produtivo original as areias já utilizadas no vazamento de peças, em que, após feita a desmoldagem e retirados os resíduos metálicos e os torrões de areia, a mesma é esfriada e, devido à presença de uma parcela de materiais alterados pelo contato direto com o metal fundido, torna-se necessário retirar uma porcentagem dessa areia usada (porcentagem essa que varia de acordo com as características necessárias à areia no processo inicial), acrescentando areia nova à mistura na mesma proporção da areia usada que foi retirada.

A **regeneração**, conforme definição da Comissão do Meio Ambiente da ABIFA (1999), é o processo pelo qual as areias descartadas de fundição são submetidas à ação mecânica (atrito) e/ou à ação do aumento da temperatura (calcinação), a fim de limpar a superfície dos grãos da areia-base, removendo os materiais aderidos, com o propósito de devolver a eles características mais próximas possíveis às das areias novas, de forma a permitir novamente sua introdução como matéria-prima no processo de fundição.

A **reutilização**, de acordo com o exposto pela Comissão do Meio Ambiente da ABIFA (1999), consiste no uso alternativo das areias descartadas de fundição como agregado fino em aplicações fora da indústria de fundição, como por exemplo na construção civil, na confecção de artefatos de concreto, em pavimentação asfáltica, entre outras, e também como fonte de sílica para a fabricação de cimento.

A definição adotada pelo presente trabalho, considerada mais abrangente, é a fornecida pela ABIFA (2008a, p.1), em que:

A reutilização consiste no uso repetido de um produto ou substância em um determinado processo produtivo na sua forma original, isto é, sem processamento, exceto por processo de limpeza ou classificação. Dentro deste conceito, a reutilização de ADF pode acontecer em atividades tais como: fabricação de concreto, construção civil em geral, material para construção, cobertura de aterros e na preparação de solos especiais.

Via de regra, torna-se necessário que as fundidoras garantam a constância da qualidade das ADF – areias descartadas de fundição – fornecidas à reciclagem externa, mantendo dentro de determinados limites as características exigidas especificamente para cada tipo de aplicação.

De acordo com a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), a classificação dos resíduos sólidos, no Brasil, segue as seguintes normas, procedimentos e métodos de ensaios:

a) NBR 10.004 - Resíduos Sólidos – Classificação: Classe I (perigosos), Classe II-A (não inertes) e Classe II-B (inertes);

b) NBR 10.005 - Lixiviação de Resíduos – Procedimentos;

c) NBR 10.006 - Solubilização de Resíduos Sólidos – Métodos de ensaios;

d) NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos – Procedimentos.

Os resíduos sólidos são definidos pela ABNT (2004) como sendo os resíduos que se encontram no estado sólido ou semi-sólido, resultantes de atividades de cunho industrial, doméstico, hospitalar, comercial e agrícola, bem como de serviços e de varrição. Esses resíduos são classificados como perigosos quando suas características proporcionam riscos à saúde dos seres humanos, ou acarretam riscos ao meio ambiente quando gerenciados de forma imprópria.

De acordo com ABIFA (2006), fundições e órgãos ambientais, em atenção às questões sociais e ambientais, devem juntos buscar alternativas para o manejo dos excedentes de areias de fundição, de tal forma que não haja prejuízos ao meio ambiente. A disposição desses materiais em aterros industriais controlados já não são mais uma alternativa cabível, tendo em vista um volume de areia descartada que apresenta um aumento anual da ordem de 5%.

O motivo dos aterros ainda estarem sendo amplamente utilizados é estritamente de cunho legal, haja vista que ainda hoje, segundo ABIFA (2008a), o encaminhamento desses resíduos a aterros industriais constituem-se a única opção legalmente validada, não exigindo outros licenciamentos além dos referentes à implantação e operação dessas áreas, o que acaba sujeitando as empresas a arcar com custos logísticos cada vez mais onerosos, especialmente quando se trata de aterros e transporte terceirizados.

Considerando aspectos ambientais, a existência de aterros gera o acúmulo de passivos, nos quais acaba havendo a mistura das areias descartadas de fundição com outros tipos de resíduos geralmente com maior potencial contaminante, criando, assim, uma situação de risco às fundidoras, que via de regra são responsabilizadas por todo o dano ambiental que venha a ser causado; a falta de conhecimento do real impacto ambiental das areias (isoladamente) gera esse tipo de inconveniente, além do que os aterros ocupam áreas que poderiam estar sendo mais bem empregadas (ABIFA, 2008a).

Quanto à opção de se constituírem depósitos exclusivos para areias descartadas de fundição, a ABIFA (2008a) salienta que, para sua instalação, os projetos devem ser idealizados com apoio nas normas aplicáveis à construção de aterros Classe II-A, aconselhado para o acondicionamento de resíduos não-perigosos e não-inertes. Devem ser projetados controles para os gases gerados e também para tratamento do chorume (líquido poluente gerado pela decomposição de materiais orgânicos); além de considerar os investimentos envolvidos na sua construção e operação, deve-se aguardar em torno de um ano a liberação do licenciamento ambiental (ABIFA, 2008a).

Como vantagem à manutenção de um depósito exclusivo para areias descartadas de fundição, evidencia-se a preservação dos materiais ali dispostos sem o risco de serem contaminados por terceiros, no aguardo de oportunidade futura para seu processamento ou utilização como

matéria-prima em alguma aplicação já legalizada.

Dentre as opções de manejo apresentadas nos itens citados, tornam-se evidentes os benefícios ambientais alcançados através da interação entre os processos de reciclagem, sendo recomendado aos excedentes de areia de fundição a recuperação associada à regeneração e direcionamento do material remanescente à reutilização, na sequência descrita a seguir.

Recuperação: após a desmoldagem, recomenda-se destorroar e livrar as areias dos detritos e materiais estranhos à sua constituição; uma parcela dessa areia é retirada e destinada à regeneração; faz-se adição de areia nova e/ou areia regenerada (em quantidade proporcional à parcela de areia usada que foi retirada e destinada à regeneração) e também dos componentes que se fizerem necessários para a correção das propriedades dessa areia, para então ser novamente utilizada no processo produtivo.

Regeneração: à parcela de areia usada que foi retirada recomenda-se a combinação de processos de regeneração mecânica e térmica, ou unicamente a aplicação do processo de regeneração térmica para promover a calcinação (oxidação das substâncias através do aumento da temperatura), inertizando o material remanescente.

Reutilização: ao se obter material inerte como matéria-prima para esta fase, amplia-se a gama de possibilidades de aplicações dos materiais remanescentes da regeneração térmica em sua reutilização fora da indústria de fundição.

Adotando-se a sequência de processamento apresentada, provoca-se como efeito direto desses processos de reciclagem uma expressiva redução na extração da natureza dos componentes para o fabrico de areia nova, reduzindo também a quantidade de areia disposta em aterros, devido a essa opção ficar restrita apenas aos materiais que não puderem ser reutilizados, aplicando, assim, de forma efetiva, o conceito de Produção mais Limpa no setor de fundição.

Somente a partir do conhecimento dos reais impactos ambientais das areias de fundição em cada fase do seu ciclo de vida é que se poderá determinar com maior exatidão as melhores opções para a destinação desses materiais.

A execução desse diagnóstico por parte de cada empresa, conscientizando-se dos efeitos das atividades praticadas e suas causas, é fator de grande relevância para a melhoria contínua dos processos produtivos e dos métodos de reciclagem das areias (recuperação, regeneração e reutilização), além de ser determinante na questão da disposição em aterros.

Atenção especial deve ser dada aos métodos de reutilização, pois o domínio do conhecimento acerca dos impactos ambientais potenciais acarretará em maior precisão na determinação das possíveis aplicações para as areias descartadas de fundição, podendo aumentar, dessa forma, a gama de opções.

O país mais desenvolvido no campo da reutilização é, sem dúvida, os EUA. De acordo com Silva (2007), no

Brasil, a classificação dos resíduos divide-se em perigosos, não-inertes e inertes, ao passo que a legislação norte-americana apenas classifica-os em perigosos e não-perigosos, permitindo a aplicação em processos e atividades, tais como: fabricação de artefatos de concreto, tijolos e telhas cerâmicas; em pavimentação asfáltica; na fabricação de cimento; em obras de terraplanagem; como cobertura final de aterros ou nas camadas internas como material drenante, e nos processos de compostagem.

Segundo (GIBBS, 2007), nos EUA os estudos em reutilização continuam crescendo e a atual tendência de interesse aponta para as aplicações no solo, mais especificamente referindo-se ao desenvolvimento de solos especiais e plantação em vasos.

A **Análise do Ciclo de Vida**, portanto, assume papel de grande importância também na determinação da viabilidade da utilização das areias descartadas de fundição em novas aplicações, podendo exercer a função de ferramenta de auxílio à normalização e tomada de decisão para a legalização de tais aplicações, contribuindo, dessa maneira, para que as areias sejam geridas de forma a fomentar a preservação do meio ambiente e, conseqüentemente, a sustentabilidade do setor de fundição no Brasil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em análise à aplicação dos conceitos apresentados, conclui-se que, para a estruturação global, considerando o arranjo produtivo de fundição numa dada região como um ecossistema industrial, deve-se aplicar a Ecologia Industrial, por meio dos seis princípios propostos pela CNTL.

Para aplicação no nível interno de cada unidade fabril, por sua vez, propõe-se o uso dos conceitos de Produção mais Limpa, e, completando a abordagem total das atividades envolvidas, indica-se a aplicação da Análise do Ciclo de Vida, por avaliar também os impactos ambientais das interações existentes com o meio externo, envolvendo todos os processos produtivos e produtos gerados.

Dessa forma, a integração dos conceitos ambientais de Ecologia Industrial, Produção mais Limpa e Análise do Ciclo de Vida aplicados aos excedentes de areias de fundição podem servir como base para proporcionar o fortalecimento do setor de fundição, através do fomento à sua sustentabilidade, nas três principais dimensões: ambiental, econômica e social.

Na dimensão ambiental, a sustentabilidade pode ser alcançada minimizando-se os descartes de areias de fundição em aterros, diminuindo, assim, a formação e acúmulo de passivos ambientais, além da redução na extração da natureza dos componentes para fabrico de areia nova, ambas por meio da integração dos processos de reciclagem interna e externa.

No âmbito econômico, com a obtenção da redução de custos através da implementação de um empreendimento

conjunto que processe e dê a melhor destinação aos excedentes de areia de fundição de todas as empresas que fazem parte do ecossistema, podendo gerar receitas também com a venda de material para reciclagem externa.

E na dimensão social, com a geração de empregos devida à implementação de empreendimentos de apoio aos arranjos produtivos locais, beneficiando não só os trabalhadores envolvidos, mas toda a região na qual o empreendimento está estabelecido, devido ao aumento da arrecadação de impostos, que retorna em forma de benefícios e consequente melhoria da qualidade de vida para toda a comunidade local.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO Brasileira de Fundição. In: Seminário de Fundição, VI., São Paulo, ABIFA, 2006.
- _____. **Areias Descartadas de Fundição (ADF)**. Disponível em: www.solucoesadf.com.br. Acesso em: 08 de abril de 2008a.
- _____. Resíduos de fundição: solução a caminho. **Revista Fundição & Matérias-primas**, 95. ed. São Paulo, março 2008b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Classificação dos Resíduos Sólidos. ABNT, 2004.
- AGNER, T.C. **Eco-eficiência baseada nos princípios de Produção mais Limpa**, 2006, 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Ponta Grossa, 2006.
- BARBIERI, J.C. **Gestão ambiental empresarial**. São Paulo: Saraiva, 2004.
- BIDONE, F. R. A. **Metodologia e técnicas de minimização, reciclagem e reutilização de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: ABES (Associação de Engenharia Sanitária e Ambiental), 1999.
- CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS. **Manual questões ambientais e produção mais limpa**. Curso de Formação de Consultores em Produção mais Limpa. Fortaleza: CNTL, 2001.
- _____. **Manual metodologia de implantação do programa de produção mais limpa**. Curso de Consultores em Produção mais Limpa. Fortaleza: CNTL, 2002.
- _____. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa**. SENAI, Rio Grande do Sul, 2003a.
- _____. **Curso de Formação de Consultores em Produção mais Limpa para Pequena e Microempresa**. Módulo 1, Porto Alegre: CNTL, 2003b.
- CHEHEBE, J.R.B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.
- COMISSÃO DO MEIO AMBIENTE DA ABIFA. **Manual de Regeneração e Reuso de Areias de Fundição**. São Paulo: ABIFA, 1999.
- ERKMAN S. Industrial ecology: a historical view. **Journal of Cleaner Production**. 05, 1997.
- GIBBS, S. Saving on sand disposal: some metalcasters have been achieving disposal savings for their used metalcasting sand for more than a decade, but the game has grown and evolved. **Modern Casting**. Feb, 2007.
- GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Atlas, 1999.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia Científica**. 3. ed., São Paulo: Atlas, 2000.
- MOURA, T. N.; JÚNIOR, A. F. S.; CORTEZ, S. M.; JERÔNIMO, C. E. M. Intervenção da produção mais limpa nas indústrias têxteis do município de Jardim de Piranhas. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, CAMPO GRANDE, 23., **Anais...**, ADES, 2005.
- NBR ISO 14040. **Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- PIMENTA, H. C.; GOUVINHAS, R. P. Implementação da produção mais limpa na indústria de panificação de Natal – RN. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVII, **Anais...**, Foz do Iguaçu, Paraná, 2007.
- SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Areias de fundição aglomeradas com argila**. v. 1, Belo Horizonte: SENAI, 1987.
- SETAC – SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY. **Conceptual Framework for Life Cycle Assessment**. SETAC Press, Pensacola – FL, 188p., 1993.
- SILVA, P. G. S. **Inovação ambiental na gestão de embalagens de bebidas em Portugal**. Lisboa, 2002. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Tecnologia). Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, 2002.
- SILVA, T. C. **Comparativo entre os regulamentos existentes para reutilização de resíduos de fundição**. Monografia (Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- SILVA FILHO, J. C. G.; SICSÚ, A. B. Produção mais Limpa: uma ferramenta da Gestão Ambiental aplicada às empresas nacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXIII., **Anais...**, Ouro Preto, Minas Gerais, 2003.

Artigo recebido em 02/06/2009.

Aceito para publicação em 17/08/2009.