



Tema: Aciaria Oxigênio

## ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA O GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS DE ACIARIA LD\*

Natália Cristina Candian Lobato<sup>1</sup>  
 Emanuel Augusto de Oliveira e Silva<sup>2</sup>  
 Edwin Auza Villegas<sup>3</sup>  
 Marcelo Borges Mansur<sup>4</sup>

### Resumo

A indústria siderúrgica gera cerca de 600 quilogramas de resíduos por tonelada de aço bruto produzido. Estes resíduos, conforme estabelecido pela legislação ambiental vigente, devem ter uma destinação final adequada de forma a não acarretar poluição do meio ambiente. Além disso, a preocupação com a sustentabilidade e a escassez de recursos minerais não renováveis tem feito com que as usinas siderúrgicas invistam cada vez mais no desenvolvimento de meios de produção mais econômicos e menos poluidores e na busca de métodos adequados para a reciclagem ou a reutilização dos resíduos gerados, de forma a minimizar a quantidade de resíduos estocados ou destinados a aterros industriais. Neste contexto, destaca-se a escória e a lama de aciaria LD. Assim, este trabalho, avalia as possíveis tecnologias aplicáveis ao gerenciamento ambiental destes resíduos, apontando as tendências e as alternativas tecnológicas para seus tratamentos, de modo a contribuir para o aumento da sustentabilidade deste setor industrial.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos; Escória; Lama; Aciaria LD.

## ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL ALTERNATIVES FOR THE MANAGEMENT OF LD CONVERTER WASTE

### Abstract

The steel industry generates about 600 kilograms of waste per ton of steel produced. These wastes, according to Brazilian legislation, must have an appropriate disposal in order not to cause environmental pollution. Moreover, the concern for sustainability has made the steel mills invest more in technical training, including the development of more economical ways of production and less polluting, in search of suitable methods for recycling or reuse of waste generated in their production processes in order to minimize the amount of waste stored or for industrial landfills. In this context, the slag and the sludge of LD process stand out. Thus, this work seeks to evaluate the possible technologies for environmental management of these wastes, pointing out trends and technological alternatives for their treatments, in order to contribute to the increased of the sustainability of this industry.

**Keywords:** Solid waste; Slag; Sludge; LD steelmaking.

<sup>1</sup> Mestra, Engenheira Metalurgista, Aluna de Pós-Graduação, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil.

<sup>2</sup> Mestre, Engenheiro Metalurgista, Aluno de Pós-Graduação, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil.

<sup>3</sup> Doutor, Engenheiro Metalurgista, Professor Associado, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil.

<sup>4</sup> Doutor, Engenheiro Químico, Professor Associado, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil.

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a preocupação com a sustentabilidade é algo crescente. E o reflexo deste crescimento é o aumento contínuo verificado no rigor das atuais leis ambientais ao redor do mundo. No Brasil, conforme estabelecido pela Política Nacional do Meio Ambiente [1], a disposição final de todos os resíduos gerados durante qualquer processo industrial é de responsabilidade da própria empresa geradora. Portanto, ações como “reduzir, reciclar e reutilizar” passaram a fazer parte do cotidiano industrial pois, além de diminuir o volume de resíduos descartados em aterros, há o reaproveitamento de recursos naturais e a redução dos custos de tratamento e disposição final adequados dos rejeitos sólidos. Neste contexto, a indústria siderúrgica, tida como poluidora em potencial, vem buscando formas de gerenciar os resíduos gerados.

Estima-se que no Brasil são gerados por ano cerca de 20 milhões de toneladas de resíduos deste setor [2]. Logo o gerenciamento dos resíduos siderúrgicos, como os gerados durante o refino do aço na aciaria LD constitui em uma importante contribuição ambiental. Assim, a escória e a lama de aciaria LD são tratados a seguir, apontando as possíveis tecnologias aplicáveis ao seu gerenciamento ambiental.

## 2 ESCÓRIA DE ACIARIA LD

A escória de aciaria convencional é um subproduto da indústria siderúrgica, que tem origem no processamento de refino do ferro usando o conversor LD. Ao sair do conversor, a escória de aciaria é resfriada ao ar até a sua solidificação, obtendo-se uma estrutura cristalina. Após britagem e separação granulométrica, a escória passa por um processo de separação magnética, obtendo-se uma porção metálica e outra não metálica. A porção metálica, chamada de sucata, é enviada para a reciclagem no convertedor LD, no alto-forno ou na sinterização e corresponde em média 30% da escória gerada. Já a porção não metálica é comercializada para que possa ser reaproveitada [3].

Os principais componentes desta escória são os óxidos de cálcio, magnésio, alumínio e ferro, além da sílica. Possui também pequenas quantidades de MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub> e dos elementos cromo e vanádio [4]. A composição química típica deste tipo de escória é mostrada no Quadro 1.

**Quadro 1.** Composição química típica de uma escória de aciaria LD [3]

Componentes	(%)
CaO	6 - 45
SiO <sub>2</sub>	7 - 16
MgO	1 - 9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 - 4
FeO	8 - 30
MnO	3 - 7
CaO/SiO <sub>2</sub>	0,86 - 2,80

A geração média de escórias de aciaria LD varia de cerca de 120 a 150kg por tonelada de aço, podendo chegar até a 200kg por tonelada [3,5,6]. A seguir são citadas as principais formas de reaproveitamento deste resíduo.

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



## 2.1 Reciclagem da Escória de Aciaria LD

A escória de aciaria LD devido ao seu alto teor de ferro tem a possibilidade de ser reciclada no alto-forno ou no processo de sinterização. No entanto, esta escória apresenta componentes nocivos para os processos, como o fósforo, que não deve ultrapassar 0,5% para não interferir na composição do aço. Este valor, contudo, se encontra normalmente entre 1,5 e 6,0% na escória [6-8]. Assim, a fim de utilizar a escória de aciaria LD seja no alto-forno ou na sinterização é desejável reduzir o teor de fósforo. Diferentes métodos físicos de beneficiamento, como flotação e separação magnética são estudados para este objetivo, mas, apesar dos resultados serem promissores ainda são considerados insuficientes [6].

Para a remoção do fósforo estão sendo estudados também os métodos biológicos. Nesses métodos, microrganismos como as bactérias *A. niger hyphomicrobium* e *B. mucilaginosus* são usadas para a remoção de fósforo. Através dos experimentos realizados em 10% pela inoculação (v/v), foi possível remover cerca de 72,17% de fósforo da escória LD [6]. Já Marhual *et al.*[8] trabalharam a remoção de fósforo com várias bactérias diferentes, todavia entre as bactérias testadas, as *Pseudomonas aeruginosa* foram as mais adequadas para solubilização de fósforo em condições altamente alcalinas da escória, apresentando cerca de 35% de remoção de fósforo.

## 2.2 Utilização como Agregado

As escórias de aciaria têm como destinação mais comum a de agregado na construção civil, substituindo parcialmente a areia e/ou a brita. Porém, seu uso, em certos casos, pode levar a danos devido à sua expansibilidade elevada. Alguns estudiosos acreditam que isso ocorre devido à presença de óxidos livres reativos como cal (CaO) e óxido de magnésio (MgO), que são substâncias pouco frequentes nos agregados convencionais [4]. No entanto, a expansibilidade é solucionada caso se assegure que o material esteja livre de compostos ou que estas reações já tenham acontecido, ou seja, que o material esteja devidamente curado. A cura da escória LD consiste basicamente em se estender o material, num pátio, em pilhas que não ultrapassem 2-3 metros de altura, onde o mesmo possa entrar em contato direto com as intempéries ambientais. O material fica assim cerca de seis meses. Este processo é acelerado quando se utilizam molhagem e aeração durante o processo [9].

O uso mais expressivo das escórias de aciaria como agregado é através da pavimentação. Branco [10] afirma que a utilização da escória de aciaria, sozinha ou combinada, como agregado em revestimentos asfálticos já vem sendo realizada em vários países como Estados Unidos, Canadá, França e Alemanha. Mas, apesar de ser observado um aumento na resistência à compressão em pavimentações a base de escória, observa-se também que este uso possui como desvantagens a expansibilidade elevada e uma menor durabilidade [10-12].

## 2.3 Na Fabricação de Cimento

A escória de aciaria têm propriedades tecnológicas latentes, no entanto menores que as escórias de alto-forno. Sendo assim para o seu emprego efetivo na produção de cimento ela deve ser corrigida com alumina e submetida a um resfriamento brusco, ou seja, uma granulação [13]. Experimentos de laboratório demonstram que a adição de alumina em escórias LD permite a obtenção de propriedades hidráulicas

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



úteis, pois a quantidade de alumina necessária na escória para a obtenção atividade hidráulica útil é da ordem de 6 a 15%. Assim, isto é obtido acrescentando um material de fluxo sintético aos conversores da aciaria durante o processo de refino. Este processo é capaz de conferir boa qualidade dos aços fabricados, sem nenhuma mudança no processo de fabricação, e conduz à formação de escórias homogêneas contendo menos de 4% de cal livre [13]. Entretanto, apesar da possibilidade de aumento das propriedades hidráulicas da escória de aciaria, somente pequenas quantidades são usadas para este propósito.

## 2.4 Utilização na Agricultura

Os altos teores de CaO e MgO, bem como o de  $Al_2O_3$  baixo, sugerem a possibilidade da escória de aciaria ser usada como corretivo da acidez do solo. Experimentos conduzidos utilizando escória LD pulverizado para o cultivo de vegetais como tomate, batata, cebola, espinafre, e de culturas como o trigo, no solo ácido obteve como resultado um aumento proporcional no pH do solo, bem como o aumento dos teores de cálcio e de magnésio do complexo de troca. Obtendo uma melhor qualidade e produtividade do solo [6].

Como consequência do aumento do pH, há a diminuição da solubilidade do alumínio e a absorção de fósforo é favorecido. Há também um considerável aumento de cálcio e magnésio do solo e conseqüentemente um aumento na produtividade. Além do mais, segundo López *et al.* [7], a presença de elementos como cromo, molibdênio e vanádio na escória aplicada à agricultura não causam nenhum efeito ambiental.

Apesar das tentativas de utilização das escórias como fertilizante, o baixo teor de fósforo impossibilita seu uso. O teor de  $P_2O_5$  da típica escória LD (1-3% em peso) é muito baixo para torná-lo um substituto direto. Porém, estudos que estão sendo desenvolvidos visam o enriquecimento da escória em nutrientes, objetivando a sua utilização não só como fertilizante, mas também como um melhor corretivo de solo [7].

## 2.5 Fabricação de Cerâmica

A indústria de cerâmica vermelha tem uma grande capacidade de absorção de resíduos devido à variabilidade natural das características das argilas, que se constituem na principal matéria-prima utilizada na sua fabricação. Sendo assim é possível incorporar, como matéria-prima, a escória de aciaria LD em sua composição. Segundo o estudo de Freitas *et al.* [14] ao se fabricar cerâmicas com argila, escória de aciaria LD e filito, não houve variação significativa nas propriedades de um material cerâmico tradicional, sobretudo quando a queima foi realizada em temperaturas superiores a 1000°C. Além do mais, foi observado que ao incorporar 30% de escória de aciaria, 50% de filito e 20% de argila, o material cerâmico final apresentou boa resistência mecânica.

## 2.6 Fabricação de Vitrocerâmicas

Vitrocerâmicas são materiais policristalinos produzidos a partir da cristalização controlada de partículas de vidro. Neste processo o uso da escória de alto-forno como matéria-prima já é um processo conhecido, no entanto a utilização de escória de aciaria para o mesmo fim ainda constitui-se em um desafio. A escória de aciaria possui baixa concentração de  $SiO_2$  e composição química variável, o que limita o

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



seu uso. Experimentos desenvolvidos por Ferreira, Zanotto e Scudeller [15] revelam que é possível obter vitrocerâmicas a partir de escória de aciaria, com o devido ajuste da composição química da mistura através de adições de areia e carbonato de sódio. Por exemplo a mistura contendo 60% em peso de escória, 35% areia e 5%  $\text{Na}_2\text{O}$  (após fusão a  $1350^\circ\text{C}$ ) obteve excelentes resultados.

## 2.7 Utilização como Catalizador na Produção de biocombustíveis

Kashiwaya *et al.*[16] estudou a possibilidade de utilização da escória de aciaria LD como catalisador na produção de biodiesel. Sendo assim o objetivo da escória dentro do processo é favorecer ao aumento do teor éster metílico de ácido graxo. O uso da escória LD sem nenhum tratamento prévio resultou em apenas 2% de elevação deste teor. Todavia a mesma escória, após passar por um tratamento térmico a  $1000^\circ\text{C}$  durante 24 horas resultou em uma elevação de 56% do teor do éster metílico. Isso ocorreu pois o calor tratamento aumentou o teor de  $\text{CaO}$  livre através das reações de decomposição de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  e  $\text{CaCO}_3$ .

## 2.8 Recuperação de Teores Metálicos

Várias técnicas vêm sendo estudadas com o objetivo de recuperar os valores metálicos presentes na escória de aciaria, como por exemplo, processos gravimétricos, magnéticos, pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos. Segundo Das *et al.* [6], processos pirometalúrgicos como a fundição foram estudados para a recuperação de metais valiosos, tais como vanádio, cromo a partir de escórias LD. Outro estudo desenvolvido por Aarabi-Karasgani *et al.*[17] recuperou 95% do vanádio contido na escória através do processo de lixiviação com ácido sulfúrico (processo hidrometalúrgico). O vanádio é um elemento de elevado valor no mercado, usado quase que exclusivamente em ligas ferrosas e não ferrosas, devido às suas propriedades físicas, tais como elevada resistência à tração, dureza, e resistência à fadiga. E, portanto, além de depósitos de minério de vanádio, escórias da indústria de ferro podem se tornar uma importante fonte deste material.

## 3 LAMA DE ACIARIA LD

A lama de aciaria LD é um resíduo resultante do sistema de lavagem dos gases da aciaria durante a produção de aço via convertedor LD. Sua produção é da ordem de 18 a 36kg por tonelada de aço produzido [6,18,19]. Esta lama possui um alto teor de espécies ferrosas, cerca de 75 a 80%, normalmente na forma de óxidos. Além de cal ( $\text{CaO}$ ) proveniente da calcita introduzida no convertedor; de um pequeno teor de óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ) que está associado ao agente dessulfurante da sílica ( $\text{SiO}_2$ ) que pode ser proveniente da oxidação do silício presente no ferro gusa. Já o teor de óxido de zinco ( $\text{ZnO}$ ) está associado à utilização de sucata galvanizada nas cargas das painéis de conversão [19]. Um exemplo de composição da lama fina de aciaria é mostrado no Quadro 2.

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.

**Quadro 2.** Composição típica da lama fina de aciaria LD [19]

Constituintes	% em peso
SiO <sub>2</sub>	1,86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12
Fe/FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	74,03
TiO <sub>2</sub>	0,90
CaO	16,50
MgO	3,42
K <sub>2</sub> O	0,16
Na <sub>2</sub> O	0,33
ZnO	2,78

As diferentes fases minerais identificadas neste resíduo são hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de ferro (FeO), magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), ferro metálico (Fe), calcita (CaCO<sub>3</sub>), óxido de cálcio (CaO) e quartzo (SiO<sub>2</sub>). Já o zinco é encontrado sob as formas de zincita (ZnO) e franklinita ou ferrita de zinco (ZnO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [6,20,21].

A lama coletada é normalmente classificada de acordo com sua granulometria em lama fina e lama grossa. Cerca de 20% da lama de aciaria corresponde à fração grossa, que normalmente é reciclada devida a pequena concentração de elementos indesejáveis como zinco, chumbo e cádmio que tendem a se concentrar nas partículas mais finas [21]. Enquanto a parte fina não pode ser reciclada devido ao teor crescente de zinco presente. Além do mais como a lama fina de aciaria LD é classificada pela norma brasileira ABNT-NBR 10004/2004 [22] como um resíduo classe IIA (não perigoso e não inerte), sua destinação em aterros industriais é um processo oneroso, sendo por este motivo muitas vezes armazenada pelas indústrias. Sendo assim a busca pela viabilidade da reciclagem e da reutilização vem crescendo, e para que isso ocorra na maioria das vezes são necessárias extensivas operações de separação de contaminantes. A seguir são citadas as principais formas de reaproveitamento deste resíduo.

### 3.1 Reciclagem da Lama de Aciaria LD

Uma solução atrativa para o aproveitamento da lama de aciaria é sua reciclagem através da aglomeração, seja por meio da sinterização, pelotização, ou até mesmo através da formação de briquetes.

No entanto, apesar da apreciável quantidade de ferro, o teor crescente de zinco presente neste resíduo devido ao uso cada vez maior de sucata galvanizada vem impossibilitando sua reciclagem. Pois caso a lama contendo elevados teores de zinco seja reciclada, o acúmulo desse metal pode contribuir para a formação de uma crosta que impregna a parede refratária do alto-forno, acarretando em problemas operacionais. Além do zinco a lama LD pode conter outros componentes nocivos como chumbo, cádmio, além de álcalis (óxido de sódio (Na<sub>2</sub>O) e óxido de potássio (K<sub>2</sub>O)), que também podem gerar problemas operacionais no alto-forno. Portanto, é imprescindível remoção dos contaminantes, caso se deseje reciclar a lama LD no processo de produção de aço [23].

Rotas pirometalúrgicas ou hidrometalúrgicas e até mesmo híbridas (piro e hidrometalúrgicas) são avaliadas para o tratamento das lamas com o objetivo da retirada dos elementos indesejáveis.

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



Os métodos pirometalúrgicos consistem em vaporizar o zinco através de equipamentos que trabalham em altas temperaturas e envolvem altos custos energéticos. Enquanto os processos hidrometalúrgicos possui como vantagem uma maior flexibilidade nas plantas e maior economia devido ao menor capital de investimento e custos operacionais. Há também benefícios ambientais em comparação com a rota pirometalurgia devido à ausência de problemas associado com gases e poeiras. Desta forma a investigação no campo da hidrometalurgia está se cada vez maior [20].

No entanto a rota hidrometalúrgica, que se baseia na lixiviação seletiva em pH alcalino, possui um grande desafio. Como grande parte do zinco está sob a forma de franklinita, este processo se torna pouco eficiente, pois esta espécie de zinco não é lixiviável. Sendo assim processos híbridos estão sendo avaliados para solucionar este problema. O processo sugerido por Silva *et al.* [24,25] consiste de duas etapas, uma pirometalúrgica a baixas temperaturas, na qual é realizada a calcinação alcalina da lama na presença de NaOH com o objetivo de converter a franklinita em espécies lixiviáveis em pH's alcalinos, seguida de outra hidrometalúrgica, na qual é realizada uma lixiviação seletiva frente ao ferro, utilizando-se uma solução de NaOH.

Sendo assim grande parte dos estudos para a remoção do zinco da lama de aciaria de forma viável para a indústria ainda estão em andamento.

É importante ressaltar também que em certas lamas como as geradas durante a produção de aço inoxidável apresenta um alto teor de cromo e níquel sendo portanto consideradas, segundo a norma ABNT-NBR 10004/2004 [22], um resíduo perigoso. A reciclagem deste resíduo, além de resolver o problema de descarte final recuperaria metais de alto valor comercial, sendo eles o cromo e o níquel. A reciclagem desta lama na própria produção de aço inox com certeza acarretaria em economia e conseqüentemente lucro para a indústria [26].

### 3.2 Na fabricação de Cerâmica

A incorporação de resíduos em material argiloso para confecção de cerâmica vermelha se apresenta como uma alternativa tecnológica para reduzir tanto o custo quanto o impacto ambiental causado pela liberação indiscriminada dos resíduos. Sendo assim Vieira *et al.* [19] propôs em seu trabalho a incorporação de lama fina de aciaria LD, em até 20% em peso, na microestrutura de argila caulínica utilizada para a fabricação de tijolos e telhas. Apesar de ser observada uma queda da resistência mecânica neste tipo de cerâmica em relação à cerâmica tradicional, os resultados indicam ser viável tecnicamente a reciclagem de lama fina de aciaria em cerâmica argilosa.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os principais processos de gerenciamento ambiental dos resíduos gerados na aciaria LD foram apontados ao longo do texto e são sucintamente apresentadas no Quadro 3 (escória) e Quadro 4 (lama).

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.

**Quadro 3.** Principais formas de gerenciamentos da escória de aciaria LD

Reciclagem	A escória de aciaria LD possui uma grande capacidade de reciclagem devido ao seu teor de ferro elevado. No entanto é imprescindível a redução do teor de fósforo.
Uso como agregado	É a principal destinação da escória de aciaria, apesar de que o material deve ser devidamente curado e não conter certos elementos para evitar a expansibilidade elevada do material.
Fabricação de cimento Portland	A escória de aciaria LD (granulada e corrigida quanto ao teor de alumina) pode ser utilizada na produção de cimento, substituindo parte do clínquer. No entanto a quantidade de escória LD empregada para este fim é pequena, devido às suas propriedades hidráulicas mais pobres se comparadas à escória granulada de alto-forno.
Utilização na agricultura	O uso da escória LD como corretivo do solo apresenta um aumento no pH do solo, bem como o aumento dos teores de cálcio e de magnésio do complexo de troca. O resultado é uma melhor qualidade e produtividade do solo. Contudo o uso da escória como fertilizante é impossibilitado devido ao baixo teor de fósforo.
Fabricação de cerâmica	A incorporação da escória de aciaria LD na fabricação de cerâmica resulta em uma cerâmica com boa resistência mecânica e características adequadas.
Fabricação de vitrocerâmicas	A utilização de escória de aciaria constitui-se ainda em um desafio devido a baixa concentração de $\text{SiO}_2$ , mas experimentos demonstram ser possível através do devido ajuste da composição química.
Como catalisadores na produção de biocombustíveis	Após a escória de aciaria LD passar por um tratamento térmico, seu uso como catalisador na produção de biocombustíveis se mostrou eficiente.
Recuperação de teores metálicos	Estudos têm buscado a recuperação de valores metálicos da escória de aciaria LD, tais como vanádio, cromo, através de métodos piro ou hidrometalúrgicos.

**Quadro 4.** Principais formas de gerenciamentos da lama de aciaria LD

Reciclagem	Apesar da apreciável quantidade de ferro a presença de elementos como zinco, chumbo, cádmio, além de álcalis, impossibilita sua reciclagem direta na sinterização. Porém da mesma forma que a lama de alto-forno, a fração mais grossa por conter menor quantidade destes elementos, é separada e direcionada a reciclagem; enquanto estudos buscam rotas para a remoção principalmente do zinco da fração mais fina.
Fabricação de cerâmica	A incorporação da lama de aciaria LD tem se mostrado uma alternativa viável que pode, inclusive, trazer benefícios ao produto final.

Pode-se concluir que a escória possui várias possibilidades de reutilização em processos como na construção civil e na indústria cerâmica, portanto é possível sim obter um melhor aproveitamento deste resíduo e conseqüentemente dos recursos naturais contidos nele. Já a lama de aciaria, devido sua característica de elevado teor de ferro, possui como grande possibilidade a reciclagem dentro da siderurgia, no entanto esta reciclagem atualmente é impossibilitada devido ao alto teor de zinco.

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.



## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES, FAPEMIG e INCT-AQUA pelo apoio à pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- 1 CONAMA. Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002. Publicada no DOU nº 226, 22 de novembro de 2002, Seção 1, páginas 85-91.
- 2 Instituto Aço Brasil - IABr. Relatório de Sustentabilidade 2013 [acesso em 2 nov. 2013]. Disponível em:  
[http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/downloads/relatorio\\_sustentabilidade\\_2013v3.pdf](http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/downloads/relatorio_sustentabilidade_2013v3.pdf).
- 3 Geyer RMT. Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto [tese doutorado em Engenharia Metalúrgica]. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2001. p.187.
- 4 Waligora J, Bulteel D, Degrugilliers P, Damidot D, Potdevin JL, Measson M. Chemical and mineralogical characterizations of LD converter steel slags: A multi-analytical techniques approach. *Material Characterization*, 2010;61:39-48.
- 5 Benquerer RA. Gerenciamento de resíduos sólidos em siderúrgicas integradas a coque [dissertação de mestrado em Engenharia Metalúrgica]. Belo Horizonte: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais; 2000. p.225.
- 6 Das B, Prakash S, Reddy Psr, Misra VN. An overview of utilization of slag and sludge from steel industries. *Resources, Conservation and Recycling*. 2007;50:40-57.
- 7 Lopéz FA, Balcázar N, Formoso A, Pinto M, Rodríguez M. The recycling of Linz–Donawitz (LD) converter slag by use as a liming agent on pasture land. *Waste Management & Research*. 1995;13:555-568.
- 8 Marhual NP, Pradhan N, Mohanta NC, Sukla LB, Mishra BK. Dephosphorization of LD slag by phosphorus solubilising bacteria. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2011;65:404-409.
- 9 Polese MO, Carreiro GL, Silva NG, Silva MR. Caracterização Microestrutural da Escória de Aciaria. *Revista Matéria*. 2006;11(4):444-454.
- 10 Branco VTFC. Caracterização de misturas asfálticas com o uso de escória de aciaria como agregado [dissertação de mestrado em Engenharia Civil]. Rio de Janeiro: Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2004. p.153.
- 11 Nascimento JF. Estudo da expansibilidade em escória de aciaria para uso em pavimentação rodoviária [dissertação de mestrado]. Belo Horizonte: Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais; 2003. p.177.
- 12 Masuero AB, Vilela AC, Molin D. Estabilização e viabilidade técnica da utilização de escórias de aciaria elétrica. *Ambiente Construído (São Paulo)*, Porto Alegre. 2004;4(2):57-82.
- 13 Conjeaud M, George CM, Sorrentino FP. A new steel slag for cement manufacture: mineralogy and hydraulicity. *Cement and Concrete Research*. 1981;11:85-102.
- 14 Freitas MC, Moreira BS, Rabelo AA, Acchar W, Oliveira RMPB. Efeito da incorporação de filito e escória de aciaria nas propriedades tecnológicas de cerâmicas estruturais. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais; 2012; Joinville. CBECIMat; 2012. p.2444-51.
- 15 Ferreira EB, Zanotto ED, Scudeller LAM. Nano vitrocerâmica de escória de aciaria. *Química Nova*; 2002;25(5):731-735.

\* *Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.*



- 16 Kashiwaya Y, Toishi K, Kaneki Y, Yamakoshi Y. Catalytic effect of slags on the formation of biodiesel fuel. *ISIJ International*. 2007;47(12):1829-31.
- 17 Aarabi-Karagani M, Rashchi F, Mostoufi N, Vahidi E. Leaching of vanadium from LD converter slag using sulfuric acid. *Hydrometallurgy*. 2010;102:14-21.
- 18 Maciel GS, Andrade PM, Intorne SC, Vernilli JF, Monteiro SN, Vieira CMF. Alterações microestruturais e inertização de lama fina de aciaria em cerâmica argilosa. In: 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais; 2006. CBECIMat; 2006. v.1, p.2195-06.
- 19 Vieira CMF, Intorne SC, Vernilli JF, Monteiro SN. Cerâmica vermelha incorporada com lama fina de aciaria. *Revista Matéria*. 2007;12(2):269-275.
- 20 Trung ZH, Kukurugya F, Takacova Z, Orac D, Laubertova M, Miskufova A, Havlik T. Acidic leaching both of zinc and iron from basic oxygen furnace sludge. *Journal of Hazardous Materials*. 2011;192:1100-07.
- 21 Cantarino MV, Cotta LCS, Mansur MB. Avaliação de rota híbrida aplicada à remoção seletiva de zinco contido na lama de aciaria LD. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*. 2012;9(1):37-41.
- 22 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro; 2004.
- 23 Makkonen HT, Heino J, Laitila L, Hiltunen A, Pöyliö E, Härkki J. Optimisation of steel plant recycling in Finland: dusts, scales and sludge. *Resources, Conservation and Recycling*. 2002;35:77-84.
- 24 Silva EAO, Rodrigues MV, Villegas EA, Mansur MB. Estudo da reação de decomposição da franklinita presente na lama fina de aciaria LD. In: Anais do 68º Congresso ABM Internacional; 2013; Belo Horizonte, Brasil. São Paulo: ABM; 2013. p.2166-72.
- 25 Silva EAO, Lobato NCC, Rodrigues MV, Villegas EA, Mansur MB. Thermal decomposition of franklinite present in basic oxygen furnace sludge. In: 9th Japan-Brazil Symposium on Dust Processing Energy-Environment in Metallurgical Industries; 2013. p.343-351.
- 26 Nolasco-Sobrinho PJ, Espinosa DCR, Tenório JAS. Characterisation of dusts and sludges generated during stainless steel production in Brazilian industries. *Ironmaking and Steelmaking*. 2003;30(1):11-17.

---

\* Contribuição técnica ao 45º Seminário de Aciaria – Internacional, 25 a 28 de maio de 2014, Porto Alegre, RS, Brasil.