

PROCESSO DE ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DA ESCÓRIA DE ACIARIA PARA UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL POR MEIO DO SEQUESTRO DE CARBONO

Erivelto L. de Souza^{1*}, Fabrício M. de Mendonça² e Orimar B. dos Reis³

1 – Departamento de Tecnologia em Engenharia Civil, Computação, Automação, Telemática e Humanidades, Campus Alto Paraopeba, Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ). Rodovia MG 443, km 7 – Fazenda do Cadete, Ouro Branco. CEP 36.490-972, MG. souza.erivelto@ufsj.edu.br

2 – Departamento de Ciências Administrativas e Contábeis, Campus Tancredo Neves, Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ). Av. Visconde do Rio Preto, S/N - Colônia do Bengo, São João Del-Rei. CEP 36300-000, MG.

3 – Coordenação de Metalurgia, Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto (IFMG-OP). Rua Pandiá Calógeras, 898, Morro do Cruzeiro, Ouro Preto. CEP 35400-000, MG.

RESUMO

Dos vários tipos de resíduos gerados pela siderurgia, as escórias sempre foram as mais objetivadas a serem recuperadas e recicladas. A escória de alto-forno é bem definida na sua reciclagem, contudo, a escória de aciaria, por sua vez, já encontra dificuldades em ser aproveitada devidamente, principalmente no que se refere à sua grande basicidade. A produção de aço bruto no Brasil entre 2011 e 2020, segundo o Instituto Aço Brasil, foi de cerca de 337 milhões de toneladas. Isso gerou em média cerca de 40 milhões de toneladas de escória de aciaria. No presente trabalho apresenta-se a viabilidade de se utilizar as escórias de aciaria na construção civil. Devido à sua instabilidade química e sua estrutura física degradável, a escória de aciaria, considerada um resíduo da fabricação do aço e um subproduto desse processo, é pouco recomendada ao uso direto em construção, já que sua degradação, expansividade e baixa resistência prejudicam a estabilidade do produto final. Para tanto desenvolveu-se uma análise de tratamento da escória, na qual ela foi submetida a um processo de hidroxilação e carbonatação. Os testes foram feitos para avaliarem métodos de capturar CO₂ de fumaças e estabilizar os óxidos (CaO, MgO) livres na escória de aciaria, transformando-os em carbonatos, melhorando sua estabilidade química e física, viabilizando a reutilização e reciclabilidade deste resíduo.

Palavras-chave: Escória de aciaria; carbonatação de escória; sequestro de carbono; reciclagem de resíduos siderúrgicos; construção ecológica.

INTRODUÇÃO

Nas siderúrgicas a escória produzida durante a produção do aço é, em sua maior parte, descartada. Essa escória é composta predominantemente por óxido de cálcio (CaO) que ao ser exposta ao meio ambiente reage com a umidade deste formando o hidróxido de cálcio, Ca(OH)₂. Como o Ca(OH)₂ é menos resistente que o próprio CaO e, ao ser formado, causa expansão da escória, esse fenômeno químico causa uma queda da resistência mecânica e torna o aproveitamento desse material inviável para a construção civil. Por terem que descartar estes

resíduos as siderúrgicas acabam tendo gastos relevantes para dar uma destinação final a esse tipo de material, o que, na maioria das vezes, ocorre por meio da criação de aterros, impactando negativamente ao meio ambiente e aumentando os níveis de riscos para a população que vive nas regiões próximas^(2,4).

A demanda do sistema econômico atual acarreta um grande prejuízo por conta dos impactos socioambientais. Do ponto de vista ecológico e da própria coexistência da vida no planeta, este modelo precisa, com muita atenção, ser revisado, para que, com isso, o desenvolvimento sócio econômico e tecnológico ocorra, mas de forma responsável e sustentável. Esta revisão no modo de produzir não se traduz, necessariamente, numa diminuição do ganho econômico, para isso, é importante que seja feito com base em soluções lúcidas e factíveis. Neste momento do século XXI, torna-se necessário compreender e aceitar que para que o desenvolvimento sustentável ocorra de forma estável deve-se escolher um caminho inovador e inteligente. Tem-se visto, cada vez mais, industriais com mais consciência, que vêm se adaptando às cobranças de órgãos financeiros internacionais, que o fazem no intuito de estimular processos mais sustentáveis e, definitivamente, trazer à tona uma gestão efetivamente compromissada com a recuperação e precaução de uma crise ambiental^(1,6).

As escórias são, efetivamente, os resíduos mais gerados na siderurgia. A escória de aciaria é tratada, praticamente, para retirada de resquícios de aço que estão presentes na mesma. Uma vez capturado o conteúdo metálico, o restante é descartado. Busca-se uma redução da geração de resíduos sólidos na indústria siderúrgica. O estudo da possibilidade do aproveitamento da escória de aciaria nos diversos segmentos da construção civil se traduz em uma grande oportunidade de lidar com esta situação, e toma grande importância, permitindo uma oferta de materiais de construção mais baratos e tornando o resíduo em um coproduto. Embora no Brasil se utilize muito mais a escória da aciaria que o resto do mundo, a quantidade estocada ainda é significativamente elevada^(4,5,7).

A expansividade da escória de aciaria é causada pela formação do hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) que também torna a escória mais fraca mecanicamente. A escória expande 0,5% a cada 1% de CaO livre (densidade $3,34 \text{ g/cm}^3$) presente nela, ou seja, para um teor de 12% de CaO livre, após a formação do hidróxido, Ca(OH)_2 (densidade $2,21 \text{ g/cm}^3$), a escória expande-se 6% do volume^(8,9,10).

MATERIAIS E MÉTODOS

As fases componentes da escória foram identificadas por análise de difração de raios-x e a composição da parte metálica foi analisada em um equipamento de dispersão de raios-x.

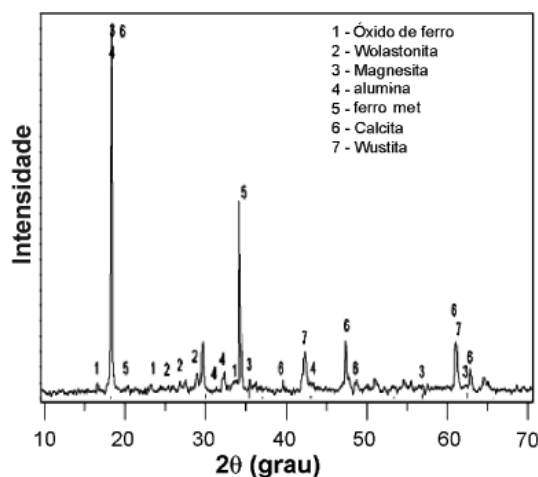


Figura 1: Difractometria de Raios-X – Escória de Aciaria LD.

A escória de aciaria foi, inicialmente, submetida a um peneiramento e posterior moagem de material acima de 15mm. O material após moagem é homogeneizado e quarteadado.



Figura 2: Moinho para grãos maiores – laboratório Geotecnia – CAP/UFSJ.

A amostra de escória após moagem, foi analisada para conhecimento de seus componentes e posteriormente submetida a separação magnética.

Tabela 1: Composição química prévia da Escória de Aciaria.

E1	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	Fe ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	Fe _{met}
%	8,52%	3,72%	32,17%	4,79%	14,53%	6,64%	1,65%	0,11%	3,08%	0,42%	23,62%

Tabela 2: Composição química da Escória de Aciaria após retirada do composto metálico.

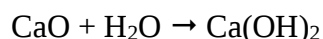
E2	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	Fe ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	Femet
%	11,12%	4,76%	42,02%	6,30%	20,12%	8,45%	1,32%	0,17%	4,43%	0,54%	0,64%



Figura 3: Homogeneização das Amostras da Escória de Aciaria.

Submeteu-se a amostra de escória a um aquecimento sequencial: i) 120°C por 24h, com a finalidade de avaliar o quanto esta escória tem de umidade, ao mesmo tempo promovendo a retirada desta umidade; ii) 450°C por 24h, com a finalidade de retirar toda a água estrutural da escória, revertendo qualquer hidróxido presente em óxido novamente; iii) 950°C por 24h, decompondo todo carbonato já presente nos óxidos originais.

O processo de hidroxilação acarretou um aumento da massa e do volume da escória, mas diminuiu sua resistência mecânica. O CaO que se hidrata é somente o que está livre na escória.



O processo de carbonatação também aumenta a massa da escória após sua reação, contudo, o aumento de volume é menor, isso porque o carbonato de cálcio formado tem uma densidade maior do que o hidróxido de cálcio e a CaO original.

Reação de carbonatação: $\text{Ca(OH)}_{2(\text{S})} + \text{H}_2\text{CO}_{3(\text{L})} \rightarrow \text{CaCO}_{3(\text{S})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{L})}$

Planta de Tratamento de Carbonatação da Escória

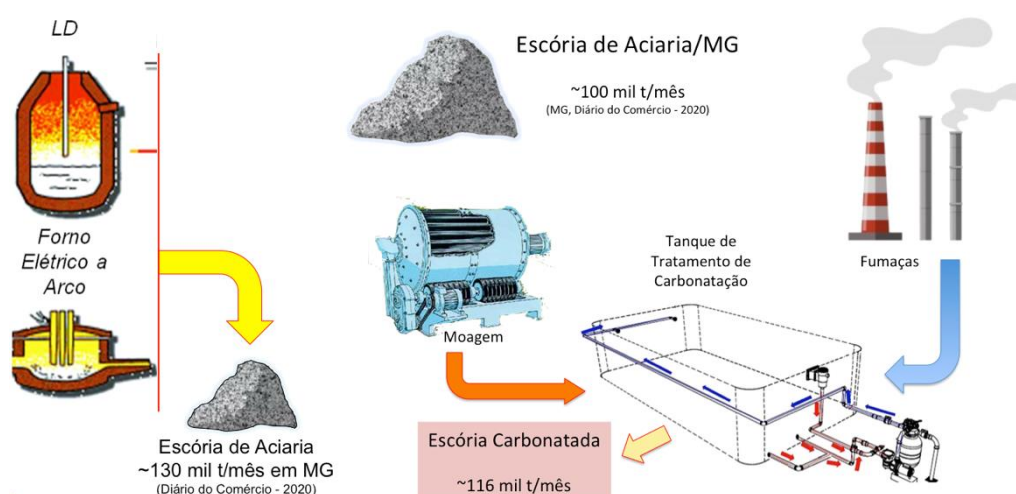


Figura 4: Processo - Etapa de tratamento da Escória de Aciaria.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A medição do teor de CaO livre na cal virgem foi realizada via úmida por digestão nitroperclórica. O teor de CaO livre (calculado) das amostras de escória foi avaliado diretamente pela medida de pH após dissolução das amostras em água destilada, em função de ser uma base forte. Uma escória com 12% de CaO Livre, após hidroxilação, aumenta 3,86% na massa e 3,58% no seu volume. Por fim, a formação do carbonato de cálcio aumenta 9,43% da massa, e 4,31% do volume.

Tabela 3: Composição química da Escória de Aciaria após retirada do composto metálico.

CaO Livre		Hidroxilação		Carbonatação	
Calculada	Medida	↑m calc	↑m medida	↑m calc	↑m medida
12,28%	11,98%	3,86%	3,77%	9,43%	9,20%

CONCLUSÕES

Com a reação de carbonatação o CaO livre se torna passivo, em função da baixa solubilidade do carbonato de cálcio frente aos outros dois compostos de cálcio envolvidos. O carbonato de cálcio é quase insolúvel em água e sua estrutura é mais resistente do que o hidróxido de cálcio e do que o CaO, assim torna a escória carbonatada passiva quimicamente e aumenta sua resistência mecânica. Ainda, no processo, sequestra-se carbono das fumaças geradas pela

empresa. Logo, cada tonelada de escória de aciaria, com 11,98% de CaO livre, é capaz de capturar 94,13 kg de CO₂ da atmosfera. O processo de carbonatação da escória de aciaria é um fator de grande importância para a viabilidade de recuperação deste resíduo, melhorando sua estrutura química a ponto da mesma não sofrer ataques por hidratação, uma vez que o carbonato formado é de baixa solubilidade em comparação com o hidróxido de cálcio. Os demais óxidos presentes na escória pouco interferem no processo de hidratação e carbonatação. A escoria carbonatada viabiliza também a captura do CO₂ de fumaças, geradas pelas mesmas empresas que produzem esta escória, reforçando a sustentabilidade do processo de carbonatação pelo sequestro de carbono praticado.

AGRADECIMENTOS

Ao meu departamento, DTECH, e à área de Engenharia de Computação, pelo apoio. Aos professores Fabrício e Orimar pela parceria. À UFSJ pelo incentivo. Ao CBECiMat pela oportunidade. Ao professor Tales e ao Técnico Marcus pela ajuda nos testes. Aos alunos Higor e Isabella por se empenharem na execução do projeto.

REFERÊNCIAS

1. DUARTE, L.N.; SOUZA, E.L.; OLIVEIRA, T.M.; BORGES, P.R. “Análise da Estabilização da Expansividade e da Carbonatação da Escória de Aciaria para Uso na Engenharia Civil”. PIIC/2017-2018. Editais 006/2016/PROPE. UFSJ. 2018.
2. FREITAS, S.M.A.C.; ASSIS, P.S. Escória de Aciaria: Caminhos para uma Gestão Sustentável. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. REDEMAT. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais. Abril de 2018.
3. INSTITUTO AÇO BRASIL. A Siderurgia em Números – 2021. Pocket Yearbook. Ministério da Economia / Secretaria de Comércio Exterior, Asociación Latinoamericana del Acero, World Steel Association. Rio de Janeiro, Junho/2021.
4. JULIANO, P.G.R.P. Meio ambiente e relações internacionais: uma discussão sobre a crise ambiental e a ausência de uma organização internacional para meio ambiente no âmbito das Nações Unidas, 2011. ISBN 2236-7381. 3º Encontro Nacional, abril de 2011.
5. NEVES, M.S. Aproveitamento da Escória de Aciaria nas Indústrias. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), apresentado ao Curso de Graduação em Tecnologia em Processos Metalúrgicos, da UEZO como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Tecnólogo em Tecnologia em Processos Metalúrgicos. Janeiro de 2018.
6. SOUZA, E.L.; DUARTE, L.N.; OLIVEIRA, T.M. “Contribuição Geotécnica ao Estudo de Estacas Tipo RAP Modificada para Pequeno Diâmetro”. PIIC/2015-2016. Editais 003/2015/PROPE. UFSJ. 2017.
7. SOUZA, E.L.; DUARTE, L.N.; OLIVEIRA, T.M. “Incorporação de Resíduo Siderúrgico em Pré Misturado a Frio”. PIIC/2015-2016. Editais 003/2015/PROPE. UFSJ. 2017.
8. SOUZA, E.L.; GOMES, G.S.L.; ASSUNÇÃO, D.D.; PEREIRA, D.F. “Captura do CO₂ dos Gases de Secagem em Piscinas de Decantação para Tratamento de Água de Processo”. In: 21 Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2014, Cuiabá, MT. 21 CBECiMat. São Paulo, SP: Metallum, 2014. v. 1. p. 58-58.
9. SOUZA, E.L.; MENDONÇA, F.M.; PEREIRA, D.F. Processo de Recuperação, Passivação e Utilização de Resíduos Industriais na Construção Civil – RESCON. Estudo da Viabilidade Técnica, Econômica, Comercial e do Impacto Ambiental e Social. Congonhas for Science. Neo Venture. 2020.
10. SOUZA, E.L.; MONTEIRO, I.E.; COELHO, H. Processo de Estabilização Química e Física da Escória de Fornos Elétricos por Processo de Passivação Por Carbonatação. PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – PIIC / 2017-2018. UFSJ.

CHEMICAL AND PHYSICAL STABILIZATION PROCESS OF STEEL SLAG THROUGH CARBON SEQUESTRATION FOR USE IN CIVIL CONSTRUCTION

ABSTRACT

Of the various types of waste generated by the steel industry, slag has always been the most targeted to be recovered and recycled. The blast furnace slag is well defined in its recycling, however, the steel slag, in turn, already finds difficulties in being properly used, mainly with regard to its great basicity. Crude steel production in Brazil between 2011 and 2020, according to Instituto Aço Brasil, was around 337 million tons. This generated on average around 40 million tons of steel slag. This presented work addresses the feasibility of using steel slag in civil construction. Due to its chemical instability and its degradable physical structure, the steel slag, considered a waste from steel manufacturing and a by-product of such process, is not recommended for direct use in construction, since its degradation, expansiveness and low strength, impair the stability of the final product. Due to that, an analysis method of the treatment of the slag was developed, in which it was then subjected to a process of hydroxylization and carbonation. The tests were carried out with the aim of evaluating methods of capturing CO₂ from smoke, and stabilizing the free oxides (CaO, MgO) in the steel slag, transforming them into carbonates, improving its chemical and physical stability, enabling the reuse and recyclability of this residue.

Keywords: *Steel Slag; slag carbonation; carbon sequestration; recycling of steel waste; ecological construction.*