

Proposta do uso do Agregado Siderúrgico como Corretor de Acidez do Solo

Thalisson Wendel da Silva Nascimento¹; 0009-0007-1191-7032
Arthur Oliveira Lima¹; 0009-0000-7544-6451
Guilherme Augusto de Aquino Castilho¹; 0009-0004-8730-3633
Italo Pinto Rodrigues¹; 0000-0002-6832-8358
Ana Claudia Silva de Almeida¹; 0000-0001-8020-0966
Erika Fraga Rodrigues¹; 0000-0001-6874-6835
Amarildo de Oliveira Ferraz¹; 0000-0002-3754-8921
Samantha Grisol da Cruz Nobre¹; 0000-0003-3876-8552

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
thalisson885@gmail.com (contato principal)

Resumo: O agregado siderúrgico é um resíduo cuja origem se dá por meio da produção do aço, em siderurgias. A exponencial manufatura do aço e, conseqüentemente, geração de escória, acarreta problemas de estocagem e gerenciamento de tal resíduo. Se tem por objeto de estudo e referência a pilha de agregado no bairro Brasilândia, em Volta Redonda, na qual tem provocado transtornos aos moradores locais e a empresa geradora. Nesse contexto, objetivou-se apresentar uma solução para redução e reutilização do agregado de maneira viável e sustentável, no setor agrícola seguindo os seguintes passos: Caracterização do resíduo, Ensaio de Lixiviação e Solubilização, Testes experimentais, Ensaio Granulométrico, Método CaCl₂ e SMP/ Buffer, Acidificação e Tratamento dos Solos. Em estudos, foi observado a possibilidade da utilização de agregado siderúrgico de aciaria para correção de solos ácidos, por efeito de suas características químicas, altamente alcalinas, para elevação do pH. Os resultados do experimento demonstraram a eficácia da utilização do agregado na redução da acidez dos solos estudados. Espera-se, também, amenizar os impactos na comunidade do bairro Brasilândia, através da redução a médio e longo prazo da pilha de agregado.

Palavras-Chave: Corretivo Agrícola. Fertilização. Escória LD. Elevação do pH.

INTRODUÇÃO

A CSN é uma das maiores produtoras de aço da América Latina, com uma ampla gama de produtos atendendo a diversos setores (IBGE, 2016). No entanto, como toda produção industrial, a produção de aço gera subprodutos como a escória. A escória é produzida durante o processo de refino do ferro-gusa em conversores de sucata em fornos elétricos.

Segundo matéria publicada no site da Rodrigues (2020), a CSN utilizou por muitos anos o bairro Brasilândia, em Volta Redonda, como local de armazenamento de agregados, que hoje formam uma grande montanha com mais de 20 metros de altura, ultrapassando o limite estabelecido por lei, que é de 3 a 4 metros (O DIA, 2022; GOV, 2010). Essa pilha

de agregado siderúrgico não metálico tem causado sérios problemas para a população local, como emissões de poeira que prejudicam a saúde respiratória, poluição ambiental, redução da qualidade de vida e desvalorização do mercado imobiliário.

O objetivo deste artigo é propor uma solução sustentável e viável de forma a reduzir a pilha de agregado siderúrgico e, melhorar a qualidade de vida dos moradores locais, utilizando o agregado, para fins agrícolas, como corretivo de acidez do solo. A correção de acidez do solo é um processo essencial para a agricultura, pois contribui para melhorar a fertilidade e a produção agrícola (IBF, 2020).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A acidificação do solo acontece por causa dos fortes intemperes, da retirada natural de nutrientes pelas plantas, pelo uso de fertilizante, pela ação de microrganismos na decomposição de resíduos vegetais e pelo manejo do solo. (WALLY, 2001)

A Figura 1 a seguir apresenta a composição química da escória de aciaria de algumas empresas siderúrgicas. De acordo com informações apresentadas na Figura 1, tendo por base a usina da CSN, percebe-se a presença de metais. Estes, após passar pela esteira magnética, são retirados e reutilizados no processo da fabricação do aço, voltando para o processo como sucata. Dessa forma, após beneficiamento, o agregado siderúrgico, parte não metálica da escória de aciaria, é armazenada em pilhas a céu aberto (FREITAS, 2018).

Figura 1 – Composição da Escória de Aciaria.

Usinas ²	Composição química da escória de aciaria (%)							
	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	Fet	S	P ₂ O ₅
CST	45,2	5,5	0,8	12,2	7,1	18,8	0,07	2,75
Belgo Mineira	47,0	8,0	1,5	15,0	3,0	19,0		
USIMINAS	41,4	6,2	1,4	11,0	6,3	22,0		1,80
AÇOMINAS	45,6	9,5	0,7	12,0	6,6	16,7		2,23
GERDAU – Cocais	36,2	12,5	0,9	15,4	5,8	21,0	0,04	1,01
MANNESMANN	43,0	7,0	0,8	15,0	3,0	22,0	0,20	1,60
CSN	35,0	6,0	4,0	15,0	3,5	19,7	0,34	0,70

Fonte: (RODRIGUES, 2007)

Os solos apresentam semelhanças com ácidos fracos, sendo a principal delas a característica de que apenas uma fração da acidez total se manifesta como acidez ativa, medida pelo pH. A maior parte da acidez permanece na forma de acidez potencial, que corresponde ao hidrogênio não dissociado. De maneira semelhante aos ácidos fracos,



os solos também exibem um notável poder tampão, o que resulta em variações mínimas de pH quando pequenas quantidades de ácido ou base são adicionadas. (RAIJ, 1981) A eficácia do uso do agregado como corretivo agrícola e de acidez se relaciona com o tamanho das partículas (WALLY, 2001, 2005). Através dos estudos de Fortes (1993), em diferentes distribuições granulométricas, concluiu-se que os melhores resultados foram apresentados com partículas menores que 0,15 mm. Dessa forma, observou-se, também, que a reatividade das partículas, no solo, necessita estar na faixa máxima granulométrica de 2 mm.

Pode ocorrer a variação da composição química das escórias levando em análise a matéria-prima utilizada, produção, resfriamento, armazenamento entre outros (RODRIGUES, 2007).

METODOLOGIA

Com o objetivo de formular e propor uma resolução para o problema como a solução apresentada por Melo (2013), fez-se necessário realizar diversos experimentos laboratoriais. A descrição e resultados dos testes são apresentados na próxima seção.

- 1) Caracterização do resíduo de acordo com a NBR 10.004.
- 2) Ensaio de Lixiviação e Solubilização: Depois foi realizado o teste de lixiviação e solubilização seguindo o padrão da NBR 10.005 e 10.006.
- 3) Testes experimentais: Para concepção do experimento, foi utilizada uma amostra do agregado siderúrgico de aciaria, da empresa CSN, localizado na pilha de agregado no bairro Brasilândia. Foram, também, coletados os solos escolhidos para acidificação, tratamento e análise no laboratório.

3.1) Ensaio Granulométrico: Após caracterização do resíduo e análises laboratoriais, foi realizado o ensaio de granulometria (NBR NM 248).

Para tal, foi pesado a quantidade de amostra de agregado siderúrgico, que passou pelo processo de destorroamento e moagem por conta de sua dimensão granulométrica muito grande, e as peneiras vazias. O conjunto de peneiras utilizado nesse projeto foi o de peneiras ASTM 10, 20 e 100, com aberturas de 2,00; 0,85 e 0,150mm.

Após passar pelo destorroamento, quebra do resíduo em almofariz, e moagem, pelo equipamento de moinho de bolas, e pesado, o material foi transposto ao conjunto de

peneiras e submetidos a agitador por 30 minutos. A tabela 1 apresenta o teste realizado nas peneiras.

Para testes em peneiras, foi utilizado, aproximadamente, 1,5 kg de agregado.

3.2) Método CaCl_2 e SMP/ Buffer: Primeiramente, foi feita a análise do pH das amostras de solo pelo método de cloreto de cálcio 0,01 M (CaCl_2) descrito no Manual de Análises de Solo da Embrapa (EMBRAPA, 2009, 2011). Foram medidos 10 mL de cada amostra de solo já seco em estufa, e passado por dessecador, em uma proveta e transferido para um béquer, onde foi adicionado 50 mL da solução de 250 mL de CaCl_2 . As amostras foram agitadas e deixadas em repouso durante uma hora. Após o repouso foi medido o potencial de hidrogênio de cada amostra.

Para a medição do pH pelo método SMP (Shoemaker, Mac lean e Pratt) – método para o cálculo da quantidade de calcário a ser utilizado como corretivo em certa área de solo e a certo pH – foi necessário alterar o método proposto por Grosman (2021) por não haver a solução SMP no laboratório da instituição, não havendo possibilidade de realizá-lo, seguindo a norma do Embrapa. O método SMP foi modificado, utilizando a solução tampão Buffer. Foi adicionado 5 mL de solução tampão Buffer (solução tampão de pH 9) na mesma amostra em que foi medido o pH por CaCl_2 e agitada durante 15 minutos em uma chapa aquecedora com agitador magnético.

3.3) Acidificação e Tratamento dos Solos: Foram pesados 50g de cada solo em um béquer e adicionado 150 mL de água destilada, misturado com o auxílio de um bastão de vidro e verificado pH in natura, ou seja, pH natural do solo. Logo após, foi adicionado ácido acético glacial aos solos e novamente misturado com o bastão e verificado o pH do solo. Foi determinado que o pH ácido de cada solo seria de 5.5, para baixo. Quando, após adicionar o ácido, o pH do solo atingiu o valor estabelecido, foi adicionado 10 e 15% de agregado, misturado e verificado o pH.

3.4) Solos: Os tipos de solos escolhidos para estudo e análise são: Argisolo Vermelho (Figura 2a), Arenoso (Figura 2b) e Orgânico (Figura 2c).

A adição de ácido variou conforme as características de cada solo, não sendo quantificado. O solo argiloso vermelho foi coletado com profundidade de 15 cm. O solo orgânico foi adquirido em uma agropecuária e o solo arenoso foi coletado e fornecido pelo Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA.



Figura 2 – Tipos de Solos utilizados.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Os autores (2025)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a NBR 10.004, a escória foi caracterizada como classe II A – não inerte, sendo assim não perigoso.

Os ensaios de lixiviação e solubilização permitiram identificar que o potencial de hidrogênio (pH) do agregado é 12, altamente alcalino.

A Tabela 1 apresenta, após a agitação, a quantidade de material que passou e ficou retido em cada peneira. O agregado siderúrgico não metálico com dimensão granulométrica maior que 2 mm será submetido ao processo de moagem e destorroamento para diminuição da dimensão granulométrica.

Tabela 1: Teste em peneiras.

PENEIRA ASTM	ABERTURA	PESAGEM VAZIA	PESAGEM COM ESCÓRIA	DIFERENÇA DE PESO
10	2,00 MM	0,416	0,49	0,074
20	0,85 MM	0,371	0,648	0,277
100	0,150 MM	0,3	1,314	1,014
Fundo		0,33	0,474	0,144

Fonte: Os autores (2025)

A partir do Método CaCl₂ e SMP/ Buffer, após 6 e 8 dias de repouso, foi medido o potencial de hidrogênio, conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Potencial de Hidrogênio dos solos após método CaCl₂ e SMP/ Buffer

AMOSTRA	SOLO	DATA	pH antes do repouso	REPOUSO	pH após repouso
1 ^a	ARENOSO	31/05/2023	7,08	8 dias	7,55
2 ^a	ARENOSO	31/05/2023	7,17	8 dias	7,6
3 ^a	ARENOSO	31/05/2023	7,18	8 dias	7,5

4 ^a	ORGÂNICO	31/05/2023	7,33	8 dias	7,65
5 ^a	ORGÂNICO	31/05/2023	7,45	8 dias	7,77
6 ^a	ORGÂNICO	31/05/2023	7,34	8 dias	7,64
7 ^a	ARGILOSO VERMELHO	31/05/2023	4,65	8 dias	6,5
8 ^a	ARGILOSO VERMELHO	31/05/2023	4,55	8 dias	4,85
9 ^a	ARGILOSO VERMELHO	31/05/2023	4,59	8 dias	4,77
10 ^a	ARENOSO	02/06/2023	7,2	6 dias	7,42
11 ^a	ARENOSO	02/06/2023	7,4	6 dias	7,5
12 ^a	ARENOSO	02/06/2023	7,18	6 dias	7,67
13 ^a	ORGÂNICO	02/06/2023	6,94	6 dias	7,73
14 ^a	ORGÂNICO	02/06/2023	7,04	6 dias	7,75
15 ^a	ORGÂNICO	02/06/2023	7,03	6 dias	7,74
16 ^a	ARGILOSO VERMELHO	02/06/2023	4,64	6 dias	4,72
17 ^a	ARGILOSO VERMELHO	02/06/2023	4,6	6 dias	4,67
18 ^a	ARGILOSO VERMELHO	02/06/2023	4,85	6 dias	4,74

Fonte: Os autores (2025).

Em relação à acidificação e tratamento do solo, tem-se: as Tabelas 3 e 4, que apresentam os valores que foram coletados.

Tabela 3: Acidificação dos solos

SOLO	QUANTIDADE EM GRAMA	pH IN NATURA	ÁCIDO ACÉTICO GLACIAL	pH APÓS ÁCIDO
ARENOSO	10g	7,6	5 Gotas	4,5
ORGÂNICO	10g	7,55	5 Gotas	5,1
ARGILOSO VERMELHO	10g	4,55	Sem aplicação	0,0

Fonte: Os autores (2025)

Tabela 4: Tratamento dos solos com agregado.

SOLO	ESCÓRIA - pH			CALCÁRIO 10% - pH
	10%	15%	20%	
ARENOSO	9,5	10,15	10,41	6,3
ORGÂNICO	9,27	9,5	9,98	6,68
ARGILOSO VERMELHO	10,26	10,28	10,54	6,2

Fonte: Os autores (2025)

As características físicas e químicas do agregado siderúrgico de aciaria LD, da CSN, após ensaios e análises laboratoriais, evidenciam a possibilidade da utilização e aplicação do resíduo em questão como alternativa viável, no setor agrícola, como corretivo de acidez de solos, estabelecendo partículas com tamanhos granulométricos

igual ou inferior a 2mm, para elevar o pH dos solos de forma considerável, comparado aos solos tratados com calcário.

CONCLUSÃO

Portanto, a partir dos ensaios realizados em laboratório, conclui-se que, o agregado tem potencial de se tornar um corretivo agrícola de qualidade neutralizando a acidez presente no solo e fornecendo nutrientes necessários ao mesmo. Porém são necessários mais testes para especificar a dosagem ideal. Esses testes continuam sendo realizados em laboratório.

Em uma possível implementação do projeto será necessário dispor de um local para alocar o maquinário necessário: um triturador de rochas, uma esteira para o peneiramento e uma ensacadeira. Também será necessário um controle de qualidade de armazenagem para evitar a contaminação do agregado com metais pesados e tóxicos.

AGREDECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA) pelo apoio institucional e financeiro, por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica PIBIC/CNPq (Resolução Normativa RN-017/2006 do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)).

REFERÊNCIAS

IBF. A importância da correção do solo. Instituto brasileiro de florestas, c2020. Disponível em: <<https://www.ibflorestas.org.br/conteudo/correcao-do-solo>>. Acesso em: 08 de mai. de 2023

ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez do solo: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 1992. 26p. (Boletim Técnico, 6)

ASSIS, P.S. (2015). Notas de aula de MET 130: Siderurgia 2, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais – Escola de Minas – UFOP.

Catálogo. IBGE. Disponível em:<<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=445843>> Acesso em: 08 de mai. de 2023

FREITAS, S. M. A. C. Escória de Aciaria: Caminhos para uma Gestão Sustentável. 2018. 128 folhas. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais.

FORTES, J. L. O. Eficiência de duas escórias de siderurgia, do Estado do Maranhão, na correção da acidez do solo. Viçosa: UFV, 1993. 66f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

GOV. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010.
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm

Melo, Bruno M. R.; Sartori, Raul Henrique. Avaliação da escória de siderurgia e do calcário como corretivos para a cultura cafeeira. Artigo. Revista Agrogeoambiental, Pouso Alegre, v. 5, n. 1, p. 11-18, abr. 2013.

O DIA. Especialistas debatem sobre a montanha de escória em Volta Redonda. O Dia. Disponível em: <<https://odia.ig.com.br/volta-redonda/2022/06/6415305-especialistas-debatem-sobre-montanha-de-escoria-em-volta-redonda.html>> Acesso em: 07 de mai. de 2023

RAIJ, Bernardo van. Avaliação da fertilidade do solo. 1939. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato : Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142 p.

RODRIGUES, Léo. Pilha de escória da CSN deverá ser reduzida para 4 metros de altura. Agência Brasil. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-08/pilha-de-escoria-da-csn-devera-ser-reduzida-para-4-metros-de-altura>>. Acesso em: 08 de mai. de 2023

RODRIGUES, G. L. C. Caracterização e Avaliação da Expansibilidade de Escórias de Aciaria LD não Tratadas e Tratadas. 2007. 171 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

WALLY, M.S.; CASTILHOS, D. D. Alterações químicas e rendimento de sorgo em um Planossolo submetido à aplicação de lodos de curtume. In: Congresso de Iniciação Científica, 10. Anais. Pelotas, UFPel, 2001. p. 487.

WALLY, M.S.; Respostas das Plantas e Modificações de Propriedades do Solo Pela Aplicação de Escória Básica de Aciaria. Porto Alegre. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GROSMAN, A.C; SANTOS, A.L; TEIXEIRA, I; ALMEIDA, L; NASCIMENTO, L. Avaliação técnica do uso da escória de aciaria LD como corretivo de acidez de solo. Volta Redonda. 2021. Dissertação (Projeto de conclusão de curso técnico em química), ETPC.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2ª Edição Revista. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, p. 225. 2011.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ª Edição Revista e Ampliada. Embrapa Solos, Brasília, DF, 2009.