Proposta de protocolo para o uso da escória de aciaria como fertilizante e/ou corretivo de solo em atividades agroflorestais

Luis Fernando Ramos Francisco[1];0009-0000-8304-4882
Ana Carolina Callegario Pereira[1]; 0000-0002-9140-8225
Cirlene Fourquet Bandeira[1]; 0000-0001-7034-2477
Joice Andrade de Araújo[1]; 0000-0003-1713-7268
Rogério Nogueira Pereira [1]; 0000-0001-7042-0199

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
luis.francisco@unifoa.edu.br

O aumento da geração de escória de aciaria, impulsionado pela elevada demanda por aço, traz consigo desafios significativos na gestão de resíduos sólidos industriais. A incorporação dessa escória em sistemas agroflorestais (SAFs) emerge como uma alternativa viável, uma vez que suas propriedades químicas, após o devido beneficiamento, a qualificam como fertilizante e corretivo de solo. Essa prática não apenas mitiga a disposição inadequada de resíduos, como também reduz a exploração de recursos minerais. Contudo, a presença de metais pesados na escória exige o cumprimento rigoroso das normas legais para prevenir a contaminação do solo e dos recursos hídricos. Este estudo propõe um Protocolo de Utilização de Escória de Aciaria em Fertilizantes e Corretivos de Solo para SAFs (PUEAFCSA), que visa avaliar a viabilidade para tal uso. Caracterizado como uma pesquisa aplicada, exploratória e descritiva, este estudo utilizou tanto dados primários quanto secundários, complementados por uma revisão bibliográfica e normativa. Os resultados indicaram que, embora a escória possua potencial benéfico para o solo, a presença de elementos tóxicos demanda a realização de mais testes. O protocolo desenvolvido orienta a realização de análises laboratoriais, comparando os resultados com os padrões vigentes, de modo a apoiar decisões sobre a aplicação sustentável da escória. A realização contínua e diversificada de testes é fundamental para aumentar a confiabilidade dos resultados, assegurando a reutilização segura da escória em conformidade com as normas ambientais.

Palavras-chave: SAF. GAC. Gestão de Resíduo. Solo. EA.

INTRODUÇÃO

A escória de aciaria (EA) é um subproduto gerado ao se remover impurezas durante a produção do ferro-gusa (Ferraro, 2014). Em termos de composição química, a escória de aciaria não é considerada perigosa, mas também não é inerte. De acordo com a norma NBR 10.004 (2004), a EA é classificada como um resíduo Classe IIA. Alguns dos elementos químicos presentes na escória são naturalmente encontrados no solo, o que sugere que ela pode ser usada em atividades agrícolas e na recuperação de áreas degradadas.

Os sistemas agroflorestais (SAFs), que combinam a produção agrícola com a conservação de árvores, utilizam elementos químicos que também são encontrados na escória de aciaria para preparar e enriquecer o solo (Lobe, 2022). Isso torna os SAFs uma opção promissora para o uso da escória de aciaria. No entanto, como a escória pode conter metais pesados e outros elementos potencialmente prejudiciais, é fundamental realizar estudos detalhados para verificar se as concentrações desses componentes estão dentro dos limites seguros estabelecidos pelas normas ambientais.

O objetivo deste estudo foi desenvolver um protocolo para avaliar a possibilidade de usar a escória de aciaria como fertilizante ou corretivo de solo em sistemas agroflorestais. Essa abordagem buscou promover uma integração benéfica entre a indústria siderúrgica e a agricultura, contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

MÉTODOS

Este estudo configurou-se como uma pesquisa aplicada, pois seu principal resultado foi o desenvolvimento do PUEAFCSA - Protocolo para Uso da Escória de Aciaria como Fertilizante e/ou Corretivo de Solo em Atividades Agroflorestais. A pesquisa foi de caráter exploratório e descritivo, bem como a observação, registro, descrição e análise dos dados. O objetivo foi interpretar os fenômenos associados ao potencial poluidor da escória de aciaria, caso seja utilizada em sistemas agrícolas.

Para alcançar esses objetivos, adotou-se uma abordagem qualitativa, utilizando dados obtidos de fontes primárias e secundárias. Além disso, foi realizada uma ampla

revisão da literatura e das normas aplicáveis para fundamentar a análise. Essas etapas permitiram uma compreensão detalhada dos impactos e benefícios potenciais da aplicação da escória de aciaria em contextos agroflorestais, assegurando que seu uso seja ambientalmente seguro e eficaz

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a implantação de sistemas agroflorestais (SAFs), pode ser necessária a aplicação de insumos para corrigir as características do solo, já que os solos brasileiros tendem a ser ácidos e apresentar deficiências de cálcio, magnésio e fósforo. A escória de aciaria, conforme apresentado na Tabela 1, contém uma composição variada que inclui elementos como silício (Si), óxido de ferro (FeO), manganês (Mn), óxido de cálcio (CaO), dióxido de silício (SiO_2), óxido de magnésio (MgO), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de cromo (Cr_2O_3), dióxido de titânio (TiO_2), ferro metálico, dolomita ($CaCO_3.MgCO_3$) e outros elementos traço (Ferraro, 2014). Esses componentes indicam seu potencial uso como corretivo de solo e fonte de nutrientes em SAFs.

Tabela 1 - Composição representativa da escória de aciaria

Óxidos	CaO	FeO	SiO_2	MgO	MnO	Al_2O_3	CaF_2	P_2O_5	TiO_2	Cr_2O_3
%	40,15	24,73	10,24	10,56	7,16	1,7	2,27	1,77	0,5	0,7

Fonte: Santos, 2023.

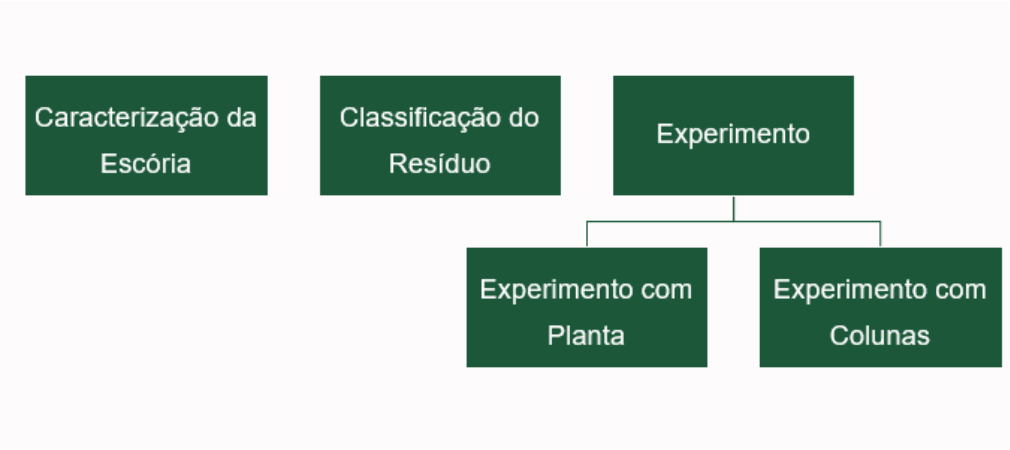
A escória de aciaria possui propriedades químicas que a torna adequada para corrigir a acidez do solo e servir como fonte de silício (Si), além de fornecer micronutrientes como cobre (Cu), zinco (Zn), boro (B), e dióxidos de ferro (Fe) e manganês (Mn). Esses nutrientes são essenciais para as plantas, pois ajudam a otimizar a produção de ácidos húmicos, melhorar o armazenamento de nutrientes e promover o crescimento vegetal (Raimam, 2024). Quando a escória entra em contato com a água (H_2O), o silicato (SiO_3^{2-}), um dos principais componentes da fase mineral da escória, eleva o pH do solo, aumentando os níveis de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e saturação por bases (V%). Além disso, reduz a acidez potencial (H+Al) ao liberar íons OH^-, que

neutralizam os íons de hidrogênio (H+) e alumínio (Al^{3+}) presentes no solo (Raimam, 2024).

Embora a aplicação da escória de aciaria em sistemas agroflorestais tenha potencial, a presença de metais pesados, como cromo (Cr), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e vanádio (V), representa um desafio significativo devido ao seu potencial poluente (Raimam, 2024). A escassez de estudos na literatura sobre o uso da escória como fertilizante ou corretivo de solo ressalta a necessidade de pesquisas detalhadas, considerando diferentes tipos de solo e práticas de plantio (Raimam, 2024).

Diante das incertezas relacionadas à segurança do uso da escória de aciaria para o tratamento de solos, este estudo propõe um protocolo (Figura 1) que inclui a realização de dois estudos específicos para avaliar a viabilidade do uso da escória de aciaria sem risco de contaminação (Santos, 2023).

Figura 1 - Fluxograma do Protocolo



Fonte: O Autor, 2024.

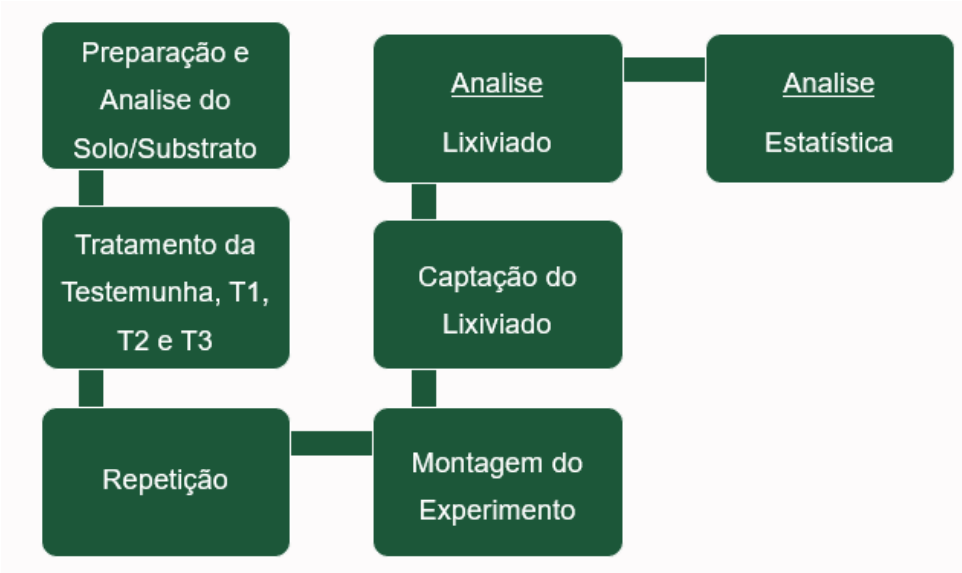
A escória de aciaria pode conter contaminantes inorgânicos, o que, combinado com seu uso em sistemas agroflorestais (SAFs), torna essencial a realização de um experimento inicial com plantas. Esse experimento visa avaliar o potencial de translocação desses contaminantes, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma do Experimento com Planta

Fonte: O Autor, 2024.

O segundo experimento busca avaliar o potencial de lixiviação dos elementos tóxicos, conforme apresentado na figura 3.

Figura 3 - Fluxograma do Experimento em Coluna



Fonte: O Autor, 2024

CONCLUSÕES

O PUEAFCSA - Protocolo para Uso da Escória de Aciaria como Fertilizante e/ou Corretivo de Solo em Atividades Agroflorestais representa uma proposta de experimentação para avaliação da utilização deste resíduo industrial em sistemas agrossilvipastoris. No entanto, para alcançar uma conclusão definitiva sobre a viabilidade do uso da escória de aciaria sem risco de contaminação do ambiente e da cadeia alimentar, é fundamental realizar novos testes em diversos tipos de solo e com diferentes espécies de plantas. A repetição desses testes e a consideração de múltiplas características aumentarão a confiabilidade dos resultados.

REFERÊNCIAS

ABNT - **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. (2004) ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro/RJ.

FERRARO, B. B. **Estudo das Propriedades Termofísicas de Escória Metalúrgica e de Escórias sintéticas de CaO-SiO2-Al2O3-MgO**. 2014. 72p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP.

LOBE, L. M. K. **Como funciona uma agrofloresta na Amazônia**. National Geographic Brasil, 2022. Disponível em: https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/amazonia/infografico-como-funciona-agrofloresta. Acesso em: 12 abr. 2024.

RAIMAM, Milena Pupo. **Reciclagem de resíduo siderúrgico para a produção de mudas de Corymbia associada à bioestimulação com Bacillus** sp. 2024. 163 f.: il. color. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2024.

SANTOS, A. E. **Caracterização e uso da escória de aciaria** [manuscrito] / Abimael Evangelista Santos. – 2023.63 f.: il.: color. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Metalúrgica) – Instituto Federal de Minas Gerais. Campus Ouro Branco, 2023.