

GESTÃO DE RESÍDUOS PROVENIENTES DE ATIVIDADES INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO COM ESCÓRIA DO CONVERSOR DE ACIARIA¹

Wilma de Carvalho Pereira Bonet Guilayn²

Dalton Marcondes Silva³

Juremi de Oliveira Carvalho⁴

Tatsuo Carlos Shubo⁵

Josino Costa Moreira⁶

Resumo

O trabalho tem como objetivo o estudo da recuperação ambiental de área degradada. Baseia-se no estudo das características e propriedades dos materiais para o emprego em recuperação ambiental de áreas industriais. Estuda dois tipos de resíduos de processo e um solo podzólico vermelho distrófico. O primeiro resíduo trata-se de uma escória do conversor da aciaria, proveniente do processo Linz-Donawitz (LD). O segundo resíduo trata-se de um biossólido proveniente da ETE – FIOCRUZ. A escória estudada, atualmente, representa um enorme passivo ambiental da indústria siderúrgica. Este resíduo, no entanto, é considerado relativamente estável e dentro dos padrões estabelecidos pelas normas vigentes, devido a sua constituição ($Cd < 0.5 \text{ mg/Kg}^{-1}$, $Pb < 10 \text{ mg/Kg}^{-1}$, $Co < 5 \text{ mg/Kg}^{-1}$, $Cu = 61 \text{ mg/Kg}^{-1}$, $Cr = 280 \text{ mg/Kg}^{-1}$, $Ni < 1.5 \text{ mg/Kg}^{-1}$, $Zn = 75 \text{ mg/Kg}^{-1}$). Em relação ao biossólido, o sistema de tratamento é realizado através do processo biológico de lodos ativados, variante da aeração prolongada, com desnitrificação. Este material tem sido utilizado em compostagem para manutenção das áreas externas no Campus da Fiocruz. Foi montado o teste experimental em células de acrílico. As análises da escória foram realizadas com a técnica de difratometria de Raios X, com difratômetro de alta resolução, D8 BRUKER, utilizando a base de dados do International Center for Diffraction Data (ICCD). Foi utilizado também o microscópio eletrônico de varredura, equipado com sistema de microanálise por dispersão de energia Link ISIS L300 com detetor de SiLi Pentafet, janela ultrafina ATW II, de resolução de 133 eV para 5,9 keV.

Palavras-chave: Recuperação; Meio ambiente; Resíduos.

MANAGEMENT OF RESIDUES ORIGINATING FROM INDUSTRIAL PROCESS: CASE STUDY WITH SLAG FROM STEELWORKS CONVERTER

Abstract

The goal of this paper is the study of the environmental for land reclamation of a degraded area. It is based on a study of the characteristics and physical properties of the materials for the use environmental recovery of industrial areas. It studies two kinds of process residues and a red dystrophic podzolic soil. The first residues is a steelworks slags, originating from the and Linz-Donawitz (LD) process. The second one is a biosolid originating from ETE-FIOCRUZ. The slag analysed, currently represent a huge environmental liability of the steel industry. Even though this waste is considered relatively stable within the established standards set by current legislation due to its characteristics ($Cd < 0.5 \text{ mg/Kg}^{-1}$, $Pb < 10 \text{ mg/Kg}^{-1}$, $Co < 5 \text{ mg/Kg}^{-1}$, $Cu = 61 \text{ mg/Kg}^{-1}$, $Cr = 280 \text{ mg/Kg}^{-1}$, $Ni < 1.5 \text{ mg/Kg}^{-1}$, $Zn = 75 \text{ mg/Kg}^{-1}$), there is so far no feasible alternative for its total reutilization. In relation to biosolids the treatment is done through the biological process of actived sludge, prolonged aeration variations, with denitrification. This material has been used in composting for the maintenance of external areas at the FIOCRUZ Campus. The experimental tests was developed in acrylic cells. The slag analysis were done with the X ray diffractometrics techniques with high resolution diffractometer D8 BRUKER, using the database of International Center for Diffraction Data (ICCD). It was also used the LEO S440 SEM/XDS (Scanning Electron Microscopy/X-ray Dispersive Spectroscopy) equipped with a Link ISIS L300 energy-dispersion microanalysis system with a Pentafet SiLi detector, ATW II ultrafine window and a resolution from 133 eV to 5.9 keV.

Key words: Recovery; Environment; Residues.

¹ Contribuição técnica ao 64° Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Doutor em Ciências. DSSA/ENPS/ FIOCRUZ

³ Doutor em Saúde Pública, DSSA/ENSP/ FIOCRUZ

⁴ Engenheiro Agrônomo, pesquisador DSSA/ENPS/FIOCRUZ

⁵ Mestre em Saúde Pública DIRAC/FIOCRUZ

⁶ Doutor em química, CESTE/ESNP/FIOCRUZ

1 INTRODUÇÃO

O Estado do Rio de Janeiro apresenta um conjunto de problemas na gestão e disposição dos seus resíduos sólidos, embora este também seja comum aos demais estados da federação. No aspecto da disposição, a contaminação do solo tem se tornado uma das grandes preocupações, uma vez que pode interferir nas águas superficiais e subterrâneas, na fauna e flora e, naturalmente, pode estar na origem de problemas de saúde pública. Por outro lado, devido ao grande volume de resíduos industriais produzidos, se torna evidente a necessidade de se promover uma gestão adequada das áreas, no intuito de prevenir ou reduzir os possíveis efeitos negativos.

No Brasil a indústria do aço produz cerca de três milhões de toneladas/ano de escória, segundo Polese.⁽¹⁾ A escória proveniente do conversor da aciaria representa atualmente um enorme passivo ambiental das indústrias siderúrgicas (Figura 1). Embora o resíduo estudado seja considerado relativamente estável e dentro dos padrões estabelecidos pelas normas vigentes, devido a sua constituição ($Cd < 0.5 \text{ mg Kg}^{-1}$, $Pb < 10 \text{ mg Kg}^{-1}$, $Co < 5 \text{ mg Kg}^{-1}$, $Cu = 61 \text{ mg Kg}^{-1}$, $Cr = 280 \text{ mg Kg}^{-1}$, $Mo < 10 \text{ mg Kg}^{-1}$, $Ni < 1.5 \text{ mg Kg}^{-1}$, $Se < 3.0 \text{ mg Kg}^{-1}$, $Zn = 75 \text{ mg Kg}^{-1}$), até o momento não dispõe de alternativa para reuso adequada, ou, pelo menos, não em relação à grande quantidade produzida. Desta forma, a utilização deste resíduo como aditivo para fins agrônômicos específicos, vem contribuindo para mais uma utilização deste material.



Figura 1. Parque de resíduo da Cia. Siderúrgica Nacional.

A utilização de escórias de siderurgias como insumo agrícola vem sendo estudada já há algum tempo em várias partes do mundo com resultados satisfatórios. Em alguns países, como EUA, por exemplo, está sendo considerada um co-produto da indústria siderúrgica, devido a que apresenta a função de neutralizar as propriedades ácidas do solo, acrescentando elementos considerados positivos, de acordo com o teor apresentado. A legislação brasileira prevê a utilização da escória, mas para isso, estabelece normas quanto à qualidade que o corretivo deve apresentar. A Portaria do Ministério da Agricultura de 04/03/1983, já previa a sua utilização e determinava que deveria atender valores mínimos, como PN de aproximadamente 60% de $CaCO_3$. A preocupação, naturalmente, recai sobre o teor de metais pesados. Em 2006, para produtos que utilizam resíduos como matéria-prima se exige a comprovação do atendimento às normas estabelecidas, pelos órgãos que regulam o setor, para cada um dos resíduos utilizados. Neste caso, tem que constar os laudos analíticos com informações sobre a presença de contaminantes, e seus respectivos teores. Estas são as disposições contidas na IN

27 de 05/06/2006 – Contaminantes. Portanto, o uso deste material, escória de aciaria) deve ser precedido de estudo, no sentido de avaliar o potencial de contaminação ambiental, bem como sua eficiência agrônômica. No entanto, este material tem sido pesquisado, e tem apresentado bons resultados, segundo Andreoli e Pegorini;⁽²⁾ Corrêa^(3,4) e Prado.⁽⁵⁾

No início da década de 1980 foi construída a Estação de Tratamento de Efluentes – ETE (Figura 2) do Campus da FIOCRUZ situado em Manguinhos, Rio de Janeiro. Com a necessidade de adaptar a ETE, foi realizada uma reforma em 2004 surgindo então novas oportunidades de desenvolvimento de pesquisa, ampliando o leque para um setor mais abrangente de Saúde Ambiental/Saneamento Ambiental. Nesse sentido, surgiu a necessidade de estudo dos diversos descartes produzido pelo processo. Um deles, a parte sólida, ou seja, o biossólido, possui alguns dos nutrientes essenciais às plantas (nitrogênio, fósforo e micronutrientes), apresentando teores de umidade variável, sendo rico também em matéria orgânica. Desta forma, pode atuar como um condicionador do solo, melhorando a estrutura e o estado de agregação das partículas, diminuindo a densidade e aumentando a sua aeração, segundo Barbosa e Tavares⁽⁶⁾. No entanto, de acordo com Andreoli e Pegorini⁽²⁾, devem ser considerados alguns aspectos, tais como: condições do solo para o uso do biossólido, características das áreas para a sua aplicação, taxa de aplicação e cultura agrícola recomendada.



Figura 2. Estação de tratamento de esgoto ETE- FIOCRUZ.

Este trabalho tem como foco a utilização dos resíduos provenientes dos tratamentos físico-químicos e biológicos no processo de recuperação do ambiente, e salienta a necessidade de considerar também alguns aspectos importantes como a reinserção da área recuperada na vida social da comunidade. Nesse sentido, o escopo deste estudo é incorporar dados em relação à finalização de um projeto de recuperação, como a revegetação da área, avaliando o crescimento de espécie adaptada (Figura 3). O êxito nos processos de revegetação de áreas impactadas está condicionado à correção da acidez ou alcalinidade, da fertilidade do solo e à adição de matéria orgânica, que darão condições para haver maior atividade microbiana e desenvolvimento vegetal.



Figura 3. Cavas com água e vegetação colonizadora.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras foram submetidas a etapa de preparação que envolveram redução de tamanho, homogeneização e quarteamento. Algumas análises químicas foram realizadas usando a espectrometria de absorção atômica (espectrômetro de chama Varian, modelo AA-6) e/ou emissão de plasma indutivamente acoplado (ICP-EAS). As microanálises da composição mineralógicas foram efetuadas no laboratório do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da COPPE/UFRJ, empregando um SEM/XDS (Scanning Electron Microscopy/X-ray Dispersive Spectroscopy) LEO S440, equipado com sistema de microanálise por dispersão de energia Link ISIS L300 com detetor de SiLi Pentafet, janela ultrafina ATW II, de resolução de 133 eV para 5,9 keV. As análises foram executadas com 20 kV de tensão de aceleração de elétrons. Foram utilizados também para a determinação da composição mineralógica, um difratômetro de Raios X (XRD), D8 da Bruker. Foi utilizado o método de Rietveld. Este método permite um ajuste do difratograma experimental utilizando como parâmetros à fonte de raios-x, a geometria do goniômetro e as características cristalográficas da amostras. Foi utilizado o programa TOPAS, na versão Academic, com a implementação de parâmetros fundamentais.

Um estudo realizado por Corrêa⁽⁷⁾ mostrou que a escória < 1 mm se mostrou eficiente para corrigir a acidez, neutralizar o Al tóxico dos solos e suprir as plantas com Ca e Mg, e ainda, que não foram observados indícios de contaminação dos solos ou das plantas por metais pesados. Desta forma, foi adotada essa indicação no experimento realizado, que foi conduzido utilizando-se células contendo solo Podzólico Vermelho distrófico, quantidades variáveis de escória de aciaria, tendo em vista que o objetivo à princípio é a incorporação do máximo de resíduo contaminado possível, e o biossólido; além de plantas coletadas na região, devido a sua adaptação à área. Foram abertas trincheiras para a caracterização e classificação, segundo as normas preconizadas por Lemos e Santos⁽⁸⁾ e Embrapa.⁽⁹⁾

O sistema de tratamento da ETE-Fiocruz é a nível secundário através do processo biológico de lodos ativados. Tal processo tem como características a alta eficiência de redução de carga orgânica, nitrogênio e microrganismos (Metcalf e Eddy⁽¹⁰⁾ e Castro⁽¹¹⁾ *apud* Roque *et al.*⁽¹²⁾) Consta de tratamento preliminar para condicionamento do esgoto e tratamento secundário por oxidação total com desnitrificação em zona pré-anóxica (Von Sperling⁽¹³⁾ *apud* Roque *et al.*⁽¹²⁾), em sistema contínuo.

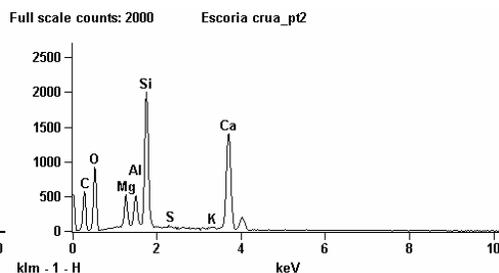
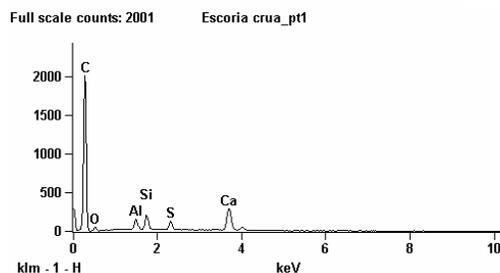
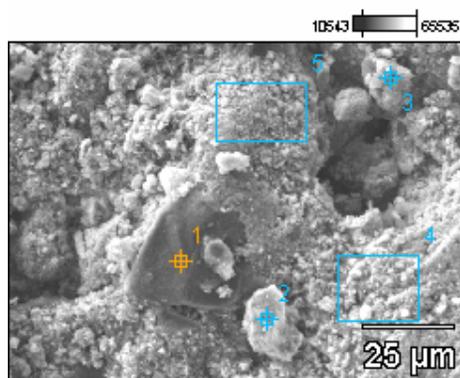
O excesso do lodo produzido no sistema é periodicamente encaminhado ao tanque de digestão de lodo onde, em condições aeróbias e na ausência de

substrato, é mineralizado, sendo, então, encaminhado para as unidades de desidratação de lodo. Nos leitos de secagem o lodo é oxidado e seco e pode ser utilizado como condicionante de solo, conforme já vem ocorrendo; ou destinado a aterro sanitário. A compostagem ocorre como uma decomposição aeróbia controlada de substratos orgânicos em condições que permitem atingir temperaturas suficientemente elevadas para o crescimento de microrganismos termofílicos. O aumento de temperatura surge como resultado da libertação de calor na degradação microbiológica dos substratos. O resultado deste processo é um produto, suficientemente estabilizado, para ser aplicado no solo segundo Roque *et al.*⁽¹²⁾

3 RESULTADOS

A escória de aciaria tem sua formação nos processos de oxidação do aço. A escória é predominantemente formada por compostos de Ca, Fe, Mg e Si. O Ca está presente na forma de silicatos complexos e também como carbonato. O Mg está, na sua maior parte, presente como óxido livre, já o Fe encontra-se nas formas reduzidas de óxidos como wustita – FeO e magnetita – Fe₃O₄, de acordo com Intorne.⁽¹⁴⁾ Foram realizadas as análises com o MEV/EDS para a determinação dos elementos contidos na escória estudada. Os resultados podem ser observados na Figura 4.

Escoria crua



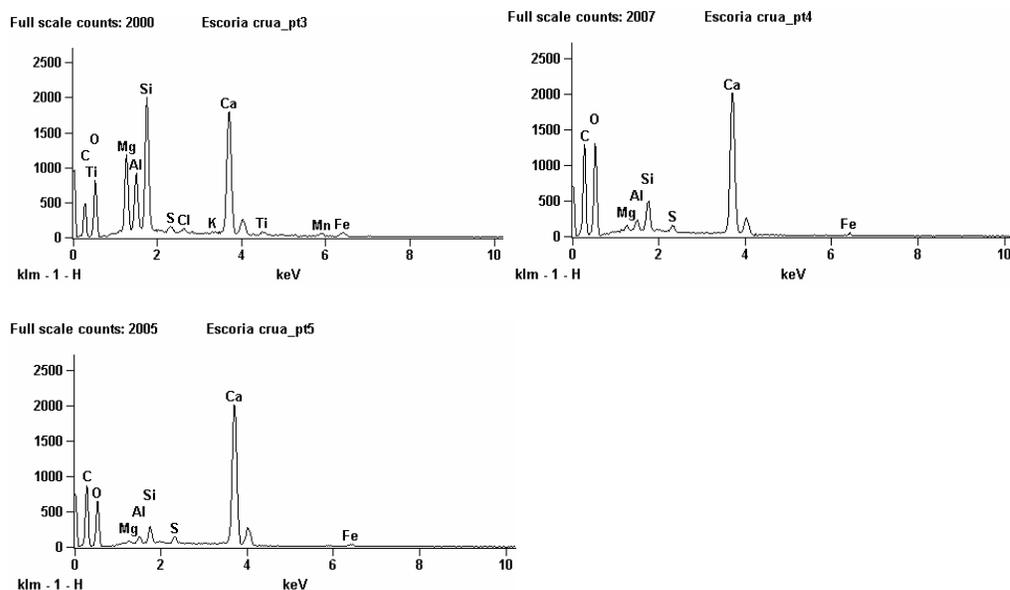


Figura 4. Microfotografia em MEV da amostra de escória. EDS dos pontos assinalados.

Foram realizados também análises em DRX, onde foram observados picos referentes as fases quartzo SiO_2 , wustita (FeO), Al_2O_3 , e MgFe_2O_4 . Estas fases apresentam picos superpostos, o que limita a utilização de métodos qualitativos que realizam uma comparação simples do resultado experimental com as fichas JCPDF.

As caracterizações das amostras, realizadas através das análises semi-quantitativas de difratometria de raios X (DRX), foram feitas utilizando o método do pó (fração menor que 2 micra). A determinação das fases minoritárias para a amostra da CSN foi realizado com a utilização de medidas quantitativas pelo Método de Rietveld (Figura 5).

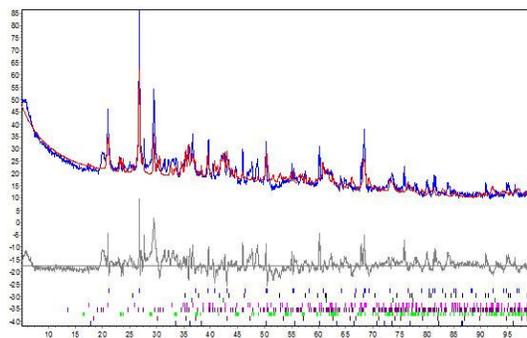


Figura 5. DRX obtida da amostra de escória.

A partir do teste de condutividade hidráulica, medido através de um permeâmetro do tipo "coluna d'água de altura constante", foi observado uma alta condutividade da escória e baixa condutividade do solo, que apresenta alto teor de argila.

De cada planta foi medido: o diâmetro do caule a 5 cm do solo, a altura total para avaliar se houveram diferenças significativas de tamanhos. Foi observado um crescimento de 5 cm a partir do plantio (Figura 6).



Figura 6. Experimento com as plantas selecionadas.

4 DISCUSSÃO

Segundo Baker⁽¹⁵⁾ *apud* Marques *et al.*⁽¹⁶⁾, a sobrevivência das espécies que crescem em solos contaminados está relacionada à capacidade destas de tolerar, e não de anular, a toxicidade do metal e normalmente as espécies tolerantes acumulam maiores concentrações de metais pesados na raiz em relação à parte aérea. De acordo com Anselmo e Jones⁽¹⁷⁾, a fitorremediação pode ser efetiva para os solos contaminados através de mecanismos como a fito-extração, fito-estabilização, rizofiltração, fitodegradação, fito-estimulação e fitovolatilização. A fitodegradação e a fito-estimulação são mecanismos nos quais as plantas são capazes de processar poluentes orgânicos. Existe ainda a fitovolatilização, que se trata de um método que envolve a introdução nas plantas do gene bacteriano associado à reductase do íon de mercúrio, que reduz o cátion ao metal (Hg), o qual é volátil à temperatura ambiente (Brooks⁽¹⁸⁾ *apud* Anselmo e Jones⁽¹⁷⁾). No entanto, no presente estudo, à princípio, foi considerado apenas a capacidade de adaptação das espécies às condições da área. Os resultados apresentados até o momento sugerem um desenvolvimento considerável.

Por questões de avaliação de desempenho, foi feita uma comparação do material estudado com calcários, obtido em estudos anteriores por Pereira *et al.*⁽¹⁹⁾ Os resultados apresentados pela escória e o material calcário, em relação a composição de elementos maiores e metálicos, podem ser observados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1. Resultados de composição mineral⁽¹¹⁾

	Calcário (%)	Escória (%)
CaO	34,6	33,9
MgO	24,8	5,35
SiO ₂	12,0	18,7
Fe ₂ O ₃	0,45	18,4
K ₂ O	0,19	0,10
Al ₂ O ₃	0,88	7,32

Tabela 2. Valores de referência para calcários (mg Kg⁻¹)⁽¹¹⁾

	Candiota	Ibaré	Caçapava	Irati
Zn	40,01	26,19	22,47	25,24
Pb	4,05	9,44	3,47	2,52
Cd	0,18	1,89	0,47	0,24
Co	4,54	3,09	2,25	2,61
Cu	7,83	6,19	4,92	5,25
Ni	13,77	11,56	7,99	5,7

Tabela 3. Valores de referência para a escória (mg Kg⁻¹)

	Escória
Zn	75
Pb	0,2
Cd	20,75
Co	<5
Cu	8,75
Ni	<1,5

O estudo realizado em EDS para o calcário de origem sedimentar pode ser observado na Figura 7 e avaliado em relação aos resultados apresentados na Figura 4. O mesmo pode ser indicado em relação aos resultados de DRX para os dois materiais. Os picos observados no calcário são principalmente cálcio e magnésio. Trata-se de um calcário dolomítico.

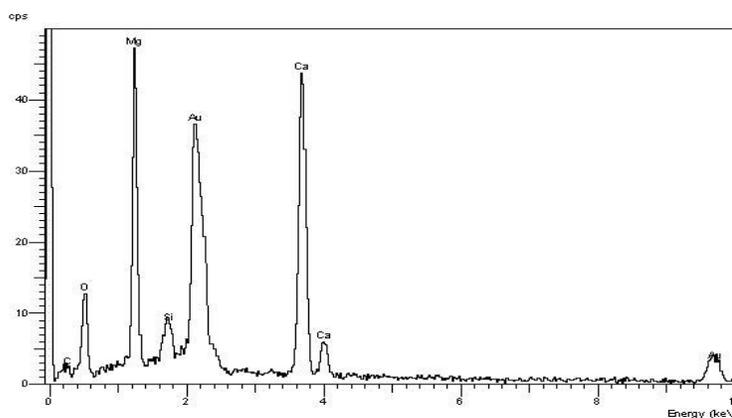


Figura 7. Resultados do EDS para a amostra de calcário de origem sedimentar.

Segundo Stefani *et al.*,⁽²⁰⁾ a vantagem da aplicação do lodo de esgoto nas plantações florestais consiste no fato de que os principais produtos destas culturas perenes não se destinam à alimentação humana ou animal, possibilitando uma maior segurança quanto à dispersão de eventuais contaminantes, desde que cuidados prévios sejam tomados. No presente estudo a incorporação será realizada em área não cultivada, tendo o intuito também de prevenir a erosão. A erosão acelerada dos solos é um dos principais problemas ambientais enfrentados atualmente, e tem como uma das consequências deletérias comprometer o potencial produtivo do solo. A matéria orgânica, aplicada através do biossólido, favorece o desenvolvimento radicial e assim, incentiva o crescimento vegetal. Desta forma, o biossólido, através da matéria orgânica nele contida, acelera a formação da cobertura sobre o solo e, conseqüentemente, reduz o impacto que a precipitação pluviométrica causa, favorecendo a conservação da potencialidade do mesmo.

Desta forma, o estudo da destinação dos dois resíduos na recuperação e/ou preservação da área tem trazido resultados positivos até o momento.

5 CONCLUSÃO

A limitação desta escória para aplicação em materiais de construção resulta da expansividade do CaO livre e do MgO não-reagido, bem como do polimorfismo do silicato dicálcico e da oxidação e corrosão do ferro metálico. No entanto, essas mesmas características podem representar aspectos positivos em relação ao

emprego como aditivo na recuperação ambiental de solo degradado das áreas altamente industrializadas. Tais características podem trazer benefícios a projetos que considerem os aspectos ambientais, estéticos e sociais, permitindo um novo equilíbrio ecológico.

A fitorremediação é uma tecnologia relativamente recente que pode contribuir com uma recuperação eficiente quando os poluentes não apresentem risco iminente à saúde do ambiente. Nesse sentido, os resultados alcançados até o momento sugerem que o processo pode apresentar vantagens na sua utilização, dando solução assim aos resíduos empregados no estudo.

Agradecimentos

A ENSP/FIOCRUZ pelo apoio. À FAPERJ pela bolsas concedidas. Uma parte deste projeto teve o apoio do Programa de Pesquisa Estratégica, Desenvolvimento e Inovação. Ao LARE- UFF, assim como ao laboratório de difratometria do CBPF. Ao Rodrigo Restine, bolsistas extracurriculares do Centro Federal de Educação Tecnológica de Química de Nilópolis/RJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e a Fernanda Setta Duarte, bolsista de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

- 1 POLESE M.O. CARREIRO G.L., SILVA M.G., SILVA M.R.. Caracterização microestrutural da escória de aciaria. Rev. Matéria, 11(4); 2006.
- 2 ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E.S. Reciclagem agrícola de biossólidos: Impactos e Regulamentação. XXIX Congresso Brasileiro De Ciência Do Solo. Ribeirão Preto, 2003.
- 3 CORRÊA J.C., BÜLL L.T., PAGANINI W.S., GUERRINI I.A. Disponibilidade de metais pesados em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. Pesq. agropec. bras. vol.43 no.3 Brasília Mar. 2008.
- 4 CORRÊA J.C.; BÜLL L.T.; CRUSCIO C.A.C., MARCELINO R., MAUAD M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. Pesq. agropec. bras. vol.42 no.9 Brasília Sept. 2007.
- 5 PRADO R. M. ; W. NATALE; F. M. FERNANDES; M. C. M. CORRÊA. Reatividade de uma escória de siderurgia em um latossolo vermelho distrófico. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.28 no.1 Viçosa Jan./Feb. 2004.
- 6 BARBOSA G.M.C.,TAVARES FILHO J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v n. 27, . 4, p. 565-580, out./dez. 2006.
- 7 CORRÊA M. L. T., MELLO J.W.V. Avaliação do uso agrícola de escória de aciaria como corretivo e fertilizante de solos. Seminário sobre Escória de Aciaria, 04 de julho de 2003 – Vitória – ES.
- 8 LEMOS, R.C., SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 84 p. 1996.
- 9 EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412 p. 1999.
- 10 METCALF & EDDY. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1991. 1334p.
- 11 CASTRO, J.L. SAAG – Serviço Autônomo de Águas e Esgotos de Guaratinguetá. <http://www.saaeg.com.br> -2004.
- 12 ROQUE O. C.C., SHUBO T.C., GORETKIN FILHO S., SERGIO BAPTISTA FILHO A.F., RIBEIRO L.P. Tratamento de esgotos com nitrificação e desnitrificação com objetivos de reúso no campus da FIOCRUZ. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - Campo Grande/MS. 2005

- 13 VON SPERLING, M. . Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol. 2. Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos. 1. ed. BELO HORIZONTE: DESA-UFMG,, v. 1. 211 p. 1996.
- 14 INTORNE S.C. , DIAS D.P., SANTOS JR. E.L., MONTEIRO S.N., VIEIRA C.M.F. Caracterização de escória de aciaria e efeito da sua Granulometria nas propriedades de uma cerâmica argilosa. In Anais do 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. 1986.
- 15 BAKER, A.J.M. Metal tolerance. The New Phytologist, London, v.106, p.93-111, 1987.
- 16 MARQUES T.C.L.L.S.M., MOREIRA F.M.S., SIQUEIRA J.O. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. Pesq. agropec. bras. v.35 n.1 Brasília ene. 2000.
17. ANSELMO A.L.F., JONES C.M. Fitorremediação de Solos Contaminados – O Estado da Arte XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção – Porto Alegre, RS, Brasil, 29 out a 01 de nov de 2005, ENEGEP 2005.
- 18 BROOKS, R. R). Phytoremediation by volatilisation. In Brooks, R.R [Ed], Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals, CAB International, Wallingford, p.289.1998
- 19 PEREIRA, W. C. ; SILVA, DALTON MARCONDES ; CARVALHO, J. O., VILLAS BÔAS, R.C. Estudo comparativo de argilas e calcários para fins de controle ambiental. Relatório Técnico 2001.CETEM/MCT.
- 20 STEFANI M.C.G., BORGHI I.N., MOREIRA J.S. VERAS NETO M.S., GIUSTI P.E.A., POGGIANI F. Utilização de biossólidos em plantações florestais. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro. 1999.