

FRAÇÕES DE CARBONO ORGÂNICO OXIDÁVEL EM SOLOS TROPICAIS APÓS APORTE DE MATERIAL ORGÂNICO

Willian Ramos Gimenes, Wárley Gomes Camacho, Isabele Andrade Garcia, Felipe Vaz Andrade

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Departamento de Agronomia, Alto Universitário, S/N, Guarerema - 29500-000 – Alegre -ES, Brasil, wramosgimenes@gmail.com, warley.camacho@edu.ufes.br, isabeleandradegarcia@gmail.com, felipe.andrade@ufes.br

Resumo

O estudo teve como objetivo avaliar as frações de carbono orgânico oxidável em solos tropicais submetidos à aplicação de diferentes compostos orgânicos, considerando dois potenciais matriciais (-10 e -30 kPa) e em distintos períodos de incubação (3, 6, 10, 15, 30 e 60 dias). O delineamento foi realizado em blocos casualizados, utilizando o esquema de parcelas subdivididas no tempo, com quatro materiais orgânicos (EA, EB, EC, ED) e uma amostra controle. As frações oxidáveis foram determinadas por oxidação química úmida e os dados submetidos à ANOVA, os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade e os tempos de coleta foram avaliados por meio de análise de regressão. Observou-se maior disponibilidade de carbono orgânico oxidável nas fases iniciais de incubação, especialmente aos 6 dias, seguidos por redução gradual até 60 dias. Os compostos orgânicos promoveram aumento dos teores em relação ao controle, enquanto os efeitos do tempo e da umidade foram menos expressivos. Conclui-se, portanto, que o fracionamento do carbono orgânico é um método eficiente para avaliar a estabilidade da matéria orgânica e a contribuição dos resíduos orgânicos para a melhoria da qualidade do solo.

Palavras-chave: Carbono lábil; Frações recalcitrantes; Compostos orgânicos; Umidade; Incubação.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônoma - Ciência do solo.

Introdução

O município de Alegre, situado no extremo sul do Espírito Santo, Brasil, possui uma vasta área coberta por pastagens, totalizando aproximadamente 83,7% de seu território. Deste total, cerca de 7,7% já estão em estado de degradação, enquanto 18,8% estão em processo de deterioração (Praça et al., 2017). Esse cenário evidencia a elevada vulnerabilidade das pastagens, cuja degradação caracteriza-se pela perda progressiva de vigor e baixa capacidade de regeneração natural, o que as torna incapazes de atender aos padrões de produção e qualidade requeridos pelos animais (Peron; Evangelista, 2004). Além de comprometer a produção, esse fenômeno agrava a erosão, a compactação do solo e a diminuição da fertilidade (Sattler, 2006).

Neste cenário, torna-se necessário compreender o papel do carbono orgânico do solo na manutenção da fertilidade e sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas. O carbono orgânico do solo destaca-se como um indicador fundamental da qualidade edáfica, especialmente a fração oxidável, que é mais sensível que a análise de carbono orgânico total (COT). Isto se deve por representar a matéria orgânica mais lábil e, conseqüentemente, mais reativa, a qual responde rapidamente às mudanças no manejo (Blair et al., 1995) e na cobertura vegetal (Chan et al., 2001). A quantificação dessas frações permite avaliar a saúde do solo, o potencial de ciclagem de nutrientes e a atividade biológica a curto prazo. Tem-se utilizado e validado essa metodologia, com adaptações para solos tropicais e condições laboratoriais, conforme proposto por Mendonça e Matos (2005).

Considerando o exposto acima, o presente trabalho teve como objetivo investigar as frações de carbono orgânico oxidável em solos tropicais submetidos à aplicação de diferentes compostos orgânicos e teor de umidade, ao longo do tempo.

Metodologia

O experimento foi conduzido com amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, coletadas na camada de 20–40 cm em área de pastagem no município de Alegre-ES. Posteriormente, o solo foi seco ao ar, peneirado em malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) sendo caracterizado sob os aspectos químicos e físicos, conforme os métodos descritos por Silva et al. (2009) e Teixeira et al. (2017).

O experimento foi conduzido em laboratório ($25 \pm 2^\circ\text{C}$), em delineamento em blocos casualizados (DBC), com três repetições, em parcelas subdivididas no tempo. Os tratamentos consistiram em quatro materiais orgânicos: composto de esterco de aves com resíduo de algodoeiro e palha de café (EA), composto de esterco bovino com palha de café (EB), cama de frango in natura (EC), dejetos suínos in natura (ED) e uma amostra controle (sem adição de composto (C), cuja composição química está apresentada na Tabela 1, aplicados sob dois potenciais matriciais (-10 e -30 kPa). As avaliações foram realizadas em seis períodos (3, 6, 10, 15, 30 e 60 dias), totalizando 180 unidades experimentais.

Tabela 1 – Caracterização química dos compostos orgânicos utilizados.

Composto	C%	H (%)	N (%)	Relação C:N
EA	24,67	4,93	1,76	14
EB	21	4,47	3,39	6,2
EC	20,96	4,47	3,93	5,3
ED	14,13	2,73	1,14	12,4

Fonte: elaborado pelos próprios autores.

As frações oxidáveis do carbono foram determinadas por oxidação química em meio úmido, utilizando solução de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,167 \text{ mol L}^{-1}$) em diferentes concentrações de ácido sulfúrico (H_2SO_4 a 0,3; 0,6 e $0,9 \text{ mol L}^{-1}$), conforme o método proposto por Chan et al. (2001), com adaptações sugeridas por Mendonça e Matos (2005). Esse procedimento permite a separação das frações de carbono com diferentes graus de labilidade, sendo possível estimar a estabilidade da matéria orgânica presente nas amostras.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando significativos, os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e os tempos de coleta foram avaliados por meio de análise de regressão.

Resultados

A análise de variância revelou diferença estatística entre os compostos aplicados para todas as frações de carbono oxidável. Os resultados estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Médias dos teores de carbono oxidável (g kg^{-1}) em função da aplicação de compostos orgânicos (C, EA, EB, EC e ED), nas frações F1 ($0,3 \text{ mol L}^{-1}$), F2 ($0,6 \text{ mol L}^{-1}$) e F3 ($0,9 \text{ mol L}^{-1}$).

Composto	F1 ($0,3 \text{ mol L}^{-1}$)	F2 ($0,6 \text{ mol L}^{-1}$)	F3 ($0,9 \text{ mol L}^{-1}$)
C	3,64 a	5,16 ab	6,00 ab
EA	4,50 ab	6,85 c	7,09 c
EB	4,75 ab	6,23 ab	6,73 ab
EC	5,49 ac	4,73 a	5,22 a
ED	6,47 C	4,91 ab	5,52 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si para as fontes de composto orgânico, de acordo com teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

Fonte: elaborado pelos próprios autores.

Para a fração F1 ($0,3 \text{ mol L}^{-1}$), o fator umidade não apresentou efeito significativo, indicando que os teores de carbono oxidável foram semelhantes entre os dois níveis de umidade, independentemente

do tratamento aplicado. Além disso, não houve interação significativa entre composto e umidade, de modo que as respostas dos compostos se mantiveram consistentes em ambos os potenciais matriciais aplicados.

Na fração F2 ($0,6 \text{ mol L}^{-1}$), observou-se efeito da interação entre composto e umidade. Sob o primeiro nível de umidade, verificou-se diferença estatística entre os compostos, sendo que os solos que receberam a aplicação dos compostos EA e EB apresentaram maiores teores de carbono oxidável em relação aos demais. Já no segundo nível de umidade, as diferenças entre os compostos foram estatisticamente menos pronunciadas, mas ainda assim o solo com aplicação do composto EA apresentou valores significativamente superiores, reforçando o efeito combinado entre tipo de composto orgânico e condição hídrica.

Para a fração F3 ($0,9 \text{ mol L}^{-1}$), também foi detectada interação significativa entre composto e umidade. Sob primeiro nível de umidade, os solos que receberam os compostos EA e EB apresentaram os maiores valores de carbono oxidável, diferenciando-se dos demais. No segundo nível de umidade, essa superioridade foi mantida, embora com redução da magnitude da diferença em comparação ao primeiro nível. Os resultados detalhados da interação entre compostos e níveis de umidade estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Médias dos teores de carbono oxidável (g kg^{-1}) em função da interação entre diferentes compostos orgânicos (C, EA, EB, EC e ED) e níveis de umidade, avaliados nas frações F1 ($0,3 \text{ mol L}^{-1}$), F2 ($0,6 \text{ mol L}^{-1}$) e F3 ($0,9 \text{ mol L}^{-1}$).

Umidade	Variáveis	Compostos				
		C	EA	EB	EC	ED
1	F1 ($0,3 \text{ mol L}^{-1}$)	3,17 a	4,30 ab	4,37 ab	7,42 c	5,49 ac
	F2 ($0,6 \text{ mol L}^{-1}$)	4,34 a	4,58 a	4,98 ab	6,81 ac	7,51 c
	F3 ($0,9 \text{ mol L}^{-1}$)	4,91 a	5,33 a	5,64 a	7,05 b	7,49 b
2	F1 ($0,3 \text{ mol L}^{-1}$)	4,09 a	4,70 a	5,13 a	5,50 a	5,51 a
	F2 ($0,6 \text{ mol L}^{-1}$)	4,85 a	4,94 ab	5,11 ab	5,75 ab	6,90 b
	F3 ($0,9 \text{ mol L}^{-1}$)	5,41 a	5,53 ab	5,98 abc	6,68 bc	7,14 c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si para as fontes de composto orgânico, de acordo com teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

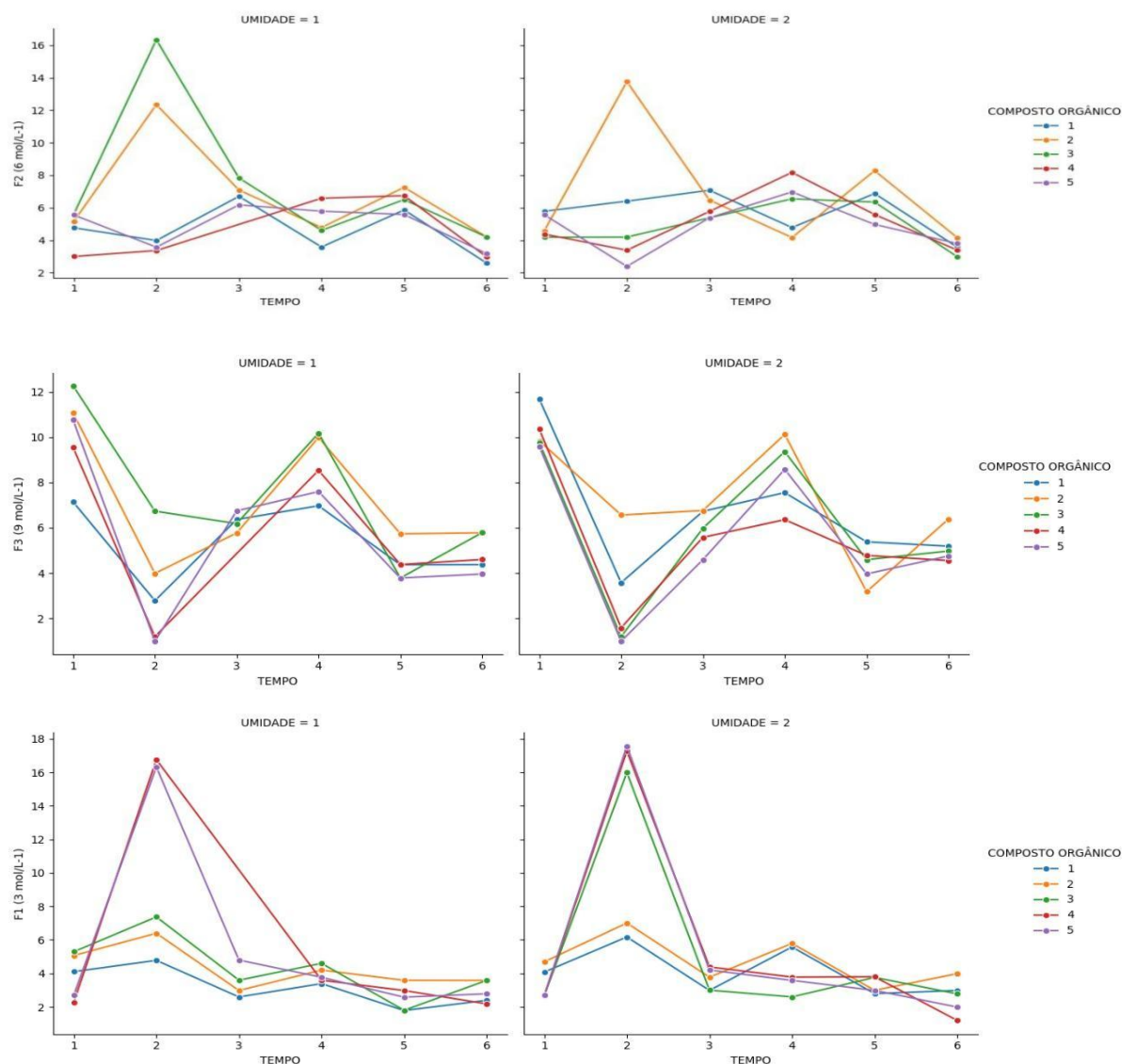
Fonte: elaborado pelos próprios autores.

A dinâmica das frações de carbono oxidável variou em função dos compostos aplicados, dos níveis de umidade e do tempo de avaliação. A fração lábil (F1) apresentou incremento significativo nos teores de carbono oxidável no segundo tempo de coleta, seguido de redução progressiva nos períodos subsequentes. No segundo tempo de coleta, com destaque para os compostos EC e ED em ambos os níveis de umidade. Após esse período, observou-se redução progressiva dos teores em todos os tratamentos, com estabilização em níveis mais baixos nas coletas subsequentes.

A fração intermediária (F2) apresentou variações ao longo do tempo, com destaque para valores mais elevados no segundo tempo de coleta no solo que recebeu o composto EB sob umidade 1 e no solo com aplicação de EA sob umidade 2. Entretanto, de forma geral, as diferenças entre os tratamentos foram se tornando menos pronunciadas nos períodos finais de incubação.

Já a fração mais recalcitrante (F3) apresentou maiores teores no início do período experimental, sobretudo no solo com aplicação do composto EB sob umidade 1 e no controle sob umidade 2, seguido de redução acentuada e oscilações ao longo do tempo. A partir da quarta coleta, observou-se maior constância nos valores, refletindo a maior resistência dessa fração à decomposição microbiana. De forma integrada, verifica-se que os efeitos dos compostos foram mais expressivos nos períodos iniciais de avaliação, com redução gradativa das diferenças entre tratamentos nos tempos finais.

Figura 1 – Regressão dos teores de carbono oxidável (g kg^{-1}) referentes às frações F1 ($0,3 \text{ mol L}^{-1}$), F2 ($0,6 \text{ mol L}^{-1}$) e F3 ($0,9 \text{ mol L}^{-1}$), em função da aplicação de diferentes compostos orgânicos (C, EA, EB, EC e ED) e níveis de umidade, avaliados ao longo dos períodos de incubação.



Fonte: elaborado pelos próprios autores.

Discussão

A dinâmica das frações de carbono oxidável apresentou maior concentração das formas lábeis nos primeiros dias de incubação, principalmente aos 6 dias, com médias de $7,42 \text{ g kg}^{-1}$ para F1, $8,15 \text{ g kg}^{-1}$ para F2 e $7,88 \text{ g kg}^{-1}$ para F3. A partir desse ponto, observou-se redução progressiva dos teores até os 60 dias, quando as médias decresceram para $4,03 \text{ g kg}^{-1}$ (F1), $5,21 \text{ g kg}^{-1}$ (F2) e $5,47 \text{ g kg}^{-1}$ (F3), indicando a decomposição mais acelerada das frações lábeis e o aumento relativo da contribuição das frações mais recalcitrantes no estoque de carbono do solo. Resultados semelhantes foram observados por Chan et al. (2001) e Mendonça e Matos (2005), que destacam a sensibilidade das frações lábeis

às condições ambientais e o papel das frações mais estáveis como indicadores de resistência à decomposição.

A análise do efeito do potencial matricial (-10 e -30 kPa) não evidenciou diferença estatística entre os níveis de umidade para as frações de carbono oxidável. Em termos médios, para a fração F1 os valores foram de 4,95 g kg⁻¹ em -10 kPa e 4,99 g kg⁻¹ em -30 kPa; na fração F2, as médias foram de 5,51 g kg⁻¹ e 5,64 g kg⁻¹, respectivamente; e na fração F3, de 6,08 g kg⁻¹ e 6,15 g kg⁻¹ indicando que a variação hídrica moderada não limitou a atividade microbiana nem a oxidação do carbono mais acessível. Observações anteriores também apontam que a decomposição inicial é influenciada principalmente pela qualidade do resíduo orgânico aplicado, desde que não ocorra limitação extrema de água (Six et al., 2002; Haynes, 2005).

As diferenças observadas entre os tratamentos podem ser atribuídas à composição química e ao grau de decomposição de cada resíduo. Baldock e Nelson (2000) e Lehmann et al. (2011) relatam que insumos com maior proporção de compostos solúveis elevam as frações lábeis nos estágios iniciais, enquanto materiais mais condensados e ricos em estruturas aromáticas promovem a manutenção de carbono em frações mais estáveis, contribuindo para o sequestro de carbono a longo prazo.

Esses resultados evidenciam que a avaliação conjunta das frações oxidáveis é fundamental para compreender tanto a disponibilidade imediata de carbono para a microbiota quanto o potencial de estabilização da matéria orgânica no solo, corroborando observações de Zhang et al. (2013) e Wang et al. (2016). Portanto, o manejo com resíduos orgânicos deve considerar a combinação de fontes lábeis, que estimulam a atividade microbiana inicial, e fontes recalcitrantes, que asseguram maior proteção do carbono ao longo do tempo.

moderadas de umidade não limitaram a atividade microbiana nem a oxidação do carbono. Observações anteriores reforçam que a qualidade do resíduo orgânico aplicado é o fator determinante para a velocidade inicial de decomposição, desde que não ocorra déficit hídrico severo (Six et al., 2002; Haynes, 2005).

As diferenças observadas entre os tratamentos podem ser atribuídas à composição química e ao grau de decomposição dos resíduos orgânicos. Baldock e Nelson (2000) e Lehmann et al. (2011) destacam que insumos com maior proporção de compostos solúveis elevam as frações lábeis nos estágios iniciais, enquanto materiais mais condensados e ricos em estruturas aromáticas favorecem a manutenção de carbono em frações mais estáveis, contribuindo para o sequestro de carbono a longo prazo.

De forma integrada, esses resultados evidenciam que a avaliação conjunta das frações oxidáveis é essencial para compreender tanto a disponibilidade imediata de carbono para a microbiota quanto o potencial de estabilização da matéria orgânica no solo, corroborando observações de Zhang et al. (2013) e Wang et al. (2016). Assim, o manejo com resíduos orgânicos deve considerar a combinação de fontes lábeis, que estimulam a atividade microbiana inicial, e fontes recalcitrantes, que asseguram maior proteção do carbono ao longo do tempo.

Conclusão

Os resultados demonstram que a maior disponibilidade de carbono oxidável ocorre nos períodos iniciais de incubação, sobretudo nas frações mais lábeis (F1 e F2), enquanto a redução ao longo do tempo evidencia a estabilização da matéria orgânica em formas mais recalcitrantes (F3). As diferenças observadas ressaltam a importância da qualidade química dos resíduos aplicados, enquanto a variação de umidade exerceu efeito apenas moderado. Dessa forma, a avaliação das frações oxidáveis mostra-se uma ferramenta eficiente para compreender a dinâmica do carbono no solo e indica que o uso de resíduos orgânicos pode contribuir tanto para o fornecimento imediato de carbono à microbiota quanto para a manutenção dos estoques de carbono estável, favorecendo a qualidade e sustentabilidade do solo.

Referências

BALDOCK, J. A.; NELSON, P. N. **Soil organic matter**. In: SUMNER, M. E. (Ed.). Handbook of soil science. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. B25–B84.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. **Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems.** Australian Journal of Agricultural Research, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. **Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustaff under different pasture leys.** Soil Science, v. 166, n. 1, p. 61–67, 2001.

HAYNES, R. J. **Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview.** Advances in Agronomy, San Diego, v. 85, p. 221–268, 2005. DOI: 10.1016/S0065-2113(04)85005-3.

LEHMANN, J.; RILLIG, M. C.; THIES, J.; MASIELLO, C. A.; HOCKADAY, W. C.; CROWLEY, D. **Biochar effects on soil biota: a review.** Soil Biology and Biochemistry, v. 43, n. 9, p. 1812-1836, 2011.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises.** Viçosa: UFV, 2005. 107 p.

PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. **Degradação de pastagens em regiões de cerrado.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 28, n. 3, p. 655-661, maio/jun. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000300023>. Acesso em: 18 ago. 2025.

PRAÇA, N. M. P.; NESPOLI, N. S.; MACHADO, J. L.; GUIMARÃES, T.; VIANNA, U. R. **Classificação supervisionada de pastagens no município de Alegre-ES.** In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 21.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 17.; ENCONTRO DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA, 7., 2017, São José dos Campos. Anais.... São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2017. p. 1–6.

SATTLER, M. A. **Variabilidade espacial de atributos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastagem e vegetação nativa na bacia hidrográfica do Itapemirim.** 2006. 119 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

WANG, J.; XIONG, Z.; KUZYAKOV, Y. **Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects.** GCB Bioenergy, v. 8, n. 3, p. 512–523, 2016.

ZHANG, X.; WANG, H.; HE, L.; LU, K.; SARMAH, A.; LI, J.; BOLAN, N.; PEI, J.; HU, S. **Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants.** Environmental Science and Pollution Research, v. 20, n. 12, p. 8472–8483, 2013.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) pela disponibilização da infraestrutura necessária à condução do experimento.