

## II-245 - DEGRADABILIDADE NO SOLO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO LODO ACUMULADO EM SAC-EV

### **Diogo André Pinheiro da Silva<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - Belo Horizonte (MG), Brasil.

### **Antonio Teixeira de Matos<sup>(2)</sup>**

Doutor pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professor da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - Belo Horizonte (MG), Brasil.

### **Izabelle Vieira de Ávila Matos<sup>(3)</sup>**

Graduanda de Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - Belo Horizonte (MG), Brasil.

### **Marcus Vinícius Araújo Marques<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Agrícola e Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais - Campus Januária (IFNMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - Belo Horizonte (MG), Brasil.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Mato Grosso, 510 - São Domingos Sávio - Humaitá - AM - CEP: 69800-000 - Brasil - Tel: (97) 981018292 - e-mail: [andredioogo@hotmail.com](mailto:andredioogo@hotmail.com)

## RESUMO

O objetivo com a realização deste trabalho foi avaliar e quantificar a degradabilidade da matéria orgânica no solo do material retirado em diferentes profundidades (camada de 0 - 5 cm, 5 - 10 cm e 10 - 15 cm), de lodo acumulado em sistema alagado construído de escoamento vertical (SAC-EV). A fração de mineralização (FM) do material orgânico foi avaliada, depois que os referidos materiais orgânicos foram incorporados ao solo, com dose de aplicação equivalente a 300 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de nitrogênio total (NT) em condições de campo. O lodo acumulado em SAC-EV, foi coletado no Centro de Pesquisa e treinamento em Saneamento (CePTS - UFMG/COPASA). O experimento de campo foi conduzido em Argissolo Vermelho Amarelo, em área da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. O monitoramento do processo de mineralização dos lodos no solo foi conduzido por 215 dias, tendo sido retiradas amostras do material para quantificar o teor de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio orgânico (NO). Assim, as frações mineralizadas do carbono orgânico total (FMCOT) foram de 43%, 21% e 50%, respectivamente para LSAC 0 - 5 cm, LSAC 5 - 10 cm e LSAC 10 - 15 cm; quando se considerou a fração de mineralização do nitrogênio orgânico (FMNO) foi de 70%, 17% e 72% respectivamente para LSAC 0 - 5 cm, LSAC 5 - 10 cm e LSAC 10 - 15 cm. Com base nos resultados obtidos para as frações mineralizadas, conclui-se que os dados observados não representa satisfatoriamente o que realmente ocorre ao decorrer do tempo, necessitando dessa forma de um número maior de observações ao longo do experimento com a finalidade de obter resposta mais confiável da degradação do material orgânico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Matéria Orgânica, Fração de Mineralização, Lodo de Esgoto Sanitário.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o atendimento por redes de esgoto e seu respectivo tratamento tem aumentado (40,8% do total gerado e 70,9% do coletado), segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2014). Com o aumento no número de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) existe tendência de consequente aumento na quantidade de resíduos sólidos produzidos, uma vez que, no tratamento do esgoto, objetiva-se a sua estabilização, tendo-se, como produto final, a fase líquida (efluente) e a fase sólida ("lodo de esgoto").

Embora o lodo represente apenas 1% a 2% do volume do esgoto tratado, o seu gerenciamento é bastante complexo e tem um custo geralmente de 20% a 60% do total gasto na operação de uma ETE (ANDREOLI; VON SPERLING, 2014). Dentre as várias opções de destinação final do lodo gerado, destacam-se: os aterros sanitários municipais ou privados, a incineração, a transformação em agregados e a disposição em áreas

agrícolas, sendo essa última uma tendência atual e mais promissora, em termos de sustentabilidade (TSUTIYA *et al.*, 2001).

Outra tecnologia que tem sido utilizada no tratamento/destinação provisória é a que se refere à disposição do lodo em sistemas alagados construídos de escoamento vertical (SACs-EV), sistema de tratamento em que o lodo é aplicado superficialmente sobre um substrato poroso e vegetado, onde, formando um bio-sólido de coloração escura, rico em matéria orgânica, vai sendo acumulado (STEFANAKIS; TSIHRINTZIS, 2012). O material sólido disposto nesses sistemas forma distintas camadas, com diferentes graus de humificação e mineralização, de acordo com o tempo de permanência no sistema.

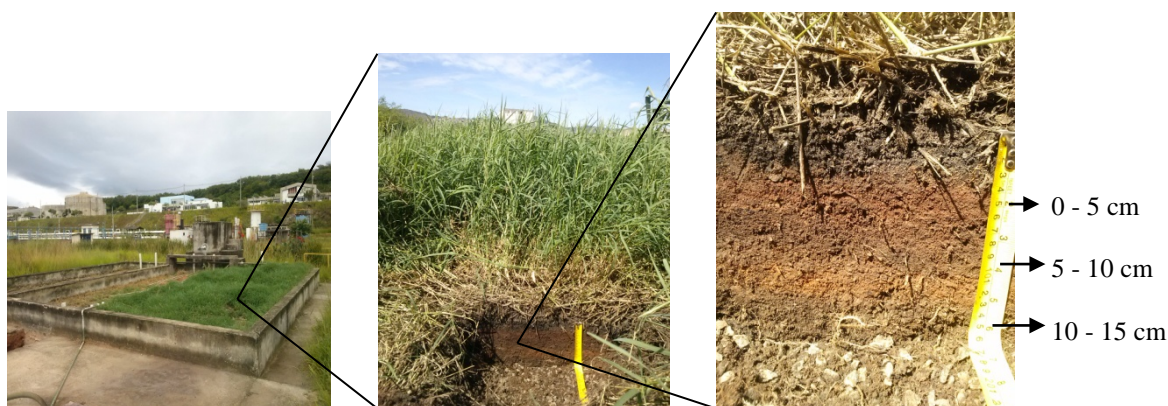
Segundo Suntti *et al.* (2011), os SACs-EV plantados constituem um sistema natural e descentralizado para tratamento de lodos anaeróbios ou aeróbios, com baixo custo de implantação, simplicidade operacional, baixo consumo energético e passíveis de serem implantados nas mais diversas situações, além de não necessitarem da adição de produtos químicos para se realizar o desaguamento do lodo. Nesses sistemas, as raízes das macrófitas propiciam condições para aderência de microrganismos; a transferência de oxigênio para o meio; e o aumento na perda de água do lodo, por evapotranspiração. O caule, por sua vez, facilita a drenagem do sistema pela formação de canais tubulares proporcionados pela ação do vento sobre ele.

Após um tempo de permanência nos SACs-EV, o lodo acumulado deverá ser removido e ter sua disposição final, que pode ser feita tanto em aterros sanitários ou em áreas agrícolas. No último caso, essa disposição final possibilita seu aproveitamento como fertilizante, trazendo uma série de benefícios ao solo e às plantas, sendo isso um benefício altamente considerado, atualmente. Pouco conhecimento se tem, entretanto, a respeito das taxas de degradação e do valor fertilizante dos referidos lodos estabilizados em SACs-EV.

Neste estudo, objetiva-se avaliar a degradabilidade no solo da matéria orgânica do lodo de esgoto sanitário acumulado em sistema alagado construído em escoamento vertical (SAC-EV) em condições de campo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O lodo de esgoto sanitário utilizado foi coletado no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS/UFMG/COPASA), localizado na Estação de Tratamento de Esgoto da Bacia do Ribeirão Arrudas (ETE-Arrudas), município de Belo Horizonte, Minas Gerais, sob as coordenadas geográficas: 19°53'42" S e 43°52'42" W. A unidade de tratamento em Sistema Alagado Construído de Escoamento Vertical (SAC-EV), realizou o tratamento de lodo de tanque séptico bruto no período de setembro de 2013 a junho de 2015 e promoveu o acúmulo de uma camada de aproximadamente 15 cm de lodo. O lodo foi coletado em três profundidades (camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 15 cm) (Figura 1).



**Figura 1: Lodo acumulado no SAC-EV.**

Em todas as amostras de lodo coletadas na unidade de SAC-EV, assim como nas amostras da mistura lodo-solo coletadas na área onde o experimento foi implantado, realizou-se a caracterização química, constituída da medição do pH, determinação dos teores de carbono orgânico compostável (CO<sub>fo</sub>), obtido pelo método Walkley-Black e nitrogênio total (NT), obtido pelo método Kjeldahl, quantificados de acordo com a

metodologia descrita em Matos (2015); o nitrogênio inorgânico (N-inor), segundo metodologia descrita por Raij *et al.* (2001); o carbono orgânico total (COT), quantificado no Analisador de Carbono Total (TOC- $V_{CPN}$ ).

Na caracterização física, foram quantificados os sólidos totais (ST), sólidos voláteis totais (SVT) e conteúdo de água nos lodos (U), seguindo-se o método gravimétrico, apresentados por Matos (2015). Os resultados das caracterizações físicas e químicas do lodo de sistema alagado construído com escoamento vertical coletado nas camadas de 0 a 5 cm (LSAC 0 - 5 cm), 5 a 10 cm (LSAC 5 - 10 cm), 10 a 15 cm (LSAC 10 - 15 cm) e do solo controle (SC) estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1. Caracterização física e química dos lodos de esgoto sanitário e do solo no qual foram incorporados**

| Unidades                                    | LSAC<br>0 - 5 cm | LSAC<br>5 - 10 cm | LSAC<br>10 - 15 cm | SC    |
|---------------------------------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------|
| pH <sup>(1)</sup>                           | 5,2              | 5,8               | 5,5                | 4,6   |
| U <sup>(2)</sup><br>dag kg <sup>-1</sup>    | 37,47            | 36,26             | 39,79              | 12,43 |
| ST <sup>(3)</sup><br>dag kg <sup>-1</sup>   | 62,86            | 61,45             | 59,47              | 87,20 |
| SVT <sup>(4)</sup><br>dag kg <sup>-1</sup>  | 38,63            | 25,64             | 22,84              | 8,64  |
| COT <sup>(5)</sup><br>dag kg <sup>-1</sup>  | 27,84            | 18,33             | 15,99              | 1,60  |
| COfo <sup>(6)</sup><br>dag kg <sup>-1</sup> | 15,75            | 10,05             | 9,45               | 1,23  |
| NT <sup>(7)</sup><br>dag kg <sup>-1</sup>   | 2,17             | 1,26              | 1,24               | 0,13  |
| C/N <sup>(8)</sup>                          | 9,4              | 10,4              | 9,9                | 12,3  |

<sup>(1)</sup>pH: determinado em solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>; <sup>(2)</sup>U: teor de água a 65 °C; <sup>(3)</sup>ST: sólidos totais, quantificados após secagem em estufa sob temperatura de 105 °C; <sup>(4)</sup>SVT: sólidos voláteis totais, quantificados após carbonização da matéria seca (ST) em mufla, sob temperatura de 550 °C; <sup>(5)</sup>COT: carbono orgânico total quantificado utilizando-se o Analisador de Carbono Total (TOC- $V_{CPN}$ ); <sup>(6)</sup>COfo: carbono orgânico facilmente oxidável, quantificado pelo método Walkley-Black; <sup>(7)</sup>NT: nitrogênio total, quantificado utilizando-se o método Kjeldahl; <sup>(8)</sup>C/N: relação carbono/nitrogênio; LSAC: lodo do sistema alagado construído nas três respectivas camadas (0 - 5, 5 - 10 e 10 - 15 cm); SC: solo controle.

O experimento de campo foi implantado em área situada no Campus Pampulha da UFMG, localizado no município de Belo Horizonte (coordenadas 19° 52' 23,71" S e 43° 57' 52,87" W), no Estado de Minas Gerais (Figura 2). Essa região caracteriza-se por apresentar um clima do tipo tropical, com uma estação seca bem definida do tipo AW, de acordo com classificação climática de Köppen e Geiger (1965), com média anual de temperatura e precipitação respectivamente de 20,5 °C e 1430 mm.

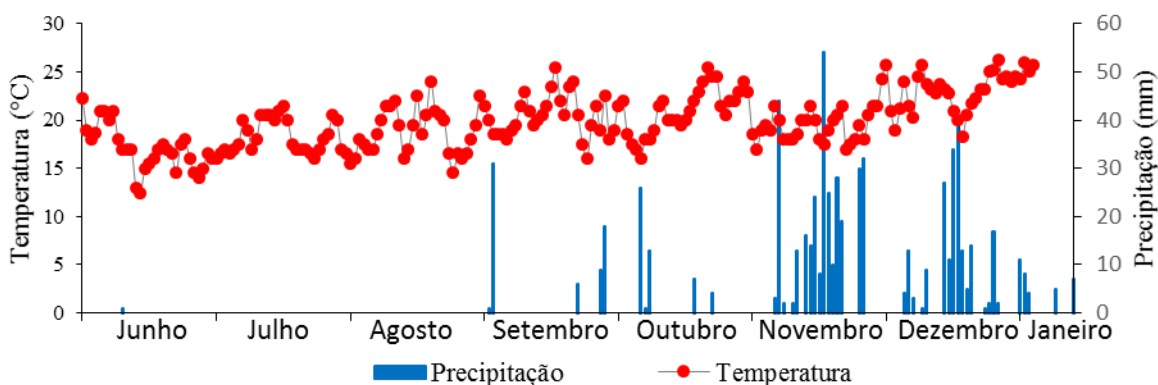


**Figura 2: Área experimental e preenchimento das unidades amostrais com a mistura lodo-solo**

Na área experimental, foram feitas unidades amostrais em formato cilíndrico (40 cm de diâmetro e 20 cm de profundidade), que foram preenchidas com, aproximadamente, 25 dm<sup>3</sup> da mistura (próprio solo retirado da área + lodo), além do reacondicionamento do próprio solo, no tratamento controle. Um total de 16 unidades experimentais foram preparadas, para avaliar o decaimento na concentração do carbono e nitrogênio orgânicos. O preenchimento das unidades experimentais com a mistura lodo-solo e com o próprio solo foi realizado na segunda semana do mês de junho de 2016.

Como planejamento experimental, adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com parcelas subdivididas no tempo, com quatro repetições e três tratamentos. As doses adicionadas de lodo em cada unidade foi calculada para fornecer 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, dose recomendada para a manutenção de pastagens (RIBEIRO *et al.*, 1999), considerando 100 % de mineralização do N-total contido nos resíduos. As doses (matéria úmida) aplicadas de resíduos orgânicos no solo foram de 22,68 Mg ha<sup>-1</sup> (286,0 g/unidade amostral) de lodo do sistema de alagado construído com escoamento vertical, coletados às profundidades de 0 a 5 cm (LSAC 0 - 5 cm); 35,79 Mg ha<sup>-1</sup> (451 g/unidade amostral) do coletado de 5 a 10 cm (LSAC 5 - 10 cm); e 36,48 Mg ha<sup>-1</sup> (460,0 g/unidade amostral) do coletado de 10 a 15 cm (LSAC 10 - 15 cm). Considerou-se, para o cálculo da massa de resíduo em cada unidade experimental, uma quantidade de solo igual a 2.000.000 kg por hectare (massa de solo correspondente à camada 0,00-0,20 m de profundidade, sendo sua massa específica de 1,0 kg dm<sup>-3</sup>).

Foram realizadas coletas de amostras de lodo-solo aos 0, 1, 2, 5, 11, 23, 47, 100 e 215 dias, em todo o perfil de cada unidade experimental de 20 cm de profundidade, com auxílio de um amostrador tubular. Dados mensais de precipitação e temperatura do ar relativos ao período de junho de 2016 a janeiro de 2017, foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 3).



**Figura 3: Dados climáticos de precipitação e temperatura do ar obtidos no período de condução do experimento**

As frações mineralizadas de carbono orgânico total (FMCOT) e nitrogênio orgânico (FMNO) foram quantificadas de forma semelhante ao proposto por Paula *et al.* (2013), Pereira *et al.* (2015) e Diniz *et al.* (2016), obtidas diretamente a partir dos teores observados, conforme apresentado nas equações 1 e 2:

$$FMCOT = 100 \times \frac{[(COT_{(trat)in} - COT_{(cont)in}) - (COT_{(trat)fin} - COT_{(cont)fin})]}{(COT_{(trat)in} - COT_{(cont)in})} \quad \text{Equação (1)}$$

em que:  $COT_{(trat)in}$  e  $COT_{(trat)fin}$  = carbono orgânico total no lodo-solo, respectivamente no início e no final do período de experimento (dag kg<sup>-1</sup>);  $COT_{(cont)in}$  e  $COT_{(cont)fin}$  = carbono orgânico total no solo, respectivamente no início e no final do período de experimento (dag kg<sup>-1</sup>);

$$FMNO = 100 \times \frac{[(NO_{(trat)in} - NO_{(cont)in}) - (NO_{(trat)fin} - NO_{(cont)fin})]}{(NO_{(trat)in} - NO_{(cont)in})} \quad \text{Equação (2)}$$

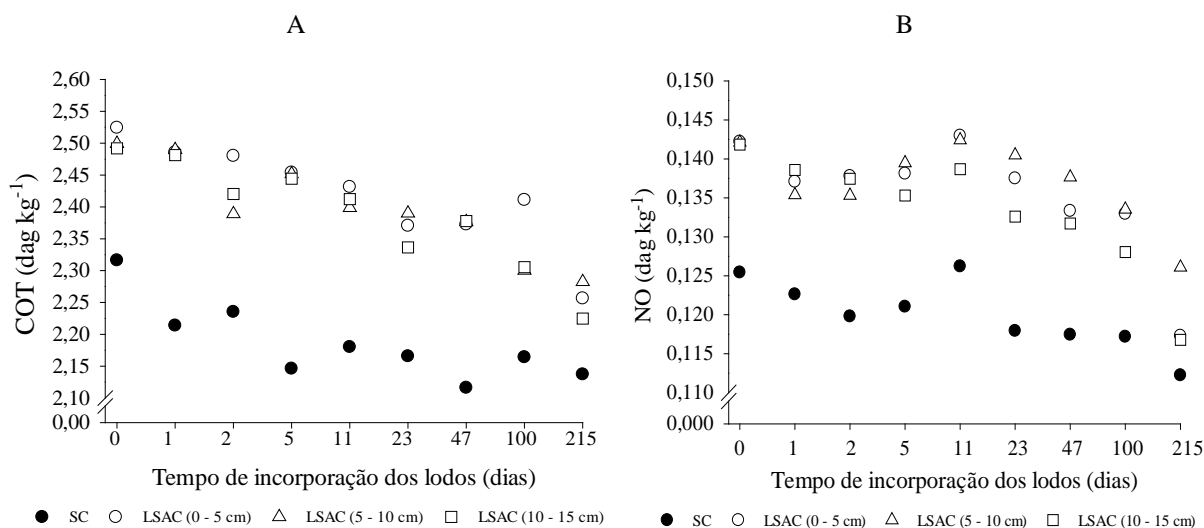
em que:  $NO_{(trat)in}$  e  $NO_{(trat)fin}$  = nitrogênio orgânico no lodo-solo, respectivamente no início e no final do período de experimento (dag kg<sup>-1</sup>);  $NO_{(cont)in}$  e  $NO_{(cont)fin}$  = nitrogênio orgânico no solo, respectivamente no início e no final do período de experimento (dag kg<sup>-1</sup>).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar dos lodos apresentarem características físicas e químicas similares ao reportado na literatura, a sua incorporação ao solo, na dose de aplicação de 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, como apresentado na Figura 4a proporcionou,

no tempo zero, a obtenção dos teores de carbono orgânico total (COT) de 2,52; 2,50; 2,42 dag kg<sup>-1</sup>, respectivamente para LSAC 0 - 5 cm; LSAC 5 - 10 cm; LSAC 10 - 15 cm, teores pouco superiores aos presentes no solo controle, que foi de 2,30 dag kg<sup>-1</sup>. Esses resultados indicam que, ao se restringir a aplicação de lodo ao solo com base numa dose máxima de 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, não se proporciona alterações significativas nos teores de matéria orgânica do solo.

Pode ser observado, na Figura 4a, que houve o decaimento nos teores de COT da sua aplicação em relação aos 215 dias de degradação no solo, tendo sido apresentados valores de 2,34; 2,31; 2,22 e 2,15 dag kg<sup>-1</sup>, respectivamente para LSAC 0 - 5 cm; LSAC 5 - 10 cm; LSAC 10 - 15 cm e SC. O decaimento inicial do material orgânico ocorreu de forma mais lenta que o observado por outros autores, que constataram maior degradação nos primeiros dois meses de incorporação dos resíduos no solo. Paula *et al.* (2013), ao realizarem o estudo de mineralização da matéria orgânica no solo em condições de campo, no período de dezembro de 2010 a novembro de 2011, observaram maior taxa de mineralização dos resíduos orgânicos nos primeiros dois meses de sua incorporação no solo. Acredita-se que, neste experimento, a menor taxa de degradação tenha sido decorrente dos baixos conteúdos de água no solo, em razão dos baixos índices pluviométricos no período.



**Figura 4: Teores de carbono orgânico total (a) e nitrogênio orgânico (b) na camada de 0,00-0,20 m do solo das unidades experimentais**

Na Figura 4b, os teores de nitrogênio orgânico (NO) indicaram que a incorporação dos resíduos orgânicos proporcionou aumento nos teores desse nutriente, logo após sua incorporação, para 0,147; 0,142; 0,141 dag kg<sup>-1</sup>, respectivamente, no LSAC 0 - 5 cm; LSAC 5 - 10 cm; LSAC 10 - 15 cm, sendo o teor inicial no SC de 0,125 dag kg<sup>-1</sup>. Decorridos 215 dias da incorporação dos lodos ao solo nas parcelas experimentais, observou-se um decréscimo nos teores de nitrogênio orgânico no solo. Lodo de esgoto geralmente apresenta baixa relação C/N e riqueza em material proteico, de fácil degradação pelos microrganismos (LERCH *et al.*, 1993), essas características possibilitam sua rápida mineralização e liberação de N-inorgânico (EPSTEIN *et al.*, 1978). Todavia, se o lodo contiver pequena quantidade de compostos facilmente degradável, predominando compostos orgânicos parcialmente estabilizados (CASTELLANOS; PRATT, 1981), isto implica em modestas taxas de degradação do material orgânico no solo (Bernal *et al.*, 1998), o que proporciona aumentos no estoque de carbono e a benefícios, como melhoria na retenção de água e capacidade de troca catiônica.

Na Tabela 2 estão apresentadas as frações mineralizadas do COT e do NO, calculadas utilizando-se os dados brutos obtidos nas análises das amostras de lodo-solo, após 215 dias de sua incorporação ao solo das unidades experimentais. A fração de COT mineralizada foi diferente entre os resíduos, seguindo a ordem do maior para o menor LSAC 10 - 15 cm > LSAC 0 - 5 cm > LSAC 5 - 10 cm, sendo a maior fração de mineralização de 50% e a menor de 21%.

**Tabela 2. Estimativa da fração de mineralização do carbono orgânico total (FMCOT) e fração de mineralização do nitrogênio orgânico (FMNO) na mistura lodo-solo, obtidos após 215 dias de incorporação ao solo**

|                                                 | LSAC<br>0 - 5 cm | LSAC<br>5 - 10 cm | LSAC<br>10 - 15 cm |
|-------------------------------------------------|------------------|-------------------|--------------------|
| COT <sub>aplic</sub> (g kg <sup>-1</sup> )      | 1,99             | 2,11              | 1,77               |
| COT <sub>min(215 d)</sub> (g kg <sup>-1</sup> ) | 2,968            | 2,211             | 2,638              |
| FMCOT <sub>(obs)</sub> (%)                      | 43               | 21                | 50                 |
| NO <sub>aplic</sub> (g kg <sup>-1</sup> )       | 0,15             | 0,14              | 0,14               |
| NO <sub>min(215 d)</sub> (g kg <sup>-1</sup> )  | 0,286            | 0,196             | 0,283              |
| FMNO <sub>(obs)</sub> (%)                       | 70               | 17                | 72                 |

COT<sub>aplic</sub> - massa de carbono orgânico total aplicada nas unidades experimentais (g kg<sup>-1</sup>); COT<sub>min</sub> - carbono orgânico total mineralizado acumulado obtido com base nos dados observados nos 215 dias (g kg<sup>-1</sup>); fração de mineralização -  $FMCOT_{(obs)} = 100 \cdot [(COT_{(trat)in} - COT_{(cont)in}) - (COT_{(trat)fin} - COT_{(cont)fin}) / (COT_{(trat)in} - COT_{(cont)in})]$ ; NO<sub>aplic</sub> - massa de nitrogênio orgânico aplicada nas unidades experimentais (g kg<sup>-1</sup>); NO<sub>min</sub> - nitrogênio orgânico mineralizado acumulado obtido com base nos dados observados nos 215 dias (g kg<sup>-1</sup>); fração de mineralização -  $FMNO_{(obs)} = 100 \cdot [(NO_{(trat)in} - NO_{(cont)in}) - (NO_{(trat)fin} - NO_{(cont)fin}) / (NO_{(trat)in} - NO_{(cont)in})]$ ;

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 2, relativos às quantidades de COT<sub>min(215d)</sub> em relação às quantidades de COT<sub>aplic</sub> de todos os lodos em cada cova, verifica-se que, em muitas situações, o mineralizado foi maior que o aplicado, sendo indicativo de que todos os lodos incorporados ao solo proporcionaram o efeito *priming*, que é o de estimular a degradação da matéria orgânica nativa do solo (PAULA *et al.*, 2013), decorrente da forte atividade microbiana induzida pela aplicação de lodo de esgoto com altos teores de substâncias orgânicas lábeis, as quais proporcionaram a mineralização do carbono nativo do solo (SORIANO-DISLA *et al.*, 2010).

O efeito *priming* provocado pelo aumento na mineralização de MO do solo nativo, como consequência da incorporação de resíduos orgânicos, tem sido observado em muitos estudos, tanto em campo como em laboratório (PAZ FERREIRO *et al.* 2011; ZAVALLONI *et al.*, 2009; ZIMMERMAN *et al.*, 2011). Em estudo para avaliar o efeito *priming*, Terry *et al.* (1979) incorporaram lodo de esgoto ao solo, na dose de 22 t ha<sup>-1</sup>, tendo observado que, ao final de 336 dias de incubação das amostras, houve aumento de 100% a degradação da MO original do solo.

Não se encontra explicação, à luz da caracterização apresentada na Tabela 2, para os resultados de FMCOT, tendo em vista que os teores de COT, indicam que a sequência esperada para a fração de mineralização do material orgânico incorporado ao solo seria: LSAC 0 - 5 cm > LSAC 5 - 10 cm > LSAC 10 - 15 cm. Suspeita-se que isso esteja associado as características específicas de cada amostra.

Em relação aos valores de NO (Tabela 2), verifica-se ter sido obtida sequência de fração de mineralização semelhante a observada para o COT nas três diferentes camadas, com valores de 70%, para LSAC 0 - 5 cm; 17%, para LSAC 5 - 10 cm; e 72%, para LSAC 10 -15 cm. Acredita-se que o grau de mineralização seja maior quanto mais profunda for a camada e com mais tempo de permanência do material acumulado no SAC-EV. Em estudo de mineralização do carbono e nitrogênio de resíduos orgânicos aplicados ao solo em campo, Paula *et al.* (2013) estimaram frações de mineralização de 89,3% para diferentes resíduos orgânicos, após terem sido dispostos superficialmente ou incorporados no solo por 120 dias, valores maiores que os encontrados neste experimento.

## CONCLUSÃO

A estimativa da fração de mineralização do material orgânico incorporado ao solo em condições de campo com base nos dados observados não representa satisfatoriamente o que realmente ocorre ao decorrer do tempo, necessitando dessa forma de um número maior de observações ao longo do experimento com a finalidade de obter resposta mais confiável da degradação do material orgânico.

## AGRADECIMENTO

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG pelo custeio de parte dos custos de participação no congresso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C.V., SPERLING, M.V., FERNANDES, F. Lodos de esgotos: tratamento e disposição final. 2ª edição, Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444p.
2. BRASIL. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento-SNIS. Diagnóstico dos serviços de água e esgoto. Brasília, DF, 2014.
3. FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A.; COELHO, A. M.; Yield and yield components of upland rice as influenced by nitrogen sources. *Journal of Plant Nutrition*, v. 34, p. 361-370, 2011.
4. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 27 de janeiro de 2017.
5. MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 319p.
6. MATOS, A.T. Manual de análise de resíduos sólidos e águas residuárias. edição. UFV, Viçosa, MG, 2015.
7. PAULA, J.R., MATOS, A.T., MATOS, M.T., PEREIRA, M.S., ANDRADE, C.A. Mineralização do carbono e nitrogênio de resíduos aplicados ao solo em campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p.1729-1741, 2013.
8. PAZ-FERREIRO, J.; GASCÓ, G.; GUTIERREZ, B.; MÉNDEZ, A. Soil activities and the geometric mean of enzyme activities after application of sewage sludge and sewage sludge biochar to soil, *Biol. Fert. Soils*, v. 48, p. 512–517, 2012.
9. RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.
10. RIBEIRO, A.M.M., GUIMARÃES, P.T., ALVAREZ V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes para o Estado de Minas Gerais. 5ª aproximação, Viçosa, MG, CFSEMG, 1999. 359p.
11. SORIANO-DISLA, I.; GÓMEZ, I.; NAVARRO-PEDRENO, J. The influence of soil properties on the mobility of metais following a single application of polluted sewage sludge to seventy agricultural topsoils: a laboratory column study. *Soil and Sediment Contamination*, v. 20, p. 961-976, 2011.
12. STEFANAKIS, A.I., TSIHRINTZIS, V.A. Dewatering mechanisms in pilot-scale Sludge Drying Reed Beds: Effect of design and operational parameters. *Chemical Engineering Journal*, v.172, 2012.
13. SUNTTI, C., MAGRI, M.E., PHILIPPI, L.S. Filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical aplicados na mineralização e desaguamento de lodo de tanque séptico. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.16, n.1, 2011.
14. TERRY, R. E.; NELSON, D. W.; SOMMERS, L.E. Carbon cycling during sewage sludge decomposition in soils. *Soil Science Society of America Journal*. v. 43, p. 494-499, 1979.
15. TSUTIYA, M.T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M.T., COMPARINI, J.B., SOBRINHO, A.P., HESPANHOL, I., CARVALHO, P.C.T., MELFI, A.J. (Ed.) Biossólidos na agricultura, São Paulo: Sabesp, 2001, cap.4, p.89-131.
16. ZAVALLONI, C.; ALBERTI, G.; BIASIOL, S.; DELLE VEDOVE, G.; FORNASIER, F.; LIU, J.; PERESSOTTI, A. Microbial mineralization of biochar and wheat straw mixture in soil: a short-term study, *Appl. Soil Ecol.*, v. 50, p. 45–51, 2011.
17. ZIMMERMAN, A. R.; GAO, B.; AHN, M. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar amended soils, *Soil Biol. Biochem*, v. 43, p. 1169–1179, 2011.