

## MUDANÇAS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FÍSICAS E DO CARBONO ORGÂNICO EM UM SOLO IMPACTADO COM EFLUENTE DOMÉSTICO

Vania Rosolen

Prof. Dr. Programa de Pós-graduação em Geografia - UFU  
[vrosolen@ig.ufu.br](mailto:vrosolen@ig.ufu.br)

### RESUMO

O rápido *aumento* de esgoto gerado pelos municípios e a necessidade de medidas para a disposição e tratamento têm levado à expansão de tratamentos alternativos como o sistema de escoamento à superfície. A disposição de esgoto doméstico na superfície do solo provoca importantes mudanças nas características físicas, químicas e morfológicas. O principal produto responsável por estas mudanças é a presença de grande quantidade de carbono orgânico presente no esgoto doméstico.

**Palavras-chave:** esgoto doméstico; carbono orgânico; mudanças morfológicas e físicas do solo.

## CHANGES OF MORPHOLOGICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS AND OF ORGANIC CARBON IN A SOIL IMPACTED BY DOMESTIC WASTEWATER

### ABSTRACT

The rapid *increase* of wastewater worldwide and the needed treatment measures towards disposal purpose has lead to an expansion of alternative treatment as overland flow process. The wastewater disposal in the soil surface is responsible to promote important changes in the physical, chemical and morphological characteristics. The mainly product responsible by this change is the high contents of organic carbon presents in the domestic wastewater.

**Key-words:** domestic wastewater; organic carbon; morphological and physical changes of soil.

---

### INTRODUÇÃO

O solo é um corpo natural que exerce múltiplas funções, sendo que, uma das mais importantes e impactantes é a função de depurador de resíduos orgânicos ou químicos (RUELLAN E DOSSO, 1993). Quando o esgoto doméstico é disposto no solo, este corpo atua como um filtro e assimila os produtos através de uma complexa rede de processos físicos e biológicos (ADRIANO et al., 2004). As propriedades físicas, químicas e biológicas do solo são condicionantes para amenizar os impactos gerados pela disposição de resíduos.

---

Recebido em 22/09/2007  
Aprovado para publicação em 21/02/2008

Quando se usa o solo como um corpo para tratamento de esgoto doméstico, podem ocorrer várias modificações de ordem morfológicas, físicas e químicas. Os sistemas alternativos de tratamento de esgoto, como por exemplo o escoamento à superfície, têm a vantagem de ser um sistema de baixo custo e de fácil operação para os municípios de pequeno porte e que tenham as condições ambientais adequadas (SCOTT E FULTON, 1978, HALL, 1979, PAGANINI, 2001). Neste sistema de tratamento, o efluente é disposto diretamente sobre a superfície do solo. O resultado do tratamento é que uma porção significativa dos sólidos e elementos químicos que estavam presentes no esgoto fica retida no solo, e o efluente tratado escoar para posterior descarga no curso d'água (PAGANINI, 2001). Se por um lado, o sistema é eficiente para o tratamento do esgoto, por outro, características originais dos solos podem ser profundamente mudadas alterando o funcionamento do sistema.

No caso dos solos tropicais, que geralmente são empobrecidos geoquimicamente, possuem baixos teores de carbono, são frágeis e compostos quase que exclusivamente pela acumulação de oxihidróxidos de ferro (hematita e goethita), de alumínio (gibbsite e caolinita) e quartzo residual. São produtos de um meio relativamente bem drenado, vertical ou lateral, e oxidado devido à organização estrutural da matriz (MELFI et al., 1999). A natureza intrínseca destes solos facilita sua função de depuração porém sem não provocar mudanças nas suas propriedades naturais.

O objetivo deste artigo é apresentar as variações morfológicas, físicas e do teor de carbono orgânico total e carbono isotópico quando um solo tropical é usado como um sistema depurador de esgoto doméstico.

## **Materiais e Métodos**

### **Área de Estudo**

O campo experimental com o sistema de tratamento de esgoto por escoamento à superfície situa-se no município de Populina. O município possui 4.500 habitantes e está localizada a Nordeste do Estado de São Paulo. O clima é tropical com uma média de precipitação anual de 1200mm cuja máxima se concentra nos meses de verão, de setembro a abril. O inverno, entre os meses de maio a agosto, é marcadamente seco.

A temperatura média anual é de 23°C com pouca variação de amplitude entre os meses de verão e inverno. A geologia corresponde aos arenitos do Grupo Bauru e o relevo predominante são as colinas suavemente onduladas. O solo é classificado como Latossolo distroférico. Comporta argilas de atividade baixa, principalmente caolinita, associada com óxidos de ferro e alumínio. O solo é arenoso, coeso, com baixo valor de pH e baixo teor de carbono orgânico.

A vegetação original era a floresta tropical semidecidual que, há aproximadamente 50 anos, foi desflorestada para dar lugar às pastagens.

### **Campo e laboratório**

No campo foram feitas tradagens e abertas trincheiras ao longo das vertentes (de referência e de tratamento de efluentes) para o reconhecimento da cobertura pedológica seguindo o método da Análise Estrutural proposta por BOULET et al. (1982). Nas trincheiras, a montante, foram coletadas amostras para análises de Carbono Orgânico Total (COT), granulometria e amostras indeformadas para confecção de lâminas delgadas. As lâminas (tamanho 9x7cm) foram confeccionadas após a impregnação das amostras de solo com resina poliéster. Para o estudo detalhado das organizações do fundo matricial foram geradas imagens em escala ultramicroscópicas utilizando um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV- JEOL JSM-5600LV).

Para este artigo, serão apresentadas as análises morfológicas e de Carbono Orgânico Total de dois perfis: um perfil a montante do solo de referência e outro perfil na mesma posição topográfica e com o mesmo solo porém usado para o tratamento de efluente. Foram coletadas amostras entre 0 e 150cm de profundidade, com o objetivo de determinar o teor total de carbono presente no solo e qual é a participação do efluente no enriquecimento dos teores totais e até em qual profundidade

ocorre. As amostras de solo foram aquecidas a 50°C até atingir peso constante. Plantas e raízes foram retiradas manualmente.

Resíduos de plantas que permaneceram no solo foram eliminados por flotação em HCl 0,01M e subsequente peneiramento a 210µm. As determinações foram feitas em um espectrômetro de massa. A determinação do Carbono isotópico  $\delta^{13}\text{C}$  teve por objetivo foi identificar a natureza da matéria orgânica presente no solo de referência e procurar discriminar a matéria orgânica que entra no sistema através do efluente. Os resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  são expressos em  $\delta$  (‰) de acordo com o padrão de referência internacional PDB usando um espectrômetro de massa. Finalmente, a densidade do solo foi realizada em um picnômetro a gás (ACCUPY 1330) cujos resultados, associados com os resultados das análises de carbono, permitiram identificar mudanças de um parâmetro físico no solo devido ao sistema de tratamento de esgoto.

## Resultados e Discussões

### A cobertura pedológica

Ao longo da vertente não impactada com efluente (referência) foram reconhecidas 3 unidades de evolução pedogenética: uma a montante, outra na meia encosta e outra a jusante. As unidades possuem relação genética e o principal mecanismo de transformação é à evolução remontante da hidromorfia, que transforma os horizontes lateríticos iniciais. Este sistema de transformação é característico das regiões tropicais e foi pesquisado em diferentes áreas tropicais (FRITSCH E FITZPATRICK, 1994, PETERSCHIMITT et al., 1996, MAFRA, 2000, ROSOLEN et al., 2002).

Neste artigo, apenas o perfil da montante, denominado de perfil de referência, será apresentado para comparar as mudanças produzidas pela incorporação da matéria orgânica do efluente doméstico. O segmento da montante é composto por um conjunto de 4 horizontes sobrepostos:

- 0-30cm horizonte superficial bruno-avermelhado (BA) 5YR4/4, areno-argiloso, poliédrica com muita areia lavada nos poros e nas faces estruturais;
- 30-70cm horizonte vermelho compacto (VEc) 2,5YR4/6 com volumes amarelo-vivo (mm), areno-argiloso a argilo-arenoso, maciça com fraturas paralelas, coesão muito forte;
- 70-460cm horizonte vermelho (VE) 2,5YR4/6, argilo-arenoso, poliédrica fracamente desenvolvida e subestrutura microagregada, presença de areia lavada nos poros e nódulos ferruginosos;
- 470-500cm horizonte arenito alterado com pedaços de couraça (AA/Couraça). Matriz bruno-avermelhada 2,5YR4/4 com volumes amarelo-brunado 10YR6/8, arenoso. Intercala níveis ferruginosos (pedaços de couraça) alterados com nódulos ferruginosos imersos na matriz do arenito alterado.

Quando o efluente é lançado no perfil do solo acima descrito, apenas as características da superfície do solo são alteradas (Figura 1).

A incorporação de grande quantidade de matéria orgânica se concentra nos primeiros 5cm de profundidade, formando um contato nítido com o horizonte mineral subjacente. Abaixo, quando há interação com a matéria mineral, entre 5 e 20cm de profundidade, a matriz torna-se bruno-avermelhada indicando concentração diferenciada de matéria orgânica. Além do efeito da pigmentação, a matéria orgânica resulta em nítidas mudanças estruturais.

Análises morfológicas obtidas em MEV revelam que a matriz vermelha é composta por blocos subangulares cujas linhas de fraqueza levam a individualização de microestruturas agregadas (Figura 2A). O rompimento das estruturas maiores em subestruturas menores é responsável pelo desenvolvimento de uma expressiva porosidade de empilhamento. Quando da disposição do efluente, há uma nítida mudança da estrutura do solo (Figura 2B).

Inicialmente, na superfície (5cm), há a coalescência das estruturas originais que foram recobertas pela matéria orgânica. Posteriormente, em maior profundidade (5-20cm), a ação da matéria orgânica é eficiente em formar uma matriz predominantemente microagregada. A porosidade resultante é formada por poros interagregados mais abertos.

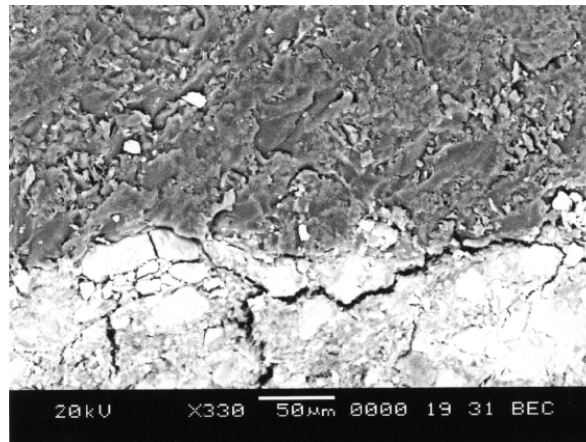


Figura 1: Contato nítido entre o horizonte superficial rico em matéria orgânica do efluente e a matriz mineral do horizonte vermelho subjacente. As manchas mais escuras neste horizonte refletem concentração diferencial de matéria orgânica percolada, alterando a matriz de vermelha.

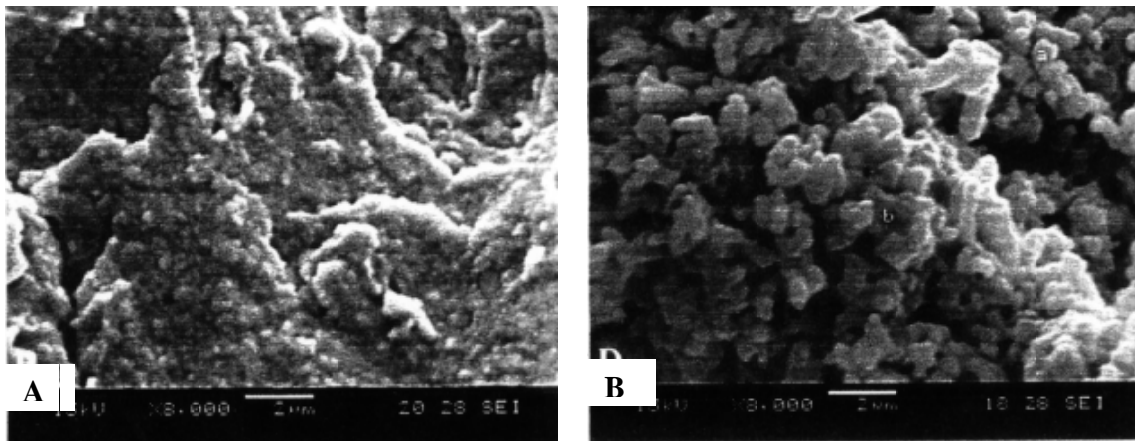


Figura 2: Análises morfológicas obtidas em MEV. (A) matriz vermelha composta por blocos subangulares e individualização de microestruturas e (B) mudança da estrutura do solo devido à disposição do efluente formando predominantemente uma estrutura microagregada estável.

Além das mudanças morfológicas, foram determinadas mudanças no teor de carbono orgânico, assinatura isotópica e densidade do solo. No perfil de referência, o teor de COT é baixo. A 10cm de profundidade o teor é de 1,3% e diminui sistematicamente com a profundidade. A 50cm o teor é de 0,4% e entre 100-150cm é de 0,1%. No perfil com efluente há um expressivo aumento do teor de COT na superfície. A 5cm de profundidade, o teor é de 24,3% e a 12cm diminui para 13,4%. Para a profundidade do perfil, a diminuição do teor de carbono é acentuada, apresentando 1,7% a 22cm e 0,1% entre 60cm e 150cm de profundidade.

A matéria orgânica que está em contato com a matriz mineral do solo é originada principalmente de duas fontes: (i) matéria orgânica proveniente da cobertura vegetal pretérita (floresta) mais antiga e

menos abundante ou atual (gramínea) e (ii) a matéria orgânica incorporada ao solo através da disposição do esgoto doméstico relativamente jovem e abundante. Os resultados isotópicos indicam que nas camadas do solo abaixo dos 20cm, nos dois perfis estudados, predominam valores de  $\delta^{13}\text{C}$  típicos de plantas C3 (floresta), com valores aproximados entre -20 e -24‰. Na superfície do solo do perfil de referência há um enriquecimento isotópico, com valores entre -15 e -17‰. Estes valores correspondem a plantas do tipo C4 (gramíneas). Estes resultados estão em acordo com a cobertura vegetal original da área, a floresta, que foi derrubada há aproximadamente 50 anos e uso do solo atual que corresponde à pastagem. Na superfície do solo do perfil com efluente há um empobrecimento isotópico. Os valores variam entre -23‰ a 0-5cm e -21‰ a 8-12cm de profundidade. Estes valores não são coerentes com a vegetação dos módulos de tratamento que são cobertos por gramíneas e refletem a presença da matéria orgânica do efluente. O valor isotópico do efluente seco é de -22‰.

A incorporação da matéria orgânica no solo via efluente provoca uma diminuição da densidade do sólido, de aproximadamente 2,7 para 1,7, refletindo o aumento da porosidade gerada pelo acúmulo da matéria orgânica.

#### **A incorporação da matéria orgânica do efluente e a redução da erosão superficial na vertente**

Os solos da vertente de referência possuem textura arenosa a argilo-arenosa. O teor total de areia é alto, entre 69 e 86%, e os teores de argila variam entre 7 e 22% (Figura 3).

Os horizontes superficiais são os que apresentam teores ligeiramente superiores de areia com presença constante de areia lavada (grãos soltos de quartzo) na superfície, sugerindo perda da fração fina por erosão mecânica superficial. O escoamento superficial em solos com estrutura frágil e parcialmente expostos aliado ao regime pluviométrico que concentra chuvas fortes em um único período do ano caracterizam condições ideais para o desenvolvimento e aceleração dos processos erosivos. A eluviação vertical de argila como fator responsável pelo aumento relativo do teor de areia não encontra sustentação, pois não se caracteriza um gradiente textural e não há cerosidade na matriz dos horizontes subsuperficiais.

A transição do horizonte subsuperficial Vermelho compacto para poliédrico/microagregado é acompanhada por ligeira diminuição do teor de areia e aumento da fração argila. A formação de microagregados estáveis no solo é responsável pela estabilidade da fração argila. Segundo CHAUVEL et al. (1983) as zonas mais densas (estruturas poliédricas) compostas por argila caolinítica quando submetidas a constante e progressiva dessaturação associado à cristalização dos óxidos de ferro, resultam em uma rede de fissuras (stress) que levam a individualização de estruturas microgranulares estáveis.

Quanto os solos da vertente recebem o efluente, há uma mudança expressiva na composição granulométrica referente ao horizonte orgânico superficial (Figura 4). Nestes horizontes, ao longo da toposseqüência, de montante para jusante baixo teor de areia (18%) está associado com valor ligeiramente mais alto de argila (22%) porém é a fração silte que apresenta um nítido aumento (40%). A montante, abaixo do horizonte orgânico, o horizonte organomineral apresenta valor ainda mais elevado de silte (49%). Este comportamento não se prolonga até o perfil da meia encosta, interrompendo-se aproximadamente a 15m de distância. Abaixo, nos horizontes vermelhos, a composição granulométrica é similar à observada na toposseqüência de referência.

Comparando os perfis de referência com os perfis que recebem efluente, o acréscimo de matéria orgânica favorece a agregação do solo, característica que está inversamente relacionada com a susceptibilidade à erosão superficial e a perda de matéria particulada. A cobertura vegetal torna-se mais densa e não há feições de erosão superficial. Pesquisas que monitoraram áreas de tratamento de esgoto comparando com áreas de referência mostram que há menor erosão superficial nas áreas de tratamento devido à melhora das propriedades físicas do solo (HENSLER et al., 1970, WEBBER, 1978, KHALEEL et al., 1981) e que o conhecimento destas mudanças que ocorrem no sistema do solo após a aplicação de esgoto orgânico é essencial para controlar a quantidade e a qualidade das águas de escoamento superficial. Por outro lado, são conhecidas as



fragilidades frente aos processos erosivos dos solos arenosos. Na área desta pesquisa, a presença de um horizonte subsuperficial compacto limita a infiltração da água, cujo fluxo preferencial é lateral. Ainda neste horizonte, a presença de uma subestrutura que se rompe em planos paralelos, sugere tratar-se de uma compactação de origem mecânica devido a anos de utilização do solo para fins agrícolas. Muitos autores concordam que práticas agrícolas sejam responsáveis pela compactação subsuperficial do solo, gerada pelo empilhamento das partículas de areia que transforma a rede de porosidade e dificulta a reversão para a estrutura original (COULON E BRUAND, 1989, ROMERO DE CARVALHO et al., 1991, ADEKALU E OSUNBITAN, 2001).

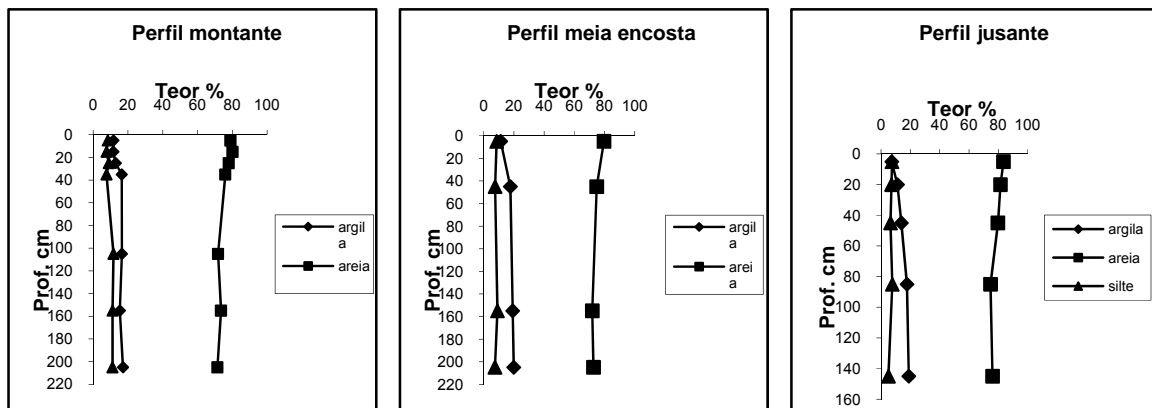


Figura 3: Variação das frações granulométricas nos perfis da montante, meia encosta e jusante da topossequência de referência.

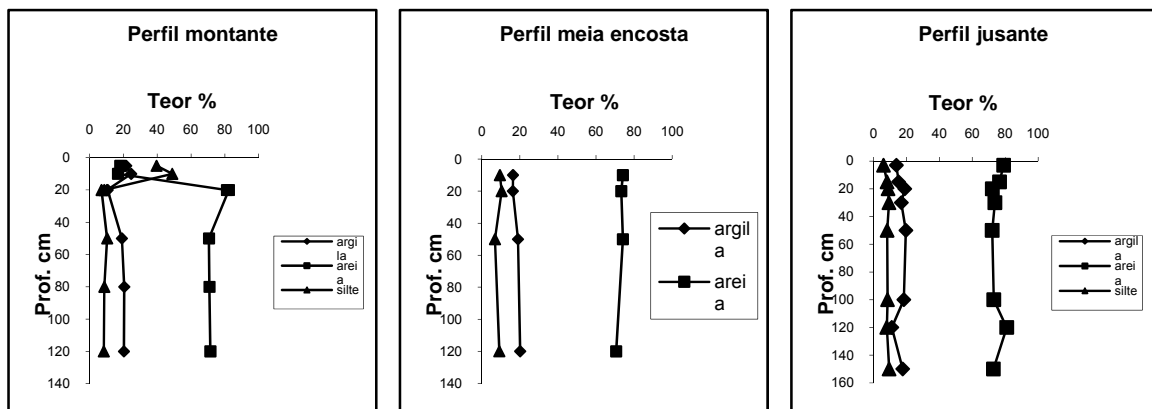


Figura 4: Variação das frações granulométricas nos perfis de montante, meia encosta e jusante da topossequência de tratamento de efluente.

## CONCLUSÕES

No ambiente, a disposição de esgoto doméstico pode ser considerada como uma prática perigosa devido à sua grande quantidade de patógenos, ou ser considerado um material benéfico devido à grande quantidade de matéria orgânica e sais. Uma experiência no campo experimental de Populina revela que quando este material é disposto na superfície do solo há uma mudança na

estrutura, na porosidade e diminuição da densidade do solo quando comparado com o solo laterítico arenoso original. Foram determinados também um expressivo aumento do teor de COT na superfície do solo com reflexos na assinatura isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) evidenciando a importância quantitativa desta matéria orgânica em relação a aquela gerada e permanecida no solo pela cobertura pretérita de floresta e da cobertura atual de gramínea. A formação de um horizonte orgânico, responsável pelas modificações de ordem morfológica, física e química, foi eficiente em atribuir maior estabilidade ao solo e proteger contra a erosão superficial, processo este nítido e generalizado na superfície dos solos desenvolvidos na vertente que não recebe o efluente. Baseando-se no exposto, o uso do solo visando à depuração de esgotos pode ser feito desde que acompanhado de pesquisas de monitoramento para identificar as transformações em curso e o não rompimento de sua capacidade de filtro natural.

## REFERÊNCIAS

- ADEKALU, K.O.; OSUNBITAN, J.A. Compactibility of some agricultural soils in South Western Nigeria. *Soil Till. Research*, 59, 1-2, p. 27-31, 2001.
- ADRIANO, D. C. ; WENZEL, W. W. ; VANGRONSVELD, J.; BOLAN, N.S. Role of assisted natural remediation in environmental cleanup. *Geoderma*, 122, p. 121-142, 2004.
- BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie: I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. *Cah. ORSTOM, sér. Pedol.*, XIX, 4, p. 309-321, 1982.
- COULON, E.; BRUAND, A. Effects of compaction on the space geometry in sandy soils. *Soil Till. Res.*, 15, p. 137-152, 1989.
- CHAUVEL, A.; SOUBIES, F.; MELFI, A.J. Ferrallitic soils from Brazil: Formation and evolution of structure. In: *Colloque International du CNRS: Pétrologie des altérations et des sols*, D. Nahon et Y. Noack (org.), *Sci. Géol.*, 72, p. 37-46, 1983.
- FRITSCH, E.; FITZPATRICK, R. W. Interpretation of soil features produced by ancient and modern processes in degraded landscapes: I. a new method for constructing conceptual soil-water-landscape models. *Aust. J. Soil. Res.*, 32, p. 889-907, 1994.
- HALL, D. H. Municipal wastewater treatment by the overland flow method of land application. *Environmental Protection Agency. EPA-600 \2 -79-178, USA*, p. 79-178, 1979.
- HENSLER, R.F.; OLSEN, R.J.; WITZEL, S.A.; ALTOE, A.J.; PAULSON, W.H.; JOHANNES, R.F. Effects of method of manure handling on crop yields, nutrient recovery and runoff losses, *ASAE*, 13, p. 726-731, 1970.
- et al., 1970
- KHALEEL, R.; REDDY, K.R.; OVERCASH, M.R. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: a review. *J. Environ. Qual.*, 10, p. 133-141, 1981.
- MELFI, A.J.; CERRI, C.C.; FRITSCH, E.; FORMOSO, M.L.L. Tropical soils: genesis, distribution and degradation of lateritic pedological systems. In: *Workshop tropical soil*, Academia Brasileira de Ciência, Rio de Janeiro, p. 7-30, 1999.
- PAGANINI, W. S. Efeitos da disposição de esgotos no solo. 2001. 212p. Tese (doutoramento) - Departamento de Saúde Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- PETERSCHIMITT, E.; FRITSCH, E.; RAJOT, J. L.; HERBILLON, A. J. Yellowing, bleaching and ferritisation processes in soil mantle of the Western Ghâts, South India. *Geoderma*, 74, p. 235-253, 1996.
- ROMERO DE CARVALHO, S.; BRUAND, A.; HARDY, M.; LEPRUN, J.C.; JAMAGNE, M. Tassement des sols ferrallitiques podzólico vermelho amarelo sous culture de canne à sucre (État de Rio de Janeiro, Brésil). *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, XXVI, 3, p. 195-212, 1991.

ROSOLEN, V.; LAMOTTE, M.; BOULET, R.; TRICHET, J.; ROUER, O.; MELFI, A.J. Genesis of a mottled horizon by Fe-depletion within a laterite cover in the Amazon Basin. C. R. Geoscience 334, p. 187-195, 2002.

RUELLAN, A.; DOSSO, M. Regards sur le sol. Paris, Édition Foucher, 192p., 1993.

SCOTT, T.; FULTON, P. Removal of pollutants in the overland flow (grass filtration) system. Progress in Water Technology, 11, p. 301-314, 1978.

WEBBER, L.R. Incorporation of nonsegregated, noncomposted solid waste and soil physical properties. J. Environ. Qual., 7, p. 397-400, 1978.