Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Mineralogia e geoquímica de bioestruturas produzidas pela atividade de minhocuçus no solo

Geraldo José Diogo Filho

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2023

Geraldo José Diogo Filho
Geógrafo

Mineralogia de geoquímica de bioestruturas produzidas pela atividade de minhocuçus no solo

Orientador:
Prof. Dr. **TIAGO OSÓRIO FERREIRA**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Diogo Filho, Geraldo José

Mineralogia e geoquímica de bioestruturas produzidas pela atividade de minhocuçus no solo / Geraldo José Diogo Filho. - Piracicaba, 2023.

109 p.

Tese (Doutorado) - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. *Glossoscolex paulistus* 2. Bioturbação 3. Drilosfera 4. Fósforo 5. Matéria orgânica do solo I. Título

RESUMO

Mineralogia e geoquímica de bioestruturas produzidas pela atividade de minhocuçus no solo

O solo é habitat de uma biodiversa comunidade de organismos. A biota é um importante fator de formação do solo nos mais variados ecossistemas. As minhocas estão entre os organismos mais abundantes e com a maior biomassa na pedosfera. Elas desempenham diversas funções no solo, alterando sua morfologia e composição durante o processo de bioturbação. Por terem comportamento alimentar geófago, algumas espécies podem atuar diretamente no processo de alteração dos minerais, influenciando também nas transformações da matéria orgânica. Apesar disso, especialmente no contexto dos solos tropicais e das espécies nativas da pedofauna os efeitos da bioturbação são temas ainda pouco explorados. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi investigar a influência da atividade da espécie do minhocuçu *Glossocolex paulistus* na geoquímica e mineralogia do solo. Foram considerados um ambiente natural onde esta espécie é endêmica no estado de São Paulo, assim como um experimento de laboratório, para coleta de coprólitos sob condições controladas. Observou-se que as minhocas modificam os atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo em seus coprólitos. Este efeito é causado tanto pelo processo de alteração dos materiais, quanto da concentração de determinados componentes em suas bioestruturas. Conclui-se que a espécie de minhoca *G. paulistus* é um importante agente transformador tanto da fração mineral quanto da orgânica do solo.

Palavras-chave: *Glossoscolex paulistus*, Intemperismo, Bioturbação, Fósforo, Matéria orgânica do solo

ABSTRACT

Mineralogy and geochemistry of earthworm's biogenic structures on soil

Soil is the habitat of a biodiverse community of organisms. Biota is an important soil formation factor in the most varied ecosystems. Earthworms are among the most abundant organisms with the highest biomass in the pedosphere. They perform several functions in the soil, changing its morphology and composition during the bioturbation process. Due to their feeding geophage behavior, some species can act directly in the mineral alteration process, also influencing the transformation of organic matter. Despite this, especially in the context of tropical soils and native species of pedofauna, the effects of bioturbation are still little explored. In this context, the objective of this research was to investigate the influence of the large earthworm species *Glossocolex paulistus* on soil geochemistry and mineralogy. A natural environment where this species is endemic in the state of São Paulo was considered as study area, as well as a laboratory experiment, for the collection of casts under controlled conditions. It was found that earthworms modify the physical, chemical, and mineralogical attributes of the soil in their casts. This effect is caused both by the process of altering the materials and by the concentration of certain components in their casts. It is concluded that the earthworm species *G. paulistus* is an important transforming agent for both mineral and organic soil fractions.

Keywords: *Glossoscolex paulistus*, Weathering, Bioturbation, Phosphorus, Soil organic matter

1. INTRODUÇÃO

Na segunda metade do século XIX, em datas muito próximas, três autores lançaram trabalhos bastante importantes. Após pesquisas em 1879 e 1884, Peter Erasmus Müller Henry Grandeau publica o resultado de suas pesquisas sobre as formas do húmus e sua relação com a vegetação e com o solo (1889), Charles Darwin escreve "A formação da terra vegetal a partir da ação das minhocas" em 1881, e dois anos depois Vassili Vassilievitch Dokuchaev apresenta sua tese de doutoramento sobre os solos da estepe ucraniana (Johnson & Schaetzl, 2015).

Essas publicações foram fundamentais no contexto do surgimento da pedologia enquanto ciência (Bockheim et al., 2005; Boulaine, 1997; Legros, 2011). Nelas seus autores apresentam uma visão particular do solo, na medida em que consideram a atividade biológica um fator relevante na pedogênese (Boukharaeva & Marloie, 2013; Boulaine, 1984; Feller et al., 2005; Pedro, 1984). Apesar desta origem, as pesquisas subsequentes adotaram, na maioria das vezes, visões abióticas do solo, de modo que "após Darwin, o fenômeno da bioturbação só passou a ser investigado de maneira sistemática no final do século XX" (Meysman et al., 2006).

No decorrer desse século, com o avanço da consciência em relação à degradação do solo em escala global, constatou-se a necessidade de utilização mais racional deste recurso natural (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Considerando a biota como um importante fator de qualidade do solo, houve um aumento das pesquisas sobre ecologia e zoologia edáficas (Lavelle, 2009; Yan et al., 2012).

Nesse cenário, diversas pesquisas têm focado nas populações da fauna do solo, comparando-se fatores como riqueza, abundância e diversidade sob diferentes condições naturais ou de uso agrícola (Baretta, 2007; Baretta et al., 2010, 2011; Barros et al., 2002; Bartz et al., 2013; Brown & Domínguez, 2010; Decaëns et al., 2004; Geissen & Guzman, 2006; Paoletti, 1999; Schmidt et al., 2013). Porém, a maioria desses estudos restringem-se aos impactos das práticas de manejo nessas populações, ou às questões de taxonomia e ecologia. Abordagens sobre as interações da biota com o solo, em uma perspectiva pedológica, como preconizaram Müller, Darwin e Dokuchaev, são menos frequentes (Bruyn & Conacher, 1990; Johnson, 2002b; Lee, 1992; Meysman et al., 2006; Wilkinson et al., 2009b).

O solo é o habitat de uma diversa e abundante comunidade de organismos. Excetuando-se as plantas e a microflora, essas formas de vida são agrupadas em três

categorias, em função do diâmetro corpóreo: a microfauna (<0,2 mm), a mesofauna (entre 0,2 e 2 mm) e a macrofauna (> 2mm) (Lavelle, 1997; Lavelle et al., 1995). Porém, os limites de tamanho podem variar entre diferentes autores (Anderson, 1988; Bachelier & Georges, 1978; Lavelle et al., 2015; Swift et al., 1979).

A fauna do solo, especificamente, abrange todos os organismos que não são produtores primários (Schaetzl & Anderson, 2005). Ela é responsável pela maior produtividade animal da biosfera e compõe uma biomassa total de 2,5 bilhões de toneladas. Estima-se que em 1 hectare pode haver mais de 10 toneladas destes invertebrados (Bachelier & Georges, 1978; Coleman & Hendrix, 2000). A fauna do solo é mais abundante na região equatorial, diminuindo suas densidades nas latitudes mais elevadas (Lavelle et al., 1997).

A bioturbação caracteriza-se pela reorganização (agregação, transporte e dispersão) de solo ou sedimento por qualquer ser vivo (Johnson, 1990, 2002a; Johnson et al., 1987, 2005). Na zona tropical, os fatores bióticos exercem grande efeito sobre a formação do solo, sendo as plantas, os cupins, as formigas e as minhocas os principais agentes (Miklós, 2012). Estes agentes da bioturbação também são considerados "engenheiros de ecossistema" (Jones et al., 1994), devido à capacidade que têm em transformar habitats e influenciar na disponibilidade de recursos para outras espécies.

A biota interage em maior ou menor grau com a morfologia e composição do solo, podendo exercer uma ação transformadora e modificar sua organização em diferentes escalas espaço-temporais (Hastings et al., 2007). Os ambientes do solo regulados por agentes biológicos específicos, são chamados de "domínios funcionais", sendo a liteira/rizosfera a zona de influência das plantas, a termitosfera dos cupins, a myrmecosfera das formigas e a drilosfera das minhocas (Lavelle, 1997, 2002).

Contudo, o impacto dos organismos no solo varia conforme as características e o comportamento ecológico, alimentar e construtor de cada grupo taxonômico. Alguns invertebrados somente utilizam o solo como abrigo, exercendo pequena influência sobre sua morfologia, como no caso dos miriápodes, que apenas deslocam partículas do solo indiretamente, enquanto se locomovem através da rede de poros existente (Bachelier & Georges, 1978; Lavelle & Spain, 2002). Por outro lado, a família das formigas, têm um impacto maior no solo, pois escavam câmaras e extensos canais, constroem ninhos e transportam grandes volumes de materiais orgânicos e minerais, além de manipularem novos agregados, ainda que pouco estáveis (Bruyn & Conachera, 1990; Jouquet, Hartmann, et al., 2008; Mora et al., 2005).

Na medida em que processam grandes quantidades de materiais, formigas, cupins e minhocas, tornam-se elementos essenciais para o solo, pois modificam sua estrutura, destruindo e criando constantemente novos agregados (Anderson, 1988; Gabet et al., 2003; Wilkinson et al., 2009b). Esta importância deve-se à construção de câmaras e ninhos que servem de abrigo, local de alimentação e reprodução, de galerias e canais de locomoção que aumentam sua porosidade, e à produção de dejeções que modificam a agregação do solo (Hole, 1981; Lal, 1988; Lavelle, 1997). O constante revolvimento de materiais ainda afeta a dinâmica da matéria orgânica e a ciclagem dos nutrientes, que permanecem preservados por mais tempo no interior de suas bioestruturas, como ninhos e excrementos (Bossuyt et al., 2005; Pulleman et al., 2005).

Os invertebrados com hábito alimentar geófago podem causar transformações mais expressivas no solo. Determinadas espécies de cupins, larvas de besouros e minhocas são consideradas "agentes do intemperismo" (Bottinelli et al., 2015), visto que influenciam nos processos de alteração de minerais primários, além de poderem atuar na gênese de argilominerais (Carpenter et al., 2007a, 2008b; Hodson et al., 2014; Needham et al., 2005b, 2006b).

Estudos prévios já demonstraram a capacidade de larvas de besouro (*Protaetia lugubris*) e de minhocas (*Eisenia fetida*) fragmentarem, mecanicamente, os minerais de quartzo e feldspato potássico enquanto eles passam por seus tratos digestórios (Suzuki et al., 2003). Por difratometria de raios-x, verificou-se o intemperismo de minerais primários e secundários (anortita, biotita, olivina, esmectita e caulinita), analisando-se dejeções da espécie epigeica de minhoca *Eisenia veneta* (Carpenter et al., 2007a). Além das alterações na mineralogia, também foi observada a neoformação de argilas biogênicas a partir da ingestão de sedimentos de ardósia (Needham et al., 2004, 2005a) e de basalto (Worden et al., 2006b) por poliquetas e oligoquetas.

Estes organismos catalisam o intemperismo químico devido a fatores como o pH, o ambiente redutor e a presença de enzimas de bactérias em seus intestinos. Ademais, constatou-se que a velocidade da dissolução de minerais primários é, no mínimo, 100 vezes mais rápida se comparada à alteração puramente inorgânica. Os autores afirmam que as reações químicas de alteração mineral, intermediadas pela atividade biológica, são subestimadas e que os ciclos geofágicos e coprofágicos de alimentação deveriam ser mais considerados pelas pesquisas (Worden et al., 2006b).

No contexto dos solos tropicais e das espécies nativas da pedofauna, os efeitos da bioturbação promovida pelos "agentes do intemperismo" são temas ainda pouco

explorados. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi investigar a influência da atividade da espécie de minhocuçu *Glossocolex paulistus* na geoquímica e mineralogia do solo, sob condições naturais e controladas no laboratório. A hipótese geral do trabalho é que com a ingestão e excreção do solo pelas minhocas, ocorrem processos que modificam as características físicas, químicas e mineralógicas dos excrementos. Após esta breve introdução, que consiste no capítulo 1, são discutidos os atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo e dos coprólitos da espécie *G. paulistus* no campo e em condições de laboratório (capítulo 2). No capítulo 3 aborda-se a influência da *G. paulistus* nos estoques de diferentes formas de fósforo no solo.

Referências

Anderson, J. M. (1988). Invertebrate-mediated transport processes in soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *24*(1–3), 5–19. https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90052-7

Bachelier, & Georges. (1978). *La faune des sols, son écologie et son action*. Orstom.

Baretta, D. (2007). *Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com Araucaria angustifolia no Estado de São Paulo*. Universidade de São Paulo.

Baretta, D., Brown, G. G., & Cardoso, E. J. B. N. (2010). Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com Araucária Angustifolia. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.) Número Especial*, *2*.

Baretta, D., Santos, J. C. P., Segat, J. C., Geremia, E. V., Oliveira Filho, L. C. I. de, & Alves, M. V. (2011). Fauna edáfica e qualidade do solo. *Tópicos Em Ciência Do Solo*, *7*, 119–170.

Barros, E., Pashanasi, B., Constantino, R., & Lavelle, P. (2002). Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biology and Fertility of Soils*, *35*(5), 338–347. https://doi.org/10.1007/s00374-002-0479-z

Bartz, M. L. C., Pasini, A., & Brown, G. G. (2013). Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. *Applied Soil Ecology*, *69*, 39–48. https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2013.01.011

Bossuyt, H., Six, J., & Hendrix, P. F. (2005). Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biology and Biochemistry*, *37*(2), 251–258. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.07.035

Bottinelli, N., Jouquet, P., Capowiez, Y., Podwojewski, P., Grimaldi, M., & Peng, X. (2015). Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? *Soil and Tillage Research*, *146*(PA), 118–124. https://doi.org/10.1016/j.still.2014.01.007

Brown, G. G., & Domínguez, J. (2010). Uso das minhocas como bioindicadoras

ambientais: princípios e práticas-o 3 Encontro Latino Americano de Ecologia e Taxonomia de Oligoquetas (ELAETAO3). *Acta Zoológica Mexicana*, *26*(SPE2), 1–18.

Bruyn, L. A. L. de, & Conachera, A. J. (1990). The Role of Termites and Ants in Soil Modification: A Review. *Aust. J. Soil Res*, *28*, 55–93.

Bruyn, L. A. L., & Conacher, A. J. (1990). The role of termites and ants in soil modification - a review. *Soil Research*, *28*(1), 55–93. https://doi.org/10.1071/SR9900055

Carpenter, D., Hodson, M. E., Eggleton, P., & Kirk, C. (2007). Earthworm induced mineral weathering: Preliminary results. *European Journal of Soil Biology*, *43*(SUPPL. 1). https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.08.053

Carpenter, D., Hodson, M. E., Eggleton, P., & Kirk, C. (2008). The role of earthworm communities in soil mineral weathering: a field experiment. *Mineralogical Magazine*, *72*(1), 33–36. https://doi.org/10.1180/minmag.2008.072.1.33

Coleman, D. C., & Hendrix, P. F. (2000). *Invertebrates as webmasters in ecosystems*. CABI.

Decaëns, T., Jiménez, J. J., Barros, E., Chauvel, A., Blanchart, E., Fragoso, C., & Lavelle, P. (2004). Soil macrofaunal communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *103*(2), 301–312. https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2003.12.005

Gabet, E. J., Reichman, O. J., & Seabloom, E. W. (2003). The effects of bioturbation on soil processes and sediment transport. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, *31*, 249–273. https://doi.org/10.1146/annurev.earth.31.100901.141314

Geissen, V., & Guzman, G. M. (2006). Fertility of tropical soils under different land use systems—a case study of soils in Tabasco, Mexico. *Applied Soil Ecology*, *31*(1–2), 169–178. https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2005.02.012

Hastings, A., Byers, J. E., Crooks, J. A., Cuddington, K., Jones, C. G., Lambrinos, J. G., Talley, T. S., & Wilson, W. G. (2007). Ecosystem engineering in space and time. *Ecology Letters*, *10*(2), 153–164. https://doi.org/10.1111/J.1461-0248.2006.00997.X

Hodson, M. E., Black, S., Brinza, L., Carpenter, D., Lambkin, D. C., Mosselmans, J. F. W., Palumbo-Roe, B., Schofield, P. F., Sizmur, T., & Versteegh, E. A. A. (2014). Biology as an Agent of Chemical and Mineralogical Change in Soil. *Procedia Earth and Planetary Science*, *10*, 114–117. https://doi.org/10.1016/j.proeps.2014.08.039

Hole, F. D. (1981). Effects of animals on soil. *Geoderma*, *25*(1–2), 75–112. https://doi.org/10.1016/0016-7061(81)90008-2

Johnson, D. L. (1990). Biomantle evolution and the redistribution of earth materials and artifacts. *Soil Science*, *149*(2), 84–102.

Johnson, D. L. (2002a). Darwin Would Be Proud: Bioturbation, Dynamic Denudation, and the Power of Theory in Science. In *An International Journal* (Vol. 17, Issue 1).

Johnson, D. L. (2002b). Darwin would be proud: Bioturbation, dynamic denudation, and the power of theory in science. *Geoarchaeology*, *17*(1), 7–40. https://doi.org/10.1002/GEA.10001

Johnson, D. L., Domier, J. E. J., & Johnson, D. N. (2005). Reflections on the nature of soil and its biomantle. *Annals of the Association of American Geographers*, *95*(1), 11–31.

Johnson, D. L., Watson-Stegner, D., Johnson, D. N., & Schaetzl, R. J. (1987). Proisotropic and proanisotropic processes of pedoturbation. *Soil Science*, *143*(4), 278–292.

Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1994). Organisms as Ecosystem Engineers. *Ecosystem Management*, 130–147. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4018-1_14

Jouquet, P., Hartmann, C., Choosai, C., Hanboonsong, Y., Brunet, D., & Montoroi, J. P. (2008). Different effects of earthworms and ants on soil properties of paddy fields in North-East Thailand. *Paddy and Water Environment*, *6*(4), 381–386. https://doi.org/10.1007/s10333-008-0134-x

Lal, R. (1988). Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *24*(1–3), 101–116.https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90059-X

Lavelle, P. (1997). Faunal Activities and Soil Processes: Adaptive Strategies That Determine Ecosystem Function. *Advances in Ecological Research*, *27*(C), 93–132. https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60007-0

Lavelle, P. (2002). Functional domains in soils. *Ecological Research*, *17*, 441–450. https://doi.org/10.1046/j.0912-3814.2002.00509.x

Lavelle, P. (2009). Ecology and the challenge of a multifunctional use of soil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *44*(8), 803–810. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000800003

Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O. W., & Dhillion, S. (1997). Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology (France)*.

Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Spain, A. V., & Martin, S. (2015). Impact of Soil Fauna on the Properties of Soils in the Humid Tropics. *Myths and Science of Soils of the Tropics*, 157–185. https://doi.org/10.2136/SSSASPECPUB29.C9

Lavelle, P., Chauvel, A., & Fragoso, C. (1995). Faunal activity in acid soils. In *Plant-soil interactions at low PH: principles and management* (pp. 201–211). Springer.

Lavelle, P., & Spain, A. (2002). *Soil ecology*. Springer Science \& Business Media.

Lee, K. E. (1992). Some trends and opportunities in earthworm research or: Darwin's children—the future of our discipline. *Soil Biology and Biochemistry*, *24*(12), 1765–1771. https://doi.org/10.1016/0038-0717(92)90185-Z

Meysman, F. J. R., Middelburg, J. J., & Heip, C. H. R. (2006). Bioturbation: a fresh look at Darwin's last idea. *Trends in Ecology & Evolution*, *21*(12), 688–695. https://doi.org/10.1016/J.TREE.2006.08.002

Miklós, A. A. de W. (2012). Biogênese do solo. In *Departamento de Geografia-USP*.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being* (Vol. 5). Island press Washington, DC.

Mora, P., Miambi, E., Jiménez, J. J., Decaëns, T., & Rouland, C. (2005). Functional complement of biogenic structures produced by earthworms, termites and ants in the neotropical savannas. *Soil Biology and Biochemistry*, *37*(6), 1043–1048. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.10.019

Needham, S. J., Worden, R. H., & Cuadros, J. (2006). Sediment ingestion by worms and the production of bio-clays: a study of macrobiologically enhanced weathering and early diagenetic processes. *Sedimentology*, *53*(3), 567–579. https://doi.org/10.1111/J.1365-3091.2006.00781.X

Needham, S. J., Worden, R. H., & Mcilroy, D. (2004). Animal-sediment interactions: the effect of ingestion and excretion by worms on mineralogy. In *Biogeosciences* (Vol. 1). www.biogeosciences.net/bg/1/113/

Needham, S. J., Worden, R. H., & McIlroy, D. (2005a). Experimental production of clay rims by macrobiotic sediment ingestion and excretion processes. *Journal of Sedimentary Research*, *75*(6), 1028–1037. https://doi.org/10.2110/jsr.2005.078

Needham, S. J., Worden, R. H., & McIlroy, D. (2005b). Experimental Production of Clay Rims by Macrobiotic Sediment Ingestion and Excretion Processes. *Journal of Sedimentary Research*, *75*(6), 1028–1037. https://doi.org/10.2110/JSR.2005.078

Paoletti, M. G. (1999). The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *74*(1–3), 137–155. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00034-1

Pulleman, M. M., Six, J., Uyl, A., Marinissen, J. C. Y., & Jongmans, A. G. (2005). Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. *Applied Soil Ecology*, *29*(1), 1–15. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.10.003

Schaetzl, R., & Anderson, S. (2005). *Soils: Genesis and geomorphology*. Cambridge University Press.

Schmidt, F. A., Ribas, C. R., & Schoereder, J. H. (2013). How predictable is the response of ant assemblages to natural forest recovery? Implications for their use as bioindicators. *Ecological Indicators*, *24*, 158–166. https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2012.05.031

Suzuki, Y., Matsubara, T., & Hoshino, M. (2003). Breakdown of mineral grains by earthworms and beetle larvae. *Geoderma*, *112*(1–2), 131–142. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00300-2

Swift, M. J., Heal, O. W., & Anderson, J. M. (1979). *Decomposition in Terrestrial Ecosystems Blackwell Scientific Publications*. University of California Press.

Wilkinson, M. T., Richards, P. J., & Humphreys, G. S. (2009). Breaking ground: Pedological, geological, and ecological implications of soil bioturbation. *Earth-Science Reviews*, *97*(1–4), 257–272. https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2009.09.005

Worden, R. H., Needham, S. J., & Cuadros, J. (2006). The worm gut; a natural clay mineral factory and a possible cause of diagenetic grain coats in sandstones. *Journal of Geochemical Exploration*, *89*(1–3), 428–431. https://doi.org/10.1016/J.GEXPLO.2005.12.011

Yan, S., Singh, A. N., Fu, S., Liao, C., Wang, S., Li, Y., Cui, Y., & Hu, L. (2012). A soil fauna index for assessing soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, *47*, 158–165. https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2011.11.014

2. ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DO SOLO E DOS COPRÓLITOS DE MINHOCUÇUS, SOB CONDIÇÕES NATURAIS E DE LABORATÓRIO

Resumo

Este trabalho teve como objetivo estudar os efeitos da atividade de uma espécie de minhocuçu (*Glossoscolex paulistus*) no solo sob condições naturais e de laboratório. A área de estudo se localiza no município de Rio Claro, porção centro-leste do Estado de São Paulo, Brasil, onde esta espécie é endêmica e amplamente distribuída. Foi realizada a descrição morfológica de um perfil de solo representativo da área de estudo. Para entender a magnitude do processo de bioturbação no solo, foi feito um levantamento da quantidade de material depositado na superfície na forma de excrementos. Foram conduzidas análises de mineralogia, física, química de rotina e total no solo e nos coprólitos. No campo, observou-se que as minhocas tem zonas preferenciais de bioturbação nos primeiros 30 cm do perfil de solo, contudo em períodos de restrição hídrica elas exploram zonas mais úmidas (>1 metro). Ao ingerir e excretar solo, as minhocas modificam seus atributos físicos e químicos, pois os coprólitos apresentam maiores teores de materiais finos (silte e argila) e nutrientes (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, P, C e N). Os resultados obtidos em campo puderam ser parcialmente extrapolados para o laboratório, onde as restrições nas variáveis ambientais diminuem a intensidade dos efeitos da bioturbação no solo.

Palavras-chave: bioturbação, drilosfera, engenheiros do ecossistema, agentes do intemperismo, *Glossoscolex paulistus*.

2. PHYSICAL, CHEMICAL, AND MINERALOGICAL ATTRIBUTES OF SOIL AND CASTS OF THE BRAZILIAN ENDEMIC LARGE EARTHWORMS UNDER NATURAL AND LABORATORY CONDITIONS

Abstract

This study aimed to investigate the effects of the Brazilian large earthworm (*Glossoscolex paulistus*) on soil under natural and laboratory conditions. The study area is located in Rio Claro, São Paulo state, southeastern Brazil, where this species is endemic and widely distributed. A morphological description of a representative soil profile from the study area was performed. To understand the magnitude of the soil bioturbation process, a survey of the amount of superficial casts was conducted. Mineralogical, physical, and chemical (total and exchangeable) analyses were carried out on both soil and casts. In the field, it was observed that the earthworms have preferential bioturbation zones in the top 30 cm of the soil profile. However, during periods of water restriction, they explore deeper and moister zones (>1 meter). By ingesting and excreting soil, earthworms modify its physical and chemical attributes, as casts exhibit higher contents of fine materials (silt and clay) and nutrients (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, P, C, and N). The field results could be partially extrapolated to the laboratory, where low soil fertility conditions and restrictions in the environmental microcosm decrease the intensity of soil bioturbation effects.

Keywords: bioturbation, drilosphere, ecosystem engineers, weathering agents, *Glossoscolex paulistus*.

Referências

Abail, Z., Sampedro, L., & Whalen, J. K. (2017). Short-term carbon mineralization from endogeic earthworm casts as in fl uenced by properties of the ingested soil material. *Applied Soil Ecology*, *116*(September 2016), 79–86. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.02.022

Alexandre, A., Meunier, J. D., Colin, F., & Koud, J. M. (1997). Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *61*(3), 677–682. https://doi.org/10.1016/S0016-7037(97)00001-X

Amador, J. A., & Görres, J. H. (2007). Microbiological characterization of the structures built by earthworms and ants in an agricultural field. *Soil Biology and Biochemistry*, *39*(8), 2070–2077.

Amossé, J., Turberg, P., Kohler-Milleret, R., Gobat, J. M., & Le Bayon, R. C. (2015). Effects of endogeic earthworms on the soil organic matter dynamics and the soil structure in urban and alluvial soil materials. *Geoderma*, *243–244*, 50–57. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.12.007

Anderson, J. M. (1988). Invertebrate-mediated transport processes in soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *24*(1–3), 5–19. https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90052-7

Anderson, J. M., & Ingram, J. S. I. (1993). *Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. eds.*

Andriuzzi, W. S., Bolger, T., & Schmidt, O. (2013). The drilosphere concept : Fine-scale incorporation of surface residue- derived N and C around natural Lumbricus terrestris burrows. *Soil Biology and Biochemistry*, *64*, 136–138. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.04.016

Bachelier, & Georges. (1978). *La faune des sols, son écologie et son action*. Orstom.

Baretta, D. (2007). *Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com Araucaria angustifolia no Estado de São Paulo*. Universidade de São Paulo.

Baretta, D., Brown, G. G., & Cardoso, E. J. B. N. (2010). Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com Araucária Angustifolia. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.) Número Especial*, *2*.

Baretta, D., Santos, J. C. P., Segat, J. C., Geremia, E. V., Oliveira Filho, L. C. I. de, & Alves, M. V. (2011). Fauna edáfica e qualidade do solo. *Tópicos Em Ciência Do Solo*, *7*, 119–170.

Barois, I., Lavelle, P., Brossard, M., Tondoh, J., De Los, M., Martinez, A., Rossf, J. P., Senapati, B. K., Angeles, A., Fragoso\, C., Jimenez, J. J., Decaëns, T., Lattaud, C., Kanyony06, J., Blancharf, E., Chapuis, L., Brown, G., & Moreno, A. (1999). Ecology of Earthworm Species with Large Environmental Tolerance and/or Extended Distributions. In P. Lavelle, L. Brussaard, & P. Hendrix (Eds.), *Earthworm management in tropical agroecosystems*.

Barois, I., Lavelle, P., Brossard, M., Tondoh, J., Martinez, M. de los A., Rossi, J. P., Senapati, B. K., Angeles, A., Fragoso, C., Jimenez, J. J., Decaëns, T., Lattaud, C., Kanyonyo, J., Blanchart, E., Chapuis, L., Brown, G., & Moreno, A. (1999). Ecology of earthworm species with large environmental tolerance and/or extended distributions. *Earthworm Management in Tropical Agroecosystems*, *ii*, 57–85. http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010021556

Barros, E., Pashanasi, B., Constantino, R., & Lavelle, P. (2002). Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biology and Fertility of Soils*, *35*(5), 338–347. https://doi.org/10.1007/s00374-002-0479-z

Bartz, M. L. C., Pasini, A., & Brown, G. G. (2013). Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. *Applied Soil Ecology*, *69*, 39–48. https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2013.01.011

Basker, A., Macgregor, A. N., & Kirkman, J. H. (1993). Exchangeable potassium and other cations in non-ingested soil and casts of two species of pasture earthworms. *Soil Biology and Biochemistry*, *25*(12), 1673–1677. https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90169-C

Binet, F., & Le Bayon, R. C. (1998). Space-time dynamics in situ of earthworm casts under temperate cultivated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, *31*(1), 85–93.

https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00109-6

Bockheim, J. G., Gennadiyev, A. N., Hammer, R. D., & Tandarich, J. P. (2005). Historical development of key concepts in pedology. *Geoderma*, *124*(1–2), 23–36. https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2004.03.004

Bossuyt, H., Six, J., & Hendrix, P. F. (2005). Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biology and Biochemistry*, *37*(2), 251–258. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.07.035

Bottinelli, N., Hedde, M., Jouquet, P., & Capowiez, Y. (2020). An explicit definition of earthworm ecological categories – Marcel Bouché's triangle revisited. *Geoderma*, *372*. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114361

Bottinelli, N., Jouquet, P., Capowiez, Y., Podwojewski, P., Grimaldi, M., & Peng, X. (2015). Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? *Soil and Tillage Research*, *146*(PA), 118–124. https://doi.org/10.1016/j.still.2014.01.007

Bottinelli, N., Kaupenjohann, M., Märten, M., Jouquet, P., Soucémarianadin, L., Baudin, F., Tran, T. M., & Rumpel, C. (2020). Age matters: Fate of soil organic matter during ageing of earthworm casts produced by the anecic earthworm Amynthas khami. *Soil Biology and Biochemistry*, *148*, 107906. https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2020.107906

Bouché, M. (1977). Strategies lombriciennes. *Ecological Bulletins*, 122–132.

Bouché, M. (1984). Les vers de terre. *La Récherche*, *15*(56), 796–804.

Boukharaeva, L., & Marloie, M. (2013). Vassili V. Dokoutchaiev et l'écologie urbaine. *Étude et Gestion Des Sols*, *20*, 117–126.

Boulaine, J. (1984). L'héritage de Vassili Vassilievitch Dokouchaev et de sa conception de la pédologie. *Bulletin de l'Association Française Pour l'étude Du Sol. Science Du Sol*, *2*, 93–104.

Boulaine, J. (1997). Histoire abrégée de la Science des Sols. *Etude et Gestion Des Sols*, *4*, 141–151.

Brandenburg, K., & Putz, H. (2003). *Crystal Impact*. http://qt.io

Brindley, G. ., & Brown, G. (1980). Crystal Structures of Clay Minerals and their X-Ray Identification. In *Crystal Structures of Clay Minerals and their X-Ray Identification*. Mineralogical Society of Great Britain and Ireland. https://doi.org/10.1180/MONO-5

Brinza, L., Schofield, P. F., Mosselmans, J. F. W., Donner, E., Lombi, E., Paterson, D., & Hodson, M. E. (2014). Can earthworm-secreted calcium carbonate immobilise Zn in contaminated soils? *Soil Biology and Biochemistry*, *74*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.01.012

Brown, G. G., Barois, I., & Lavelle, P. (2000). Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activityin the drilosphere and the role of interactionswith other edaphic functional domains. *European Journal of Soil Biology*, *36*(3–4), 177–198. https://doi.org/10.1016/S1164-5563(00)01062-1

Brown, G. G., & Domínguez, J. (2010). Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas-o 3 Encontro Latino Americano de Ecologia e Taxonomia de Oligoquetas (ELAETAO3). *Acta Zoológica Mexicana*, *26*(SPE2), 1–18.

Brown, G. G., & Fragoso, C. (2007). *Minhocas na América Latina: biodiversidade e ecologia.* Embrapa . http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/469788

Brown, G. G., & James, S. W. (2006). Earthworm biodiversity in São Paulo state, Brazil. *European Journal of Soil Biology*, *42*(SUPPL. 1), S145–S149. https://doi.org/10.1016/J.EJSOBI.2006.06.006

Brown, G. G., & James, S. W. (2007). Ecologia, biodiversidade e biogeografia das minhocas no Brasil. *Minhocas Na América Latina: Biodiversidade e Ecologia. Londrina: Embrapa Soja*, 297–381.

Bruyn, L. A. L. de, & Conachera, A. J. (1990). The Role of Termites and Ants in Soil Modification: A Review. *Aust. J. Soil Res*, *28*, 55–93.

Bruyn, L. A. L., & Conacher, A. J. (1990). The role of termites and ants in soil modification - a review. *Soil Research*, *28*(1), 55–93. https://doi.org/10.1071/SR9900055

Buck, C., Langmaack, M., & Schrader, S. (2000). Influence of mulch and soil compaction on earthworm cast properties. *Applied Soil Ecology*, *14*(3), 223–229. https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00054-8

Buck, N. (1983). Anatomia do aparelho excretor de Glossoscolex paulistus Michaelsen, 1926 (Oligochaeta, Glossoscolecidae). *Boletim de Zoologia*, *6*(6), 15–46. https://doi.org/10.11606/ISSN.2526-3358.BOLZOO.1983.121946

Callot, G., Chauvel, A., Arvieu, J.-C., Chamayou, H., Guyon, A., & Roger, L. (1992). Mise en évidence de kaolinite et de silice dans les structures cellulaires de l'épiderme et du cortex de racines de palmier, en forêt d'Amazonie. *Bulletin de La Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, *139*(1), 7–14.

Cardoso, G. B. X. (2016). *Atributos físicos e químicos de coprólitos de três espécies minhocas endogéicas*. Universidade Federal do Paraná.

Carpenter, D., Hodson, M. E., Eggleton, P., & Kirk, C. (2007a). Earthworm induced mineral weathering: Preliminary results. *European Journal of Soil Biology*, *43*(SUPPL. 1). https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.08.053

Carpenter, D., Hodson, M. E., Eggleton, P., & Kirk, C. (2007b). Earthworm induced mineral weathering: Preliminary results. *European Journal of Soil Biology*, *43*(SUPPL. 1), S176–S183. https://doi.org/10.1016/J.EJSOBI.2007.08.053

Carpenter, D., Hodson, M. E., Eggleton, P., & Kirk, C. (2008a). The role of earthworm communities in soil mineral weathering: a field experiment. *Mineralogical Magazine*, *72*(1), 33–36. https://doi.org/10.1180/minmag.2008.072.1.33

Carpenter, D., Hodson, M. E., Eggleton, P., & Kirk, C. (2008b). The role of earthworm communities in soil mineral weathering: a field experiment. *Mineralogical Magazine*, *72*(1), 33–36. https://doi.org/10.1180/minmag.2008.072.1.33

Chen, P. Y. (1977). Table of key lines in X-ray powder diffraction patterns of minerals in clays and associated rocks. *TABLE OF KEY LINES IN X-RAY POWDER DIFFRACTION PATTERNS OF MINERALS IN CLAYS AND ASSOCIATED ROCKS.*

Christoffersen, M. L. (2008). Species catalogue and phylogenetic relations of criodriloids and basal glossoscolecoids (Annelida Clitellata Lumbricina) from South America. *Tropical Zoology*, *21*(2).

Clause, J., Barot, S., Richard, B., Decaëns, T., & Forey, E. (2014). The interactions between soil type and earthworm species determine the properties of earthworm casts. *Applied Soil Ecology*, *83*, 149–158. https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2013.12.006

Coleman, D. C., & Hendrix, P. F. (2000). *Invertebrates as webmasters in ecosystems*. CABI.

Conceição, F. T. da, & Bonotto, D. M. (2000). Anthropogenic influences on the uranium concentration in waters of the Corumbatai river basin (SP), Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, *30*(3), 555–557. https://doi.org/10.25249/0375-7536.2000303555557

Conceição, F. T. da, & Bonotto, D. M. (2004). Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. *Applied Geochemistry*, *19*(4), 575–591. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2003.07.002

Couto Junior, A. A., Conceição, F. T., Fernandes, A. M., Cunha, C., & Spatti Junior, E. P. (2016). Geoquímica fluvial aplicada à avaliação das taxas de intemperismo químico e remoção de solo da Foramação Rio Claro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, *17*(3). https://doi.org/10.20502/rbg.v17i3.1006

Curry, J. P., & Schmidt, O. (2007). The feeding ecology of earthworms - A review. In *Pedobiologia* (Vol. 50, Issue 6, pp. 463–477). Elsevier GmbH. https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2006.09.001

Dadalto, G. G., Costa, L. M. da, Dadalto GG, & Costa LM. (1990). Relação entre características químicas de solo e excreções de minhocuçu (Clossoscolex spp.). *Ceres*, *37*, 331–336. http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/1985

Daniel, O., Kohli, L., Schuler, B., & Zeyer, J. (1996). Surface cast production by the earthworm Aporrectodea nocturna in a pre- alpine meadow in Switzerland. *Biology and Fertility of Soils*, *22*(1–2), 171–178. https://doi.org/10.1007/BF00384451

Darwin, C. (1881). *The formation of vegetable mould, through the action of worms: with*

observations on their habits. J. Murray.

Darwin, C. (1892). *The formation of vegetable mould, through the action of worms: with observations on their habits*. J. Murray.

Decaëns, T., Jiménez, J. J., Barros, E., Chauvel, A., Blanchart, E., Fragoso, C., & Lavelle, P. (2004). Soil macrofaunal communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *103*(2), 301–312. https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2003.12.005

Devliegher, W., & Verstraete, W. (1997). Microorganisms and soil physico-chemical conditions in the drilosphere of Lumbricus terrestris. *SOIL BIOLOGY & BIOCHEMISTRY*, *29*(11-12) 1721-1729). http://hdl.handle.net/1854/LU-176025

Drake, H. L., & Horn, M. A. (2007a). As the Worm Turns: The Earthworm Gut as a Transient Habitat for Soil Microbial Biomes. *Annual Review of Microbiology*. https://doi.org/10.1146/annurev.micro.61.080706.093139

Drake, H. L., & Horn, M. A. (2007b). *As the Worm Turns: The Earthworm Gut as a Transient Habitat for Soil Microbial Biomes*. https://doi.org/10.1146/annurev.micro.61.080706.093139

Edwards, C. A., & Arancon, N. Q. (2022). The Role of Earthworms in Organic Matter and Nutrient Cycles. In *Biology and Ecology of Earthworms* (pp. 233–274). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-74943-3_8

Edwards, C. A., & Bohlen, P. J. (1996). *Biology and ecology of earthworms* (Vol. 3). Springer Science \& Business Media.

Edwards, C. A., & Lofty, J. R. (1972). Biology of earthworms.—283 pp. *Chapman& Hall, London*.

Egert, M., Marhan, S., Wagner, B., Scheu, S., & Friedrich, M. W. (2004). Molecular profiling of 16S rRNA genes reveals diet-related differences of microbial communities in soil, gut, and casts of Lumbricus terrestris L. (Oligochaeta: Lumbricidae). *FEMS Microbiology Ecology*, *48*(2), 187–197. https://doi.org/10.1016/J.FEMSEC.2004.01.007

Embrapa. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro.

Feller, C., Blanchart, E., Jabiol, B., & Greve, M. H. (2005). Quand l'humus est à l'origine de la pédologie : 1. Les travaux du forestier danois P.E. Müller (1840-1926). *Étude et Gestion Des Sols*, *12*, 122.

Ferreira, S. R. (2005). *Análise pedoestratigráfica das formações Rio Claro e Piraçununga, no Centro-Leste do Estado de São Paulo* [(Tese de doutoramento em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista)]. https://doi.org/10.17616/R31NJN39

Ferreira, S. R., & Chang, M. R. C. (2008). Datação das formações Rio Claro e Piraçununga por termoluminescência. *Rem: Revista Escola de Minas*, *61*(2), 129–134. https://doi.org/10.1590/S0370-44672008000200004

Fragoso, C., & Lavelle, P. (1992). Earthworm communities of tropical rain forests. *Soil Biology and Biochemistry*, *24*(12), 1397–1408. https://doi.org/10.1016/0038-0717(92)90124-G

Frouz, J. (2018). Effects of soil macro- and mesofauna on litter decomposition and soil organic matter stabilization. *Geoderma*, *332*, 161–172. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.039

Fründ, H. C., Butt, K., Capowiez, Y., Eisenhauer, N., Emmerling, C., Ernst, G., Potthoff, M., Schädler, M., & Schrader, S. (2010). Using earthworms as model organisms in the laboratory: Recommendations for experimental implementations. *Pedobiologia*, *53*(2), 119–125. https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2009.07.002

Furian, S., Barbiero, L., Boulet, R., Curmi, P., Grimaldi, M., & Grimaldi, C. (2002). Distribution and dynamics of gibbsite and kaolinite in an oxisol of Serra do Mar, southeastern Brazil. In *Geoderma* (Vol. 106). www.elsevier.comrlocatergeoderma

Gabet, E. J., Reichman, O. J., & Seabloom, E. W. (2003). The effects of bioturbation on soil processes and sediment transport. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, *31*, 249–273. https://doi.org/10.1146/annurev.earth.31.100901.141314

Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle Size Analysis. In A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part A.* (2 ed., Vol. 9, pp. 383–411). http://www.sciepub.com/reference/135479

Geissen, V., & Guzman, G. M. (2006). Fertility of tropical soils under different land use systems—a case study of soils in Tabasco, Mexico. *Applied Soil Ecology*, *31*(1–2), 169–178. https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2005.02.012

Gražulis, S., Chateigner, D., Downs, R. T., Yokochi, A. F. T., Quirós, M., Lutterotti, L., Manakova, E., Butkus, J., Moeck, P., & Le Bail, A. (2009). Crystallography Open Database - An open-access collection of crystal structures. *Journal of Applied Crystallography*, *42*(4), 726–729. https://doi.org/10.1107/S0021889809016690/HTTPS://JOURNALS.IUCR.ORG/SERVICES/RSS.HTML

Hastings, A., Byers, J. E., Crooks, J. A., Cuddington, K., Jones, C. G., Lambrinos, J. G., Talley, T. S., & Wilson, W. G. (2007). Ecosystem engineering in space and time. *Ecology Letters*, *10*(2), 153–164. https://doi.org/10.1111/J.1461-0248.2006.00997.X

Hauser, S., Norgrove, L., Asawalam, D., & Schulz, S. (2012). Effect of land use change, cropping systems and soil type on earthworm cast production in West and Central Africa. *European Journal of Soil Biology*, *49*, 47–54. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2012.01.006

Hodson, M. E., Black, S., Brinza, L., Carpenter, D., Lambkin, D. C., Mosselmans, J. F. W., Palumbo-Roe, B., Schofield, P. F., Sizmur, T., & Versteegh, E. A. A. (2014). Biology as an Agent of Chemical and Mineralogical Change in Soil. *Procedia Earth and Planetary Science*, *10*, 114–117. https://doi.org/10.1016/j.proeps.2014.08.039

Hole, F. D. (1981). Effects of animals on soil. *Geoderma*, *25*(1–2), 75–112. https://doi.org/10.1016/0016-7061(81)90008-2

Holt, J. A., & Lepage, M. (2000). Termites and Soil Properties. *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*, 389–407. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3223-9_18

Horn, M. A., Schramm, A., & Drake, H. L. (2003). The Earthworm Gut: an Ideal Habitat for Ingested N2O-Producing Microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*, *69*(3), 1662. https://doi.org/10.1128/AEM.69.3.1662-1669.2003

Hulugalle, N. R., & Ezumah, H. C. (1991). Effects of cassava-based cropping systems on physico-chemical properties of soil and earthworm casts in a tropical Alfisol. *Agriculture,*

Ecosystems & Environment, *35*(1), 55–63. https://doi.org/10.1016/0167-8809(91)90076-A

IBGE. (1969). *Piracicaba: folha topográfica SF-23-Y-A-IV-2. 1 mapa. Escala: 1:50000.*

IBGE. (1993). *Campinas: folha topográfica SF-23-Y-A. 1 mapa. Escala: 1:250.000.*

Ihssen, J., Horn, M. A., Matthies, C., Gößner, A., Schramm, A., & Drake, H. L. (2003). N2O-producing microorganisms in the gut of the earthworm Aporrectodea caliginosa are indicative of ingested soil bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, *69*(3), 1655–1661. https://doi.org/10.1128/AEM.69.3.1655-1661.2003

ISO. (2005). *ISO 10390: 2005 - Soil quality — Determination of pH*. https://www.iso.org/standard/40879.html

IUSS Working Group WRB. (2015). *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps.* https://www.iuss.org/archived-content/archived-int-year-of-soils-2015/archived-working-groups-for-iys/working-group-world-reference-base-for-soil-resources-wrb/

Jahn, R., Blume, H. P., Asio, V. B., Spaargaren, O., & Schad, P. (2006). *Guidelines for soil description, 4th edition*. FAO. https://edepot.wur.nl/27622

Jégou, D., Schrader, S., Diestel, H., & Cluzeau, D. (2001). Morphological, physical and biochemical characteristics of burrow walls formed by earthworms. *Applied Soil Ecology*, *17*(2), 165–174. https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00136-0

Johnson, D. L. (1990). Biomantle evolution and the redistribution of earth materials and artifacts. *Soil Science*, *149*(2), 84–102.

Johnson, D. L. (2002a). Darwin Would Be Proud: Bioturbation, Dynamic Denudation, and the Power of Theory in Science. In *An International Journal* (Vol. 17, Issue 1).

Johnson, D. L. (2002b). Darwin would be proud: Bioturbation, dynamic denudation, and the power of theory in science. *Geoarchaeology*, *17*(1), 7–40. https://doi.org/10.1002/GEA.10001

Johnson, D. L., Domier, J. E. J., & Johnson, D. N. (2005). Reflections on the nature of soil and its biomantle. *Annals of the Association of American Geographers*, *95*(1), 11–31.

Johnson, D. L., & Schaetzl, R. J. (2015). Differing views of soil and pedogenesis by two masters: Darwin and Dokuchaev. *Geoderma*, *237*, 176–189. https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2014.08.020

Johnson, D. L., Watson-Stegner, D., Johnson, D. N., & Schaetzl, R. J. (1987). Proisotropic and proanisotropic processes of pedoturbation. *Soil Science*, *143*(4), 278–292.

Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1994). Organisms as Ecosystem Engineers. *Ecosystem Management*, 130–147. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4018-1_14

Jouquet, P., Bottinelli, N., Podwojewski, P., Hallaire, V., & Tran Duc, T. (2008). Chemical and physical properties of earthworm casts as compared to bulk soil under a range of different land-use systems in Vietnam. *Geoderma*, *146*(1–2), 231–238. https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2008.05.030

Jouquet, P., Hartmann, C., Choosai, C., Hanboonsong, Y., Brunet, D., & Montoroi, J. P. (2008). Different effects of earthworms and ants on soil properties of paddy fields in North-East Thailand. *Paddy and Water Environment*, *6*(4), 381–386. https://doi.org/10.1007/s10333-008-0134-x

Jouquet, P., Ngo, P., Nguyen, H., & Henry-des-tureaux, T. (2011). Laboratory investigation of organic matter mineralization and nutrient leaching from earthworm casts produced by Amynthas khami. *Applied Soil Ecology*, *47*(1), 24–30. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.11.004

Jungerius, P. D., Van Den Ancker, J. A. M., & Mücher, H. J. (1999). The contribution of termites to the microgranular structure of soils on the Uasin Gishu Plateau, Kenya. *CATENA*, *34*(3–4), 349–363. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(98)00106-4

Kretzschmar, A. (1982). Description des galeries de vers de terre et variation saisonnière des réseaux (observations en conditions naturelles). *Revue d'écologie et de Biologie Du Sol*, *19*(4), 579–591.

Krishnamoorthy, R. V. (1990). *Mineralization of phosphorus by faecal phosphatases of some earthworms of Indian tropics*. *99*(6), 509–518.

Lal, R. (1988). Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *24*(1–3), 101–116. https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90059-X

Lal, R., & Akinremi, O. O. (1983). Physical properties of earthworm casts and surface soil as influenced by management. *Soil Science*, *135*(2), 114–122. https://doi.org/10.1097/00010694-198302000-00006

Lavelle, P. (1978). *Les Vers de Terre de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire): peuplements, populations et fonctions dans l'écosystème* (Vol. 6). École normale supérieure, Laboratoire de zoologie.

Lavelle, P. (1997). Faunal Activities and Soil Processes: Adaptive Strategies That Determine Ecosystem Function. *Advances in Ecological Research*, *27*(C), 93–132. https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60007-0

Lavelle, P. (2002). Functional domains in soils. *Ecological Research*, *17*, 441–450. https://doi.org/10.1046/j.0912-3814.2002.00509.x

Lavelle, P. (2009). Ecology and the challenge of a multifunctional use of soil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *44*(8), 803–810. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000800003

Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O. W., & Dhillion, S. (1997). Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology (France)*.

Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Spain, A. V., & Martin, S. (2015). Impact of Soil Fauna on the Properties of Soils in the Humid Tropics. *Myths and Science of Soils of the Tropics*, 157–185. https://doi.org/10.2136/SSSASPECPUB29.C9

Lavelle, P., Chauvel, A., & Fragoso, C. (1995). Faunal activity in acid soils. In *Plant-soil interactions at low PH: principles and management* (pp. 201–211). Springer.

Lavelle, P., Rodríguez, N., Arguello, O., Bernal, J., Botero, C., Chaparro, P., Gómez, Y., Gutiérrez, A., Hurtado, M. del P., Loaiza, S., Pullido, S. X., Rodríguez, E., Sanabria, C., Velásquez, E., & Fonte, S. J. (2014). Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing orinoco river basin of colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *185*, 106–117. https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.12.020

Lavelle, P., & Spain, A. (2002). *Soil ecology*. Springer Science \& Business Media.

Le Bayon, R. C., & Binet, F. (2006). Earthworms change the distribution and availability of phosphorous in organic substrates. *Soil Biology and Biochemistry*, *38*(2), 235–246. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.05.013

Le, G., Bottinelli, N., Dignac, M., Capowiez, Y., Jouquet, P., Mazurier, A., Baudin, F., Caner, L., & Rumpel, C. (2022). Geoderma Exploring the control of earthworm cast macro- and micro-scale features on soil organic carbon mineralization across species and ecological categories. *Geoderma*, *427*(September), 116151. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116151

Lee, K. E. (1992). Some trends and opportunities in earthworm research or: Darwin's children—the future of our discipline. *Soil Biology and Biochemistry*, *24*(12), 1765–1771. https://doi.org/10.1016/0038-0717(92)90185-Z

Legros, J.-P. (2011). A l'aube de la Science du sol. *Bulletin de l'Académie Des Sciences et Lettres de Montpellier*, *42*.

Lemtiri, A., Colinet, G., Alabi, T., Cluzeau, D., Zirbes, L., Haubruge, É., & Francis, F. (2014). Impacts of earthworms on soil components and dynamics . A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, *18*(1), 1–13.

Leveque, T., Capowiez, Y., Schreck, E., Xiong, T., Foucault, Y., & Dumat, C. (2014). Earthworm bioturbation influences the phytoavailability of metals released by particles in cultivated soils. *Environmental Pollution*, *191*, 199–206. https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2014.04.005

Lopes-Assad, M. L. (1987). *Contribution à l'étude de la macroporosité lombricienne de différents types de sols de France*. Montpellier 2.

Lowe, C. N., & Butt, K. R. (2005). Culture techniques for soil dwelling earthworms: A review. *Pedobiologia*, *49*(5), 401–413. https://doi.org/10.1016/J.PEDOBI.2005.04.005

Lucas, Y., Luizão, F. J., Chauvel, A., Rouiller, J., & Nahon, D. (1993). The Relation Between Biological Activity of the Rain Forest and Mineral Composition of Soils. *Science*, *260*(5107), 521–523. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.260.5107.521

Martins, G. M. (2007). *Efeitos da ação de cupins sobre propriedades de um perfil de solo em uma vertente da Represa Billings-São Bernardo do Campo/SP*. Universidade de São Paulo.

Materechera, S. A., Mandiringana, O. T., & Nyamapfene, K. (1998). Production and physico-chemical properties of surface casts from microchaetid earthworms in central Eastern Cape. *South African Journal of Plant and Soil*, *15*(4), 151–157. https://doi.org/10.1080/02571862.1998.10635134

Melo, M. S. de, Coimbra, A. M., & Cuchierato, G. (1997). Fácies sedimentares da Formação Rio Claro, neocenozóico da depressão periférica paulista. *Revista Do Instituto Geológico (São Paulo)*, *18*(1–2), 49–63. https://doi.org/10.5935/0100-929X.19970004

Melo Júnior, H. B. (2012). *Estruturas biogênicas em latossolos de chapadões, Uberlândia – MG.* (Dissertação de mestrado em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia).

Melo, M. S., Brandt Neto, M., Coimbra, A. M., De Moraes, M. C., De Sant'anna Taddeo, J., & Cuchierato, G. (1997). Argilominerais de Coberturas Sedimentares Cenozóicas do Centro-leste do Estado de São Paulo. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, *6*(2), 227–241. https://doi.org/10.17616/R31NJN39

Meysman, F. J. R., Middelburg, J. J., & Heip, C. H. R. (2006). Bioturbation: a fresh look at Darwin's last idea. *Trends in Ecology & Evolution*, *21*(12), 688–695. https://doi.org/10.1016/J.TREE.2006.08.002

Miklós, A. A. de W. (1992). *Biodynamique d'une couverture pedologique dans la region de Botucatu (Brésil-SP)*. Paris 6.

Miklós, A. A. de W. (2012). Biogênese do solo. In *Departamento de Geografia-USP*.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being* (Vol. 5). Island press Washington, DC.

Mora, P., Miambi, E., Jiménez, J. J., Decaëns, T., & Rouland, C. (2005). Functional complement of biogenic structures produced by earthworms, termites and ants in the neotropical savannas. *Soil Biology and Biochemistry*, *37*(6), 1043–1048. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.10.019

Müller, P. E. (1889). *Recherches sur les formes naturelles de l'humus et leur influence sur la végétation et le sol*. Impr. Berger-Levrault et cie.

Needham, S. J., Worden, R. H., & Cuadros, J. (2006a). Sediment ingestion by worms and the production of bio-clays: A study of macrobiologically enhanced weathering and early diagenetic processes. *Sedimentology*, *53*(3), 567–579. https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2006.00781.x

Needham, S. J., Worden, R. H., & Cuadros, J. (2006b). Sediment ingestion by worms and the production of bio-clays: a study of macrobiologically enhanced weathering and early diagenetic processes. *Sedimentology*, *53*(3), 567–579. https://doi.org/10.1111/J.1365-3091.2006.00781.X

Needham, S. J., Worden, R. H., & Mcilroy, D. (2004). Animal-sediment interactions: the effect of ingestion and excretion by worms on mineralogy. In *Biogeosciences* (Vol. 1). www.biogeosciences.net/bg/1/113/

Needham, S. J., Worden, R. H., & McIlroy, D. (2005a). Experimental production of clay rims by macrobiotic sediment ingestion and excretion processes. *Journal of Sedimentary Research*, *75*(6), 1028–1037. https://doi.org/10.2110/jsr.2005.078

Needham, S. J., Worden, R. H., & McIlroy, D. (2005b). Experimental Production of Clay Rims by Macrobiotic Sediment Ingestion and Excretion Processes. *Journal of Sedimentary Research*, *75*(6), 1028–1037. https://doi.org/10.2110/JSR.2005.078

Norgrove, L., & Hauser, S. (2000). Production and nutrient content of earthworm casts in a tropical agrisilvicultural system. *Soil Biology and Biochemistry*, *32*(11–12), 1651–1660. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00081-X

Oliva, A., Hung Kiang, C., & Caetano-Chang, M. R. (2005). Determinação da condutividade hidráulica da Formação Rio Claro: Análise comparativa através de análise granulométrica e ensaios Com permeâmetro guelph e testes de slug. *Águas Subterrâneas*, *19*(2). https://doi.org/10.14295/RAS.V19I2.8223

Ortiz, J. L., & Freitas, M. I. C. de. (2007). ANÁLISE DA TRANSFORMAÇÃO DO USO DA TERRA, VEGETAÇÃO E IMPACTOS AMBIENTAIS POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO. *Geociências (São Paulo)*, *24*(1), 77–89. https://ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/9742

Paoletti, M. G. (1999). The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *74*(1–3), 137–155. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00034-1

Pedro, G. (1984). La pédologie cent ans après la parution du «Tchernozem russe» de V.V. Dokouchaev (1883-1983). *La Pédologie Cent Ans Après La Parution Du «Tchernozem Russe» de V.V. Dokouchaev (1883-1983)*, *2*, 81–92.

Perinotto, J. A. de J., Etchebehere, M. L. D. C., Zaine, J. E., & Saad, A. R. (2006). Nova contribuição ao conhecimento da Formação Rio Claro (T) na Folha Rio Claro (SP). *Geosciences = Geociências*, *25*(3), 297–306. https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/451

Pulleman, M. M., Six, J., Uyl, A., Marinissen, J. C. Y., & Jongmans, A. G. (2005). Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. *Applied Soil Ecology*, *29*(1), 1–15. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.10.003

Pupim, F. do N. (2010). *Aspectos fisiográficos do município de Rio Claro - SP* [(Tese de doutoramento em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista)]. https://doi.org/10.17616/R31NJN39

Raij, B. van, Andrade, J. C., Cantarella, H., & Quaggio, J. A. (2001). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. In *Campinas: Instituto Agronômico* (Issue 19). www.iac.br

Righi, G. (1971). Sôbre a família Glossoscolecidae (Oligochaeta) no Brasil. *Arquivos de Zoologia*, *20*(1), 1–95. https://doi.org/10.11606/ISSN.2176-7793.V20I1P1-95

Ross, J. L. S., & Moroz, I. C. (1996). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. *Revista Do Departamento de Geografia.*, 41–58. https://doi.org/10.7154/RDG.1996.0010.0004

Salmazo, G. (2015). *Estudo geocronológico de sedimentos correlatos à Formação Rio Claro* [(Tese de Doutorado em Ciências dos Materiais, Universidade Estadual Paulista)]. https://repositorio.unesp.br/handle/11449/144084

Schaefer, C. E. R. (2001). Brazilian latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. *Australian Journal of Soil Research*, *39*(5), 909–926. https://doi.org/10.1071/SR00093

Schaetzl, R., & Anderson, S. (2005). *Soils: Genesis and geomorphology*. Cambridge University Press.

Schmidt, F. A., Ribas, C. R., & Schoereder, J. H. (2013). How predictable is the response of ant assemblages to natural forest recovery? Implications for their use as bioindicators. *Ecological Indicators*, *24*, 158–166. https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2012.05.031

Schrader, S., & Zhang, H. (1997). Earthworm casting: Stabilization or destabilization of soil structure? *Soil Biology and Biochemistry*, *29*(3–4), 469–475. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00103-4

Sims, R. W., & Gerard, B. M. (1985). Earthworms: keys and notes for the identification and study of the species. In *Eartworms* (Vol. 31). Brill Archive.

Soil Survey Staff. (2011). Soil Survey Investigations. Report No. 45. Version 2.0. In R. Burt (Ed.), *Soil Survey Laboratory Information Manual*. U.S. Department of Agriculture, Natural Ressources Conservation Service.

Springett, J. A., & Syers, J. K. (1984). Effect of pH and calcium content of soil on earthworm cast production in the laboratory. *Soil Biology and Biochemistry*, *16*(2), 185–189. https://doi.org/10.1016/0038-0717(84)90110-X

Suzuki, Y., Matsubara, T., & Hoshino, M. (2003). Breakdown of mineral grains by earthworms and beetle larvae. *Geoderma*, *112*(1–2), 131–142. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00300-2

Swift, M. J., Heal, O. W., & Anderson, J. M. (1979). *Decomposition in Terrestrial Ecosystems Blackwell Scientific Publications*. University of California Press.

Ullman, W. J., Kirchman, D. L., Welch, S. A., & Vandevivere, P. (1996). Laboratory evidence for microbially mediated silicate mineral dissolution in nature. *Chemical Geology*, *132*(1–4), 11–17. https://doi.org/10.1016/S0009-2541(96)00036-8

USEPA. (1996). *Method 3052: Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices. United States Environmental Protection Agency*. https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-3052-microwave-assisted-acid-digestion-siliceous-and-organically-based

Van Groenigen, J. W., Van Groenigen, K. J., Koopmans, G. F., Stokkermans, L., Vos, H. M. J., & Lubbers, I. M. (2019). How fertile are earthworm casts? A meta-analysis. *Geoderma*, *338*, 525–535. https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2018.11.001

Versteegh, E. A. A., Black, S., & Hodson, M. E. (2014). Environmental controls on the production of calcium carbonate by earthworms. *Soil Biology and Biochemistry*, *70*, 159–161. https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2013.12.013

Vos, H. M. J., Koopmans, G. F., Beezemer, L., de Goede, R. G. M., Hiemstra, T., & van Groenigen, J. W. (2019). Large variations in readily-available phosphorus in casts of eight earthworm species are linked to cast properties. *Soil Biology and Biochemistry*, *138*, 107583. https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2019.107583

Vos, H. M. J., Ros, M. B. H., Koopmans, G. F., & van Groenigen, J. W. (2014). Do earthworms affect phosphorus availability to grass? A pot experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, *79*, 34–42. https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2014.08.018

Whalen, J. K., Sampedro, L., & Waheed, T. (2004). Quantifying surface and subsurface cast production by earthworms under controlled laboratory conditions. *Biology and Fertility of Soils*, *39*(4), 287–291. https://doi.org/10.1007/s00374-003-0715-1

White, A. F., & Brantley, S. L. (2003). The effect of time on the weathering of silicate minerals: Why do weathering rates differ in the laboratory and field? *Chemical Geology*, *202*(3–4), 479–506. https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2003.03.001

Wielemaker, W. G. (1984). *Soil formation by termites: a study in the Kisii area, Kenya*. Wielemaker.

Wilcox, C., Domínguez, J., Parmelee, R., & McCartney, D. (2023). Soil carbon and nitrogen dynamics in Lumbricus terrestris . L . middens in four arable , a pasture , and a forest ecosystems. *European Journal of Soil Biology*, *36*(1), 26–34. https://doi.org/10.1007/s00374-002-0497-x

Wilkinson, M. T., Richards, P. J., & Humphreys, G. S. (2009a). Breaking ground: Pedological, geological, and ecological implications of soil bioturbation. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 97, Issues 1–4). https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.09.005

Wilkinson, M. T., Richards, P. J., & Humphreys, G. S. (2009b). Breaking ground: Pedological, geological, and ecological implications of soil bioturbation. *Earth-Science Reviews*, *97*(1–4), 257–272. https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2009.09.005

Worden, R. H., Needham, S. J., & Cuadros, J. (2006a). The worm gut; a natural clay mineral factory and a possible cause of diagenetic grain coats in sandstones. *Journal of Geochemical Exploration*, *89*(1-3 SPEC. ISS.), 428–431. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2005.12.011

Worden, R. H., Needham, S. J., & Cuadros, J. (2006b). The worm gut; a natural clay mineral factory and a possible cause of diagenetic grain coats in sandstones. *Journal of Geochemical Exploration*, *89*(1–3), 428–431. https://doi.org/10.1016/J.GEXPLO.2005.12.011

Xu, M., Chen, X., Liu, X., Huo, J., Du, Y., Li, N., & Wu, D. (2023). Earthworms and long-term straw management practices interactively affect soil carbon and nitrogen forms across soil depths. *European Journal of Soil Biology*, *116*, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2023.103478

Yan, S., Singh, A. N., Fu, S., Liao, C., Wang, S., Li, Y., Cui, Y., & Hu, L. (2012). A soil fauna index for assessing soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, *47*, 158–165.

https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2011.11.014

Zeibich, L., Schmidt, O., & Drake, H. L. (2018). Protein- and RNA-enhanced fermentation by gut microbiota of the earthworm Lumbricus terrestris. *Applied and Environmental Microbiology*, *84*(11). https://doi.org/10.1128/AEM.00657-18/FORMAT/EPUB

3. REMOBILIZAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO DOS CONTEÚDOS DE FÓSFORO EM UM SOLO TROPICAL PELA ATIVIDADE DO MINHOCUÇU *Glossoscolex paulistus* NO SUDESTE BRASILEIRO

Resumo

Neste trabalho foi investigado a influência da espécie de minhocuçu *Glossoscolex paulistus* nos estoques de fósforo do solo sob condições de campo e de laboratório. Foram extraídos os teores de P total e frações (ie., trocável, dos óxidos e hidróxidos de ferro, dos filossilicatos e aluminossilicatos, dos ácidos húmicos, da apatita e da matéria orgânica refratária). No campo, comparou-se os teores total e fracionado desse elemento nos excrementos da *G. paulistus* (COM) com o solo da drilosfera (DRI). Foi realizado um ensaio de laboratório, para a coleta de coprólitos sob condições controladas. Em seguida, avaliou-se as diferenças entre os teores de P nas amostras de coprólito e no solo controle. Correlacionou-se os conteúdos de P com outros atributos físicos (argila, silte e areia) e químicos (pH, capacidade de troca catiônica, carbono orgânico, carbono orgânico dissolvido, e frações de ferro associadas à ferridrita, à lepidocrocida e à goethita e hematita) do solo. Verificou-se que a espécie *Glossocolex paulistus* tem influência na ciclagem do P, afetando suas diferentes formas de ocorrência no solo. Em campo, os excrementos apresentam maiores conteúdos de P total, assim como para quase todas as demais frações. Ao mesmo tempo em que parte do P é utilizado por estes organismos como fonte energética, eles promovem um aumento nos teores deste elemento em suas bioestruturas. Sendo que a mineralização da matéria orgânica do solo nos excrementos transforma e remobiliza parte dos estoques de P do solo.

Palavras-chave: fracionamento químico do fósforo, fósforo mineral, fósforo orgânico, disponibilidade do fósforo, solo tropical, drilosfera.

3. REMOBILIZATION AND TRANSFORMATION OF PHOSPHORUS CONTENTS IN A TROPICAL SOIL UNDER THE INFLUENCE OF THE LARGE EARTHWORM SPECIES *Glossoscolex paulistus* IN SOUTHEASTERN BRAZIL

Abstract

This research investigated the influence of the earthworm species *Glossoscolex paulistus* on soil phosphorus stocks under field and laboratory conditions. Total P and 6 different forms were determined (ie., exchangeable P, P associated with: iron oxi-hydroxides, associated, phyllosilicates and aluminosilicates, humic acids, apatite and refractory organic matter). In the study area, the total and fractioned casts phosphorus contents (COM) was compared with the contents of the drilosphere (DRI). A laboratory experiment was carried out for the collection of casts under controlled conditions. Then, the comparison of P contents in the casts and control samples was carried out. P contents were also correlated with other soil physical (i.e., clay, silt and sand) and chemical atributes (i.e., pH, cation exchange capacity, organic carbon, dissolved organic carbon, and iron fractions associated with ferrhydrite, lepidocrocida, goethite and hematite). *Glossocolex paulistus* species has influences on P cycling in the soil. At the same time that part of the P content is used by these organisms as an energy source, they increase the levels of this element in their casts, since the mineralization of soil organic matter at casts transforms and remobilizes part of the P stocks in the soil.

Keywords: chemical fractionation of phosphorus, mineral P, organic P, P availability, tropical soil, drilosphere.

Referências

Achat, D. L., Bakker, M. R., Saur, E., Pellerin, S., Augusto, L., & Morel, C. (2010). Quantifying gross mineralisation of P in dead soil organic matter: Testing an isotopic dilution method. *Geoderma*, *158*(3–4), 163–172. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.04.027

Ashley, K., Cordell, D., & Mavinic, D. (2011). A brief history of phosphorus: From the philosopher's stone to nutrient recovery and reuse. *Chemosphere*, *84*(6), 737–746. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.03.001

Barois, I., Lavelle, P., Brossard, M., Tondoh, J., De Los, M., Martinez, A., Rossf, J. P., Senapati, B. K., Angeles, A., Fragoso\, C., Jimenez, J. J., Decaëns, T., Lattaud, C., Kanyony06, J., Blancharf, E., Chapuis, L., Brown, G., & Moreno, A. (1999). Ecology of Earthworm Species with Large Environmental Tolerance and/or Extended Distributions. In P. Lavelle, L. Brussaard, & P. Hendrix (Eds.), *Earthworm management in tropical agroecosystems*.

Basker, A., Kirkman, J. H., & Macgregor, A. N. (1994). Changes in potassium availability and other soil properties due to soil ingestion by earthworms. *Biology and Fertility of Soils*, *17*(2), 154–158. https://doi.org/10.1007/BF00337748

Bianchini De Quadros, R. M., Francisco, A., Bellote, J., & Dionísio, J. A. (2015). Observações sobre as propriedades químicas do solo e de excrementos de minhocas em plantios de Eucalyptus grandis. *Bol. Pesq. Fl*. http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/292400

Bottinelli, N., Hedde, M., Jouquet, P., & Capowiez, Y. (2020). An explicit definition of earthworm ecological categories – Marcel Bouché's triangle revisited. *Geoderma*, *372*. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114361

Bouché, M. (1977). Strategies lombriciennes. *Ecological Bulletins*, 122–132.

Bünemann, E. (2015). Assessment of gross and net mineralization rates of soil organic phosphorus - A review. *Soil Biology and Biochemistry*, *89*, 82–98. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.06.026

Bünemann, E., & Condron, L. (2007). Phosphorus and Sulphur Cycling in Terrestrial Ecosystems. *Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems*, *10*, 65–92. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68027-7_3

Cardoso, G. B. X. (2016). *Atributos físicos e químicos de coprólitos de três espécies minhocas endogéicas*. Universidade Federal do Paraná.

Carpenter, D., Hodson, M. E., Eggleton, P., & Kirk, C. (2007). Earthworm induced mineral weathering: Preliminary results. *European Journal of Soil Biology*, *43*(SUPPL. 1). https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.08.053

Chapuis-Lardy, L., Brossard, M., Lavelle, P., & Schouller, E. (1998). Phosphorus transformations in a ferralsol through ingestion by Pantoscolex corethrurus, a geophagous earthworm. *European Journal of Soil Biology*, *34*(2), 61–67. https://doi.org/10.1016/S1164-5563(99)90002-X

Chapuis-Lardy, L., Le Bayon, R.-C., Brossard, M., López-Hernández, D., & Blanchart, E. (2011a). Role of soil macrofauna in phosphorus cycling. In E. Bünemann, A. Oberson, & E. Frossard (Eds.), *Phosphorus in action: biological processes in soil phosphorus cycling*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-642-15271-9_8

Chapuis-Lardy, L., Le Bayon, R.-C., Brossard, M., López-Hernández, D., & Blanchart, E. (2011b). *Role of Soil Macrofauna in Phosphorus Cycling* (pp. 199–213). https://doi.org/10.1007/978-3-642-15271-9_8

Conceição, F. T. da, & Bonotto, D. M. (2000). Anthropogenic influences on the uranium concentration in waters of the Corumbatai river basin (SP), Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, *30*(3), 555–557. https://doi.org/10.25249/0375-7536.2000303555557

Conceição, F. T. da, & Bonotto, D. M. (2004). Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. *Applied Geochemistry*, *19*(4), 575–591. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2003.07.002

Dalgaard, P. (2008). *Statics and Computing Introductory Statistics with R*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-79054-1

Darch, T., Carswell, A., Blackwell, M. S. A., Hawkins, J. M. B., Haygarth, P. M., & Chadwick, D. (2015). Dissolved Phosphorus Retention in Buffer Strips: Influence of Slope and Soil Type. *Journal of Environmental Quality*, *44*(4), 1216–1224. https://doi.org/10.2134/jeq2014.10.0440

Devau, N., Cadre, E. Le, Hinsinger, P., Jaillard, B., & Gérard, F. (2009). Soil pH controls the environmental availability of phosphorus: Experimental and mechanistic modelling approaches. *Applied Geochemistry*, *24*(11), 2163–2174. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2009.09.020

Devliegher, W., & Verstraete, W. (1997). Microorganisms and soil physico-chemical conditions in the drilosphere of Lumbricus terrestris. *SOIL BIOLOGY & BIOCHEMISTRY*, *29*(11-12) 1721-1729). http://hdl.handle.net/1854/LU-176025

Ding, Y., Shi, Z., Ye, Q., Liang, Y., Liu, M., Dang, Z., Wang, Y., & Liu, C. (2020). Chemodiversity of Soil Dissolved Organic Matter. *Environmental Science and Technology*, *54*(10), 6174–6184. https://doi.org/10.1021/acs.est.0c01136

Dupas, R., Delmas, M., Dorioz, J. M., Garnier, J., Moatar, F., & Gascuel-Odoux, C. (2015). Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk. *Ecological Indicators*, *48*, 396–407. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.007

Embrapa. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro.

Ferreira, S. R., & Chang, M. R. C. (2008). Datação das formações Rio Claro e Piraçununga por termoluminescência. *Rem: Revista Escola de Minas*, *61*(2), 129–134. https://doi.org/10.1590/S0370-44672008000200004

Frossard, E., Brossard, M., Hedley, M. J., & Metherell, A. (1995). Reactions controlling the cycling of P in soils. In H. Tiessen (Ed.), *Phosporus in the global environment : transfers, cycles and management* (pp. 107–137). {Wiley. https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010008808

Fründ, H. C., Butt, K., Capowiez, Y., Eisenhauer, N., Emmerling, C., Ernst, G., Potthoff, M., Schädler, M., & Schrader, S. (2010). Using earthworms as model organisms in the laboratory: Recommendations for experimental implementations. *Pedobiologia*, *53*(2), 119–125. https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2009.07.002

Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle Size Analysis. In A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part A.* (2 ed., Vol. 9, pp. 383–411). http://www.sciepub.com/reference/135479

Gianfreda, L. (2015). Enzymes of importance to rhizosphere processes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *15*(2), 283–306. https://doi.org/10.4067/s0718-95162015005000022

Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I. S., & White, P. (2012). Functions of macronutrients. In *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (pp. 135–189). Elsevier.

Hmar, L., & Ramanujam, S. N. (2014). Earthworm cast production and physico-chemical properties in two agroforestry systems of Mizoram (India). *Tropical Ecology*, *55*(1), 77–86. www.tropecol.com

IBGE. (1969). *Piracicaba: folha topográfica SF-23-Y-A-IV-2. 1 mapa. Escala: 1:50000.*

IBGE. (1993). *Campinas: folha topográfica SF-23-Y-A. 1 mapa. Escala: 1:250.000.*

ISO. (2005). *ISO 10390: 2005 - Soil quality — Determination of pH*. https://www.iso.org/standard/40879.html

Jarvie, H. P., Sharpley, A. N., Flaten, D., & Kleinman, P. J. A. (2019). Phosphorus mirabilis : Illuminating the Past and Future of Phosphorus Stewardship . *Journal of Environmental Quality*, *48*(5), 1127–1132. https://doi.org/10.2134/jeq2019.07.0266

Jarvie, H. P., Sharpley, A. N., Withers, P. J. A., Scott, J. T., Haggard, B. E., & Neal, C. (2013). Phosphorus Mitigation to Control River Eutrophication: Murky Waters, Inconvenient Truths, and "Postnormal" Science. *Journal of Environmental Quality*, *42*(2), 295–304. https://doi.org/10.2134/jeq2012.0085

Kuczak, C. N., Fernandes, E. C. M., Lehmann, J., Rondon, M. A., & Luizão, F. J. (2006a). Inorganic and organic phosphorus pools in earthworm casts (Glossoscolecidae) and a Brazilian rainforest Oxisol. *Soil Biology and Biochemistry*, *38*(3), 553–560. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.06.007

Kuczak, C. N., Fernandes, E. C. M., Lehmann, J., Rondon, M. A., & Luizão, F. J. (2006b). Inorganic and organic phosphorus pools in earthworm casts (Glossoscolecidae) and a Brazilian rainforest Oxisol. *Soil Biology and Biochemistry*, *38*(3), 553–560. https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2005.06.007

Le Bayon, R.-C., & Milleret, R. (2009). Effects of earthworms on phosphorus dynamics--a review. *Dynamic Soil, Dynamic Plant*, *3*(2), 21–27.

Le Bayon, R. C., & Binet, F. (2006a). Earthworms change the distribution and availability of phosphorous in organic substrates. *Soil Biology and Biochemistry*, *38*(2), 235–246. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.05.013

Le Bayon, R. C., & Binet, F. (2006b). Earthworms change the distribution and availability of phosphorous in organic substrates. *Soil Biology and Biochemistry*, *38*(2), 235–246. https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2005.05.013

Lopez-Hernandez, D., Lavelle, P., Fardeau, J. C., & Niño, M. (1993). Phosphorus transformations in two P-sorption contrasting tropical soils during transit through Pontoscolex corethrurus (Glossoscolecidae : Oligochaeta). *Soil Biology and Biochemistry*, *25*(6), 789–792. https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90124-T

Lowe, C. N., & Butt, K. R. (2005). Culture techniques for soil dwelling earthworms: A review. *Pedobiologia*, *49*(5), 401–413. https://doi.org/10.1016/J.PEDOBI.2005.04.005

Malik, M. A., Marschner, P., & Khan, K. S. (2012). Addition of organic and inorganic P sources to soil - Effects on P pools and microorganisms. *Soil Biology and Biochemistry*, *49*, 106–113. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.02.013

Martin, A. (1991). Short- and long-term effects of the endogeic earthworm Millsonia anomala (Omodeo) (Megascolecidæ, Oligochæta) of tropical savannas, on soil organic matter. *Biology and Fertility of Soils*, *11*(3), 234–238. https://doi.org/10.1007/BF00335774

McKenzie, R. H., & Bremer, E. (2003). Relationship of soil phosphorus fractions to phosphorus soil tests and fertilizer response. *Canadian Journal of Soil Science*, *83*(4), 443–449. https://doi.org/10.4141/S02-079

Melo, M. S., Brandt Neto, M., Coimbra, A. M., De Moraes, M. C., De Sant'anna Taddeo, J., & Cuchierato, G. (1997). Argilominerais de Coberturas Sedimentares Cenozóicas do Centro-leste do Estado de São Paulo. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, *6*(2), 227–241. https://doi.org/10.17616/R31NJN39

Mezeli, M. M., Page, S., George, T. S., Neilson, R., Mead, A., Blackwell, M. S. A., & Haygarth, P. M. (2020). Using a meta-analysis approach to understand complexity in soil biodiversity and phosphorus acquisition in plants. In *Soil Biology and Biochemistry* (Vol. 142). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107695

Neidhardt, H., Achten, F., Kern, S., Schwientek, M., & Oelmann, Y. (2019). Phosphorus Pool Composition in Soils and Sediments of Transitional Ecotones under the Influence of Agriculture. *Journal of Environmental Quality*, *48*(5), 1325–1335. https://doi.org/10.2134/jeq2019.01.0012

Novais, R. F. de, Smyth, T. J., & Nunes, F. N. (2007). Fósforo. *Fertilidade Do Solo*, *1*, 472–537.

Otero, X. L., Ferreira, T. O., Huerta-Díaz, M. A., Partiti, C. S. M., Souza, V., Vidal-Torrado, P., & Macías, F. (2009). Geochemistry of iron and manganese in soils and sediments of a mangrove system, Island of Pai Matos (Cananeia — SP, Brazil). *Geoderma*, *148*(3–4), 318–335. https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2008.10.016

Paludan, C., & Jensen, H. S. (1995). Sequential extraction of phosphorus in freshwater wetland and lake sediment: significance of humic acids. In *Wetlands* (Vol. 15, Issue 4).

Paludan, C., & Morris, J. T. (1999). Distribution and speciation of phosphorus along a salinity gradient in intertidal marsh sediments. *Biogeochemistry 1999 45:2*, *45*(2), 197–

221. https://doi.org/10.1007/BF01106781

Pant, H. K., Vaughan, D., & Edwards, A. C. (1994). Molecular size distribution and enzymatic degradation of organic phosphorus in root exudates of spring barley. *Biology and Fertility of Soils*, *18*(4), 285–290. https://doi.org/10.1007/BF00570630

Patrón, J., Sanchez, P., Brown, G., Brossard, M., Barois, I., & Gutiérrez, C. (1999). Phosphorus in soil and Brachiaria decumbens plants as affected by the geophagous earthworm Pontoscolex corethrurus and P fertilization. *Pedobiologia*, *43*(6), 547–556.

Perinotto, J. A. de J., Etchebehere, M. L. D. C., Zaine, J. E., & Saad, A. R. (2006). Nova contribuição ao conhecimento da Formação Rio Claro (T) na Folha Rio Claro (SP). *Geosciences = Geociências*, *25*(3), 297–306. https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/451

Pupim, F. do N. (2010). *Aspectos fisiográficos do município de Rio Claro - SP* [(Tese de doutoramento em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista)]. https://doi.org/10.17616/R31NJN39

Ros, M. B. H., Hiemstra, T., van Groenigen, J. W., Chareesri, A., & Koopmans, G. F. (2017). Exploring the pathways of earthworm-induced phosphorus availability. *Geoderma*, *303*, 99–109. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.05.012

Ross, J. L. S., & Moroz, I. C. (1996). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. *Revista Do Departamento de Geografia.*, 41–58. https://doi.org/10.7154/RDG.1996.0010.0004

Salmazo, G. (2015). *Estudo geocronológico de sedimentos correlatos à Formação Rio Claro* [(Tese de Doutorado em Ciências dos Materiais, Universidade Estadual Paulista)]. https://repositorio.unesp.br/handle/11449/144084

Scalenghe, R., Edwards, A. C., & Barberis, E. (2007). Phosphorus loss in overfertilized soils: The selective P partitioning and redistribution between particle size separates. *European Journal of Agronomy*, *27*(1), 72–80. https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.02.002

Scheu, S., & Parkinson, D. (1994). Effects of earthworms on nutrient dynamics, carbon turnover and microorganisms in soils from cool temperate forests of the Canadian Rocky

Mountains - laboratory studies. *Applied Soil Ecology*, *1*(2), 113–125. https://doi.org/10.1016/0929-1393(94)90031-0

Sharpley, A., Jarvie, H., Flaten, D., & Kleinman, P. (2018). Celebrating the 350th Anniversary of Phosphorus Discovery: A Conundrum of Deficiency and Excess. *Journal of Environmental Quality*, *47*(4), 774–777. https://doi.org/10.2134/jeq2018.05.0170

Sharpley, A. N. (1985). Phosphorus Cycling in Unfertilized and Fertilized Agricultural Soils. *Soil Science Society of America Journal*, *49*(4), 905–911. https://doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900040023x

Soil Survey Staff. (2011). Soil Survey Investigations. Report No. 45. Version 2.0. In R. Burt (Ed.), *Soil Survey Laboratory Information Manual*. U.S. Department of Agriculture, Natural Ressources Conservation Service.

Suárez, E. R., Pelletier, D. M., Fahey, T. J., Groffman, P. M., Bohlen, P. J., & Fisk, M. C. (2004). Effects of exotic earthworms on soil phosphorus cycling in two broadleaf temperate forests. *Ecosystems*, *7*(1), 28–44. https://doi.org/10.1007/s10021-003-0128-x

Suárez, E. R., Pelletier, D. M., Fahey, T. J., Groffman, P. M., Bohlen, P. J., Fisk, M. C., Suarez, E. R., & Fisk1, M. C. (2004). *Effects of Exotic Earthworms on Soil Phosphorus Cycling in Two Broadleaf Temperate Forests Effects o ocarors of Exotic Earthworms on Soil Phosphorus Cycling in Two Broadleaf Temperate Forests*. *7*(1), 28–44. https://doi.org/10.1007/s10021-003-0128-x

Sullivan, B., Alvarez-Clare, S., Castle, S., Porder, S., Reed, S., Schreeg, L., Townsend, A., & Cleveland, C. (2014). Assessing nutrient limitation in complex forested ecosystems: alternatives to large-scale fertilization experiments. *Ecology*, *95*(3), 668–681.

Tuffen, F., Eason, W. R., & Scullion, J. (2002). The effect of earthworms and arbuscular mycorrhizal fungi on growth of and 32P transfer between Allium porrum plants. *Soil Biology and Biochemistry*, *34*(7), 1027–1036. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00036-6

Turner, B. L., Papházy, M. J., Haygarth, P. M., & McKelvie, I. D. (2002). Inositol phosphates in the environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B:*

Biological Sciences, *357*(1420), 449–469. https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0837

Tyler, G. (2002). Phosphorus fractions in grassland soils. *Chemosphere*, *48*(3), 343–349. https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00087-5

USEPA. (1996). *Method 3052: Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices. United States Environmental Protection Agency*. https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-3052-microwave-assisted-acid-digestion-siliceous-and-organically-based

Van Groenigen, J. W., Van Groenigen, K. J., Koopmans, G. F., Stokkermans, L., Vos, H. M. J., & Lubbers, I. M. (2019). How fertile are earthworm casts? A meta-analysis. *Geoderma*, *338*, 525–535. https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2018.11.001

Vos, H. M. J., Koopmans, G. F., Beezemer, L., de Goede, R. G. M., Hiemstra, T., & van Groenigen, J. W. (2019a). Large variations in readily-available phosphorus in casts of eight earthworm species are linked to cast properties. *Soil Biology and Biochemistry*, *138*(September), 107583. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107583

Vos, H. M. J., Koopmans, G. F., Beezemer, L., de Goede, R. G. M., Hiemstra, T., & van Groenigen, J. W. (2019b). Large variations in readily-available phosphorus in casts of eight earthworm species are linked to cast properties. *Soil Biology and Biochemistry*, *138*, 107583. https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2019.107583

Vos, H. M. J., Ros, M. B. H., Koopmans, G. F., & van Groenigen, J. W. (2014). Do earthworms affect phosphorus availability to grass? A pot experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, *79*, 34–42. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.08.018

Withers, P. J. A., Hartikainen, H., Barberis, E., Flynn, N. J., & Warren, G. P. (2009). The effect of soil phosphorus on particulate phosphorus in land runoff. *European Journal of Soil Science*, *60*(6), 994–1004. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01161.x

Zhang, B. G., Li, G. T., Shen, T. S., Wang, J. K., & Sun, Z. (2000). Changes in microbial biomass C, N, and P and enzyme activities in soil incubated with the earthworms Metaphire guillelmi or Eisenia fetida. *Soil Biology and Biochemistry*, *32*(14), 2055–2062. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00111-5

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desta pesquisa, foram constatados importantes efeitos da espécie de minhoca *Glossoscolex paulistus* no solo. No campo, elas atuam em uma área ampla do perfil de solo, mas tem seus efeitos concentrados nos horizontes superficiais, denominados de drilosfera. Com seu comportamento alimentar e construtor, elas modificam os atributos físicos do solo como a agregação, criação de canais e câmera que afetam a circulação atmosférica e hídrica, além de revolverem uma expressiva quantidade de materiais que são depositados em superfície na forma de coprólitos. Estas bioestruturas se diferenciam amplamente do solo não bioturbado, a partir de parâmetros físicos e químicos, orgânicos e minerais. Sob condições laboratório o controle das variáveis ambientais faz com que os efeitos da bioturbação sejam menos intensos. Os resultados obtidos em campo, apesar de apresentar algumas tendências similares, podem ser apenas parcialmente estendidos para o ensaio de laboratório. No microcosmo, as restrições das variáveis ambientais impedem um conjunto de interações que ocorrem sob condições naturais. Ademais, os organismos ficam impedidos de forragearem livremente, buscando recursos mais ricos em nutrientes, o que limita a concentração de determinados componentes do solo em suas bioestruturas, assim como a alteração destes materiais sob condições controladas.