

Minhocas como Bioindicadoras da Qualidade do Solo em Ecossistemas na Embrapa Clima Temperado



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Clima Temperado
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

DOCUMENTOS 482

**Minhocas como Bioindicadoras da Qualidade do Solo
em Ecossistemas na Embrapa Clima Temperado**

*Alessandra Santos
Lilianne dos Santos Maia
Talita Ferreira
Wiliam Carlo Demetrio
Herlon Sérgio Nadolny
Louise Vargas Ribeiro
Gustavo Schiedeck
Fábia Amorim da Costa
Marie Luise Carolina Bartz
George Gardner Brown*

Editore(s) Técnico(s)

Embrapa Clima Temperado
BR 392 km 78 - Caixa Postal 403
CEP 96010-971, Pelotas, RS
Fone: (53) 3275-8100
www.embrapa.br/clima-temperado
www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê Local de Publicações

Presidente

Ana Cristina Richter Krolow

Vice-Presidente

Marcia Vizzotto

Secretária-Executiva

Bárbara Chevallier Cosenza

Membros

*Ana Luíza B. Viegas, Fernando Jackson, Marilaine
Schaun Pelufê, Sônia Desimon*

Revisão de texto

Bárbara Chevallier Cosenza

Normalização bibliográfica

Marilaine Schaun Pelufê

Editoração eletrônica

Fernando Jackson

Foto de capa

Marie Bartz

1ª edição

Obra digitalizada (2019)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Clima Temperado

M665 Minhocas como bioindicadoras da qualidade do solo
em ecossistemas na Embrapa Clima Temperado /
Alessandra Santos... [et al.]. – Pelotas: Embrapa Clima
Temperado, 2019.
37 p. (Documentos / Embrapa Clima Temperado,
ISSN 1516-8840 ; 482)

1. Solo. 2. Minhoca. 3. Húmus. 4. Biologia do solo.
5. Aeração do solo. 6. Fauna edáfica. 7. GISQ. I. Santos,
Alessandra. II. Série.

CDD 639.75

Marilaine Schaun Pelufê – CRB10/1274

© Embrapa, 2019

Autores

Alessandra Santos

Bióloga, M.Sc. em Ciência do Solo, doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR.

Lilianne dos Santos Maia

Agrônoma, M.Sc. em Agronomia, doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR.

Talita Ferreira

Agrônoma, M.Sc. em Ciência do Solo, doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR.

Wilian Carlo Demetrio

Agrônomo, D.Sc. em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR.

Herlon Sérgio Nadolny

Biólogo, D.Sc. em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR.

Louise Vargas Ribeiro

Bióloga, M.Sc. em Agronomia, doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Universidade Federal de Pelotas (UFPeL), Pelotas, RS.

Gustavo Schiedeck

Agrônomo, D.Sc. em Agronomia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Fábia Amorim da Costa

Geógrafa, M.Sc. em Engenharia Agrícola, analista da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Marie Luise Carolina Bartz

Bióloga, D.Sc. em Agronomia, professora da Universidade Positivo, Curitiba, PR.

George Gardner Brown

Agrônomo, D.Sc. em Ecologia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR.

Apresentação

As áreas experimentais da Embrapa representam locais estratégicos para a geração de tecnologias, conhecimentos e experiências em diversas áreas de pesquisa científica, incluindo o manejo e conservação do solo, o melhoramento vegetal, os recursos genéticos, a biotecnologia e a biodiversidade. Contudo, muitas dessas áreas ainda não foram alvo de avaliação da diversidade de animais edáficos, que representam aproximadamente 25% de todas as espécies conhecidas no planeta. Entre esses animais estão as minhocas, organismos extremamente importantes para o funcionamento do solo, e bem conhecidos pela maioria das pessoas por serem bons indicadores da qualidade do solo.

Nesse estudo, realizado como parte do projeto Zoneamento Agroambiental das Áreas Experimentais da Embrapa Clima Temperado, financiado pelo Macroprograma 5 da Embrapa, buscou-se avaliar a qualidade do solo em diversos sistemas de uso do solo em áreas experimentais de três bases físicas da Embrapa Clima Temperado, usando-se as minhocas como bioindicadoras. O estudo complementa outras pesquisas já realizadas na região, e mostra como o manejo do solo altera sua qualidade, e como as minhocas podem ajudar na avaliação da qualidade do solo, expressando os impactos do manejo do solo sobre a comunidade da fauna edáfica. Iniciativas como essa, que integram os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, através de índices sintéticos da qualidade, como o Índice Geral de Qualidade do Solo (GISQ), são louváveis, e precisam ser adotadas com maior frequência na pesquisa interdisciplinar em Ciência do Solo, visando a sustentabilidade do uso desse recurso natural, em prol das gerações atuais e futuras.

Clenio Nailto Pillon
Chefe-Geral

Sumário

Introdução.....	9
Ecologia e importância funcional das minhocas	9
Indicador Geral de Qualidade do Solo – GISQ	10
Material e Métodos	10
Locais de coleta	10
Amostragem das minhocas e do solo	15
Cálculo do GISQ	16
Análises estatísticas	16
Resultados.....	16
Atributos físicos e químicos do solo	16
Abundância e biomassa de minhocas.....	17
GISQ nas áreas avaliadas	21
ETB	21
Sede	23
EEC	25
Discussão	26
Populações de minhocas	26
GISQ	31
Considerações Finais	33
Agradecimentos.....	33
Referências	34

Introdução

O solo é um recurso natural não renovável, em escalas temporais humanas, e sua conservação e manejo adequados são indispensáveis para o uso sustentável. Práticas de manejo inadequadas resultam na erosão do solo, na degradação física e química, na perda da biodiversidade e de nutrientes, e na redução da produtividade e rentabilidade dos ecossistemas agrícolas e florestais. Portanto, boas práticas que conservam o solo, sua estrutura, fertilidade e biodiversidade devem ser priorizadas, para manter a qualidade e produtividade dos ecossistemas. Nesse sentido, diversos indicadores físicos, químicos e biológicos do solo podem ser importantes para se avaliar a qualidade do solo e como o manejo e uso do solo estão interferindo nesses ecossistemas.

A qualidade do solo pode ser definida, segundo a Sociedade Americana de Ciência do Solo (SSSA), como “a capacidade do solo de funcionar, dentro de limites ecossistêmicos, para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental, e promover a saúde vegetal e animal” (SSSA, 1997). Um bom indicador de qualidade é aquele que tem potencial para alterar processos ecológicos e edáficos, e que integra as propriedades físicas, químicas e biológicas (Araújo; Monteiro, 2007).

Com relação às propriedades físicas, sabe-se que a estrutura é fortemente alterada pelos sistemas de plantio e tipos de manejo do solo adotados, podendo ser analisada de acordo com variáveis interligadas com a sua formação. A textura e mineralogia interferem diretamente na resistência e resiliência do solo ao manejo. A prática da agricultura altera a formação dos agregados do solo e sua densidade, reduzindo o número de poros e aumentando sua resistência à penetração (Silva et al., 2005).

As propriedades químicas, comumente avaliadas como indicadores de qualidade, englobam quatro classes: 1) indicadores de processos ou comportamento, representados pelo pH e o teor de carbono orgânico; 2) indicadores de nutrientes, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio; 3) tipos de argila, que determinam a capacidade do solo de trocar cátions e ânions; 4) a presença de metais pesados, nitratos, fosfatos e agrotóxicos, que indicam contaminação do ambiente (Gomes; Filizola, 2006).

Os indicadores biológicos de qualidade mais usados são a diversidade de espécies de invertebrados, biomassa microbiana, nível de respiração do solo, atividade enzimática e população de minhocas (Bünemann et al., 2018). A abundância e atividade metabólica dos organismos edáficos promovem alterações no ambiente, facilitando o uso dos mesmos para a avaliação de qualidade do solo (Araújo; Monteiro, 2007) e detecção mais rápida de efeitos negativos ou positivos do manejo sobre a qualidade edáfica.

Ecologia e importância funcional das minhocas

As minhocas são “engenheiras do ecossistema”, invertebrados capazes de criar estruturas específicas, como galerias, câmaras e coprólitos, que alteram as propriedades e processos físicos e químicos do solo, afetando-o como ambiente para a vida de outros animais e plantas (Lavelle et al., 1997). Os excrementos desses animais, chamados de coprólitos, resultantes de sua atividade alimentar, apresentam alto teor de nitrogênio mineral e de outros nutrientes disponíveis para as plantas (Van Groenigen et al., 2019). Além disso, a formação de galerias e de coprólitos (agregados estáveis) favorece a estrutura física do solo, aeração e infiltração de água, aumentando a qualidade do solo (Lavelle et al., 1997). Portanto, as minhocas favorecem a produção vegetal, tanto de raízes quanto das partes aéreas das plantas (Brown et al., 1999; Van Groenigen et al., 2014).

Além de afetar o solo enquanto habitat para outros organismos, a variação nos atributos físicos e químicos, induzida pelo manejo e uso do solo, pode alterar diretamente ou indiretamente as populações de minhocas. As condições climáticas e biológicas bem como as ações antrópicas influenciam na diversidade e abundância de minhocas, sendo as mais impactantes o manejo, tipo de solo e cobertura vegetal (Brown; Domínguez, 2010). Por serem organismos importantes para a qualidade do solo, deve-se evitar a perda desses animais e da biodiversidade, para não ocorrer a degradação do ecossistema solo. Portanto, faz-se necessário realizar,

frequentemente, a avaliação da qualidade do solo, para identificar e desenvolver práticas mais sustentáveis em diversos sistemas de uso do solo (MEA, 2005; Pulleman et al., 2012; Bünemann et al., 2018).

Indicador Geral de Qualidade do Solo – GISQ

Pelas considerações anteriores, diversos fatores podem contribuir para a qualidade do solo. Nesse sentido, Velásquez et al. (2007) propuseram um Indicador Geral de Qualidade do Solo (GISQ – *General Indicator of Soil Quality*). Esse indicador combina um conjunto de diferentes subindicadores (geralmente físicos, químicos e biológicos), que fornecem uma avaliação global da qualidade do solo. Além disso, os diferentes subindicadores podem ser usados, por sua vez, como indicadores do desempenho de um ecossistema específico (Lavelle et al., 2006), possibilitando o monitoramento de mudanças na sua qualidade ao longo do tempo, além da comparação da qualidade em diferentes ecossistemas (Grimaldi et al., 2014; Lavelle et al., 2014).

Neste estudo, avaliaram-se as populações de minhocas e a qualidade do solo em diversos sistemas de uso do solo, em três bases físicas da Embrapa Clima Temperado: 1) Estação Experimental Cascata (EEC), no município de Pelotas-RS; 2) sede da Embrapa Clima Temperado, também em Pelotas-RS; 3) Estação Experimental Terras Baixas (ETB), localizada no município de Capão de Leão-RS. O trabalho fez parte de um projeto de zoneamento agroambiental realizado nas referidas áreas experimentais, como instrumento para a otimização e planejamento do uso dos espaços produtivos e redução dos impactos negativos ao ambiente.

Material e Métodos

Locais de coleta

Foram selecionadas três bases físicas da Embrapa Clima Temperado: as áreas experimentais na sede da unidade, na ETB e na EEC (Tabela 1). Dentro de cada área foram avaliados três sistemas de uso do solo: 1) sistemas anuais (SA) com culturas agrícolas anuais; 2) sistemas perenes (SP) com produção de frutíferas, pastagens e plantio de espécies florestais comerciais; 3) vegetação nativa (VN). As coletas foram realizadas no inverno (julho) de 2016, quando as temperaturas máximas e mínimas são as mais baixas do ano (18 °C e 9 °C, respectivamente), sendo que durante o período da amostragem ocorreram temperaturas abaixo de 0 °C na EEC. A precipitação, nesse mês, medida na ETB, foi de 131 mm.

Na ETB, selecionaram-se sete tratamentos (Figuras 1 e 2), sendo dois SAs (lavouras de soja e de arroz, ambas em pousio no momento da coleta), dois SPs (uma pastagem perene e um plantio florestal de *Eucalyptus* sp., que já havia sido desbastado), e três VNs (uma floresta de restinga com influência fluvial e lacustre, um campo nativo e uma área de campo nativo alagável). Nas áreas da sede, foram selecionadas três áreas com VN (floresta estacional semidecidual e dois campos nativos, sendo um deles com presença de arbustos e algumas espécies lenhosas, e o outro com influência fluvial e lacustre), duas áreas com SAs (lavoura de soja, em pousio no momento da coleta, e cultivo de cana-de-açúcar), e duas com SPs (pomar com diversas espécies de frutíferas nativas e pomar de pêssego), totalizando seis tratamentos (Figura 3). Na EEC, foi selecionada uma floresta estacional semidecidual, uma área com cultivo anual (feijão, em pousio no momento da coleta) e quatro áreas com cultivo perene, sendo dois sistemas integrados (SAFs) com frutíferas (localizados em área mais alta e mais baixa), uma pastagem com influência fluvial e lacustre, e uma área com frutíferas diversas, totalizando seis tratamentos (Figura 4).

Tabela 1. Sistemas de uso do solo, ecossistemas, localização e classe de solo das áreas avaliadas nas três bases físicas da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão (ETB) e Pelotas (sede e EEC), Rio Grande do Sul.

Localidade	Município	Localização	Ecossistema	Sistema de uso do solo	Classe de solo
ETB	Capão do Leão	31° 48' 50,96" S 52° 25' 42,22" W	Vegetação Nativa	Floresta de restinga	Espodossolo
		31° 49' 14,60" S 52° 25' 53,30" W	Vegetação Nativa	Campo nativo alagável	Gleissolo Háptico
		31° 49' 31,24" S 52° 28' 00,48" W	Vegetação Nativa	Campo nativo	Planossolo Háptico Eutrófico arênico
		31° 48' 51,46" S 52° 28' 27,70" W	Sistema Perene	Pastagem/Azevém	Planossolo Háptico Eutrófico típico
		31° 48' 49,52" S 52° 27' 19,79" W	Sistema Perene	Plantio florestal de <i>Eucalyptus</i>	Planossolo Háptico Eutrófico arênico
		31° 49' 06,82" S 52° 27' 59,12" W	Sistema Anual	Soja (em pousio)	Planossolo Háptico Eutrófico típico
		31° 48' 38,76" S 52° 28' 28,08" W	Sistema Anual	Arroz (em pousio)	Planossolo Háptico Eutrófico típico
Sede	Pelotas	31° 40' 23,32" S 52° 26' 39,08" W	Vegetação Nativa	Floresta Estacional Semidecidual	Gleissolo Háptico
		31° 40' 56,51" S 52° 25' 47,84" W	Vegetação Nativa	Campo nativo (pousio)	Gleissolo Háptico
		31° 40' 48,56" S 52° 26' 35,53" W	Vegetação Nativa	Campo nativo 2	Argissolo Vermelho Amarelo
		31° 40' 37,68" S 52° 26' 22,58" W	Sistema Perene	Frutífera (pêssego)	Argissolo Vermelho Amarelo
		31° 40' 29,56" S 52° 26' 58,73" W	Sistema Perene	Frutíferas nativas	Argissolo Vermelho Amarelo
		31° 40' 53,30" S 52° 25' 48,02" W	Sistema Anual	Soja (em pousio)	Planossolo Háptico Eutrófico
		31° 40' 59,61" S 52° 26' 05,22" W	Sistema Anual	Cana-de-açúcar	Argissolo Vermelho Amarelo
EEC	Pelotas	31° 37' 15,76" S 52° 30' 57,29" W	Vegetação Nativa	Floresta Estacional Semidecidual	Argissolo Vermelho Amarelo
		31° 37' 14,62" S 52° 31' 27,76" W	Sistema Perene	Pastagem	Gleissolo Háptico
		31° 37' 19,10" S 52° 31' 25,47" W	Sistema Perene	Frutíferas diversas	Argissolo Vermelho Amarelo
		31° 37' 13,56" S 52° 31' 41,34" W	Sistema Perene	Sistema integrado – SAF(a) [§]	Argissolo Vermelho Amarelo
		31° 37' 13,98" S 52° 31' 38,91" W	Sistema Perene	Sistema integrado – SAF(b) [§]	Argissolo Vermelho Amarelo
		31° 37' 31,68" S 52° 31' 33,62" W	Sistema Anual	Feijão (em pousio)	Argissolo Vermelho Amarelo

*ETB: Estação Experimental Terras Baixas; EEC: Estação Experimental Cascata.

[§]SAF(a): sistema integrado localizado na porção superior do terreno; SAF(b): sistema integrado localizado na porção inferior do terreno.



Figura 1. Sistemas de uso do solo com vegetação nativa, localizados na Estação Experimental Terras Baixas (ETB), Capão do Leão-RS. (A) floresta de restinga, com influência fluvial e lacustre; (B) campo nativo; (C) campo nativo alagável, sujeito a inundação periódica, e área alagada amostrada (detalhe canto superior). Capão do Leão-RS, julho de 2016.



Figura 2. Sistemas de uso do solo com culturas anuais e vegetação perene, localizados na Estação Experimental Terras Baixas (ETB), Capão do Leão-RS. (A) cultivo anual de arroz irrigado (em pousio); (B) pastagem; (C) plantio florestal de *Eucalyptus* sp.; (D) cultura anual de soja (em pousio). Capão do Leão-RS, julho de 2016.



Fotos: (A, B e G) Herlon Nadony, (C) Talita Ferreira, (D) Alessandra Santos, (E e F) Willian Demétrio

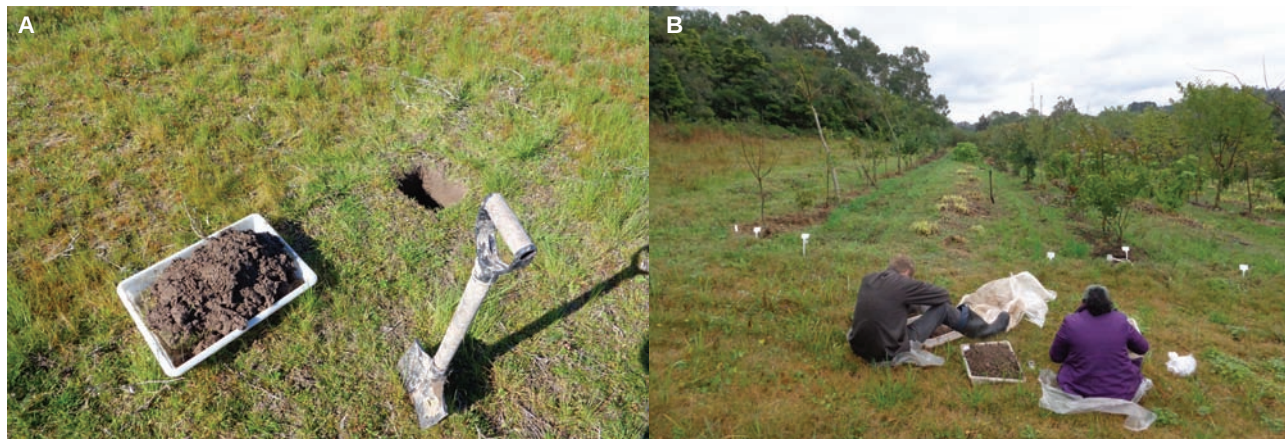
Figura 3. Sistemas de uso do solo com culturas perenes e vegetação nativa avaliados na sede da Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. (A) pomar de frutíferas nativas; (B) pomar de pêssgo; (C) lavoura anual de cana-de-açúcar; (D) floresta estacional semidecidual; (E) cultura anual de soja (em pousio); (F) campo nativo 1, com influência fluvial e lacustre; (G) campo nativo 2, com presença de arbustos e algumas espécies lenhosas. Pelotas-RS, julho de 2016.



Figura 4. Sistemas de uso do solo com culturas anuais, perenes e vegetação nativa selecionados na Estação Experimental Cascata (EEC), em Pelotas-RS. (A) frutíferas diversas; (B) sistema integrado (SAF incluindo frutíferas); (C) pastagem com influência fluvial e lacustre; (D) cultivo anual de feijão (em pousio); (E) Floresta Estacional Semidecidual. Pelotas-RS, julho de 2016.

Amostragem das minhocas e do solo

As populações de minhocas foram amostradas utilizando-se uma adaptação do método padrão desenvolvido pelo *Tropical Soil Biology and Fertility Programme* (TSBF) da Unesco (Figura 5), originalmente proposta por Anderson e Ingram (1993), mas adotada como padrão também pela ISO 23611-1 (ISO, 2017).



Fotos: Alessandra Santos

Figura 5. (A) Monólito de solo retirado do solo, usando o método TSBF modificado em área de cultura agrícola (soja) em pousio; (B) triagem manual do solo em campo (área de SAF na EEC).

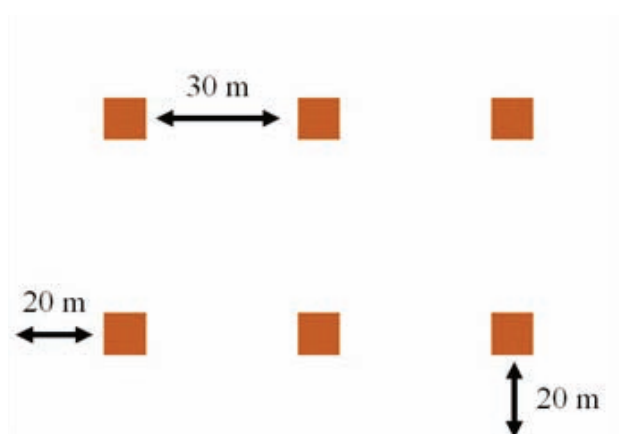


Figura 6. Esquema da distribuição das amostras para coleta de minhocas, adotado neste trabalho.

Em cada local, selecionou-se uma área de amostragem de aproximadamente 100 cm x 70 m, na qual retirou-se seis amostras (monólitos de TSBF), em dois transectos paralelos com 60 m de comprimento, separados 30 m entre si, respeitando-se 20 m de bordadura (Figura 6). Retirou-se seis monólitos, com dimensões de 25 cm x 25 cm, até 20 cm de profundidade (Figura 6), sendo divididos em duas camadas: serapilheira e solo (0–20 cm). A triagem do solo foi realizada em campo e as minhocas foram fixadas em álcool 99%. As mesmas foram quantificadas, pesadas em balança de precisão e identificadas em nível taxonômico de família, gênero ou espécie (quando possível), com auxílio de microscópio estereoscópico. Devido ao grande número de exemplares coletados, a identificação, em nível de espécie, ainda não foi possível para todos os exemplares; portanto, optou-se por apresentar os dados na forma de morfoespécies, conforme o caso. Após a identificação, calculou-se a abundância e biomassa das minhocas padronizada para número de indivíduos por m^{-2} (n° ind. m^{-2}), e peso fresco (com conteúdo intestinal) dos animais conservados em álcool, em $g\ m^{-2}$.

De cada monólito, de onde foram retiradas as minhocas, coletou-se amostras de solo para análise de granulometria (para obter a textura do solo), umidade do solo, química de rotina (pH em H_2O e SMP, Ca, Mg, K, P e Al trocáveis) e C e N totais. Além disso, ao lado de cada local de coleta dos monólitos, retirou-se amostras com anéis de metal, para avaliação da densidade aparente do solo. As análises químicas e físicas foram realizadas seguindo-se métodos padrões de rotina da Embrapa (Teixeira et al., 2018).

Cálculo do GISQ

A qualidade do solo nos sistemas de uso do solo (Tabela 1) foi avaliada por meio do indicador GISQ, conforme Velásquez et al. (2007), o qual utiliza as variáveis físicas (densidade aparente, umidade e granulometria), químicas (análise de rotina) e biológicas (abundância, biomassa e riqueza de minhocas). Usando-se esses atributos, é possível descrever os aspectos múltiplos de qualidade do solo, baseados em cálculos e análises multivariadas.

Esse indicador facilita a identificação de áreas com problemas na qualidade, mediante os valores individuais calculados para cada subindicador (químico, físico e biológico), permitindo também monitorar a mudança na qualidade ao longo do tempo e orientar a implementação de tecnologias para restaurar o solo e sua qualidade. Solos com valores de GISQ indicativos de 0,1 a 0,39 foram considerados solos de baixa qualidade; 0,4 a 0,69 de qualidade intermediária; e 0,7 a 1,0 de alta qualidade. Na ETB, a área de campo nativo alagável (Tabela 2) não foi incluída nos cálculos do GISQ, por não ter sido possível medir a densidade do solo saturado.

Todas as análises estatísticas (PCA e co-inércia) foram feitas usando-se o software R, com a biblioteca ade4 (R Core Team, 2013). Os pressupostos da Anova (homocedasticidade e normalidade) foram verificados e os dados transformados ($\log x$), quando necessário.

Análises estatísticas

As variáveis resposta avaliadas (física, química e biológica) foram submetidas à análise de normalidade de Shapiro-Wilk, e, por não apresentarem distribuição normal, buscou-se ajustar o modelo de distribuição na análise de modelos lineares generalizados (MLG). Entretanto, o MLG não foi capaz de ajustar um modelo de distribuição adequado aos dados. Sendo assim, utilizou-se a análise não paramétrica dos dados com o teste de Kruskal-Wallis.

Devido à grande disparidade entre os sistemas dentro de cada estação experimental (observada pelo alto desvio padrão das médias), as comparações apresentaram interação significativa entre os sistemas de uso e os locais de coleta, sendo comparadas separadamente.

Resultados

Atributos físicos e químicos do solo

Os solos de todas as áreas eram ácidos, com pH variando entre 4,58 (pastagem, ETB) e 6,32 (SAFa, EEC), mas com maiores valores na EEC que nos outros dois locais (Tabela 2). Maiores valores foram encontrados nas SAs (lavouras anuais) que nos SPs (pastagens, lavouras perenes) e VN (campo, floresta), devido à calagem para correção da acidez nos sistemas manejados. Não houve diferença entre os valores de cátions disponíveis (Al, Ca, K, Mg) entre as classes de sistemas de uso (SAs, SPs, VN) nas três áreas avaliadas (ETB, sede, EEC). Contudo, encontraram-se maiores valores de P disponível em alguns SAs (arroz e soja na ETB e soja na sede) e SPs (pastagem na ETB, e frutíferas e SAFs na EEC), provavelmente devido à adubação recente com fonte de P_2O_5 . Os teores de C total foram todos maiores nas florestas nativas nas três áreas, enquanto os de N total foram maiores nas florestas na ETB e na sede, mas não na EEC. Já os campos nativos não obtiveram maiores valores desses elementos que as áreas manejadas na ETB e na sede (Tabela 2). A densidade aparente foi menor nas florestas nativas que nos demais sistemas de uso nas três bases físicas avaliadas. Os teores de areia nos solos das florestas na ETB e na sede foram maiores e menores que nos outros sistemas de uso do solo em cada local, respectivamente. Na EEC, os teores de areia foram menores na pastagem e na floresta nativa que nos demais sistemas de uso. As áreas de campo nativo, sujeitas à inundação na ETB, obtiveram maiores teores de umidade no solo que os demais sistemas de uso. Na sede, a floresta e o campo nativo em pousio tiveram teores de umidade maiores que os demais sistemas de uso.

Já na EEC, a floresta nativa e as frutíferas apresentaram teores de umidade ligeiramente menores que os demais sistemas de uso.

Usando-se o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos e a classe textural simples (agrupada), do Manual da Embrapa (Santos et al., 2018), os solos das áreas avaliadas na ETB foram classificados (Tabela 1) principalmente como Planossolos Háplicos de textura média. Contudo, a floresta nativa da ETB continha um Espodossolo com textura arenosa, e o campo nativo alagável um Gleissolo Háplico de textura média e drenagem limitada, sujeito à inundação nos meses mais chuvosos. Todos estavam em áreas planas, de pouca declividade. Na sede, todos os solos possuíam textura média, e os solos da VN eram Gleissolos Háplicos (floresta e campo nativo em pousio) e Argissolo Vermelho Amarelo (campo nativo 2), enquanto os solos das áreas manejadas eram todos Argissolos Vermelho Amarelos e um Planossolo Háplico (soja). Na EEC, todos os solos também tinham textura média, com baixos teores de argila e foram classificados como Argissolos Vermelho Amarelos e um Gleissolo Háplico (pastagem) (Tabela 1).

Abundância e biomassa de minhocas

No total, foram encontradas 15 espécies de minhocas nas áreas avaliadas, pertencentes a seis famílias (Tabela 3, Figura 7). Entre elas predominaram morfoespécies das famílias Ocnerodrilidae (8 espécies) e Glossoscolecidae (2 espécies de *Glossoscolex*). As únicas minhocas exóticas coletadas foram das famílias Megascolecidae – *Amyntas corticis* (Kinberg, 1867) e *A. gracilis* (Kinberg, 1867) – e Lumbricidae – *Bimastos parvus* (Eisen, 1874) – encontradas apenas na EEC. As espécies coletadas na ETB e na sede eram todas nativas. A maior riqueza de minhocas foi observada na VN na ETB, com 7 morfoespécies, e a menor no SA na EEC, com apenas 1 morfoespécie (Tabela 3). No geral, os SPs apresentaram maior riqueza, com média de 5 morfoespécies. O sistema de uso mais rico em espécies foi a pastagem na EEC (6 espécies), seguido da pastagem e campo nativo na ETB e o SAF (a) na EEC (5 espécies; Tabela 4). As lavouras de soja, feijão, arroz e cana-de-açúcar tiveram baixa riqueza (1-2 espécies), mas as florestas nativas também tiveram menor riqueza do que o esperado para esse tipo de vegetação (1-3 espécies).

A densidade ($\text{n}^\circ \text{ ind. m}^{-2}$) de minhocas apresentou grande variação entre os locais estudados, sendo maior nas áreas com SAs na ETB e na sede, com média de 516 e 269 minhocas m^{-2} , respectivamente, sendo significativamente diferentes do sistema anual na EEC (13 ind. m^{-2}) (Figura 8). Houve interação significativa entre os fatores local x sistemas de uso para a densidade de minhocas. Assim como nos SAs, a abundância observada nos SPs também apresentou diferenças entre os locais, com populações maiores na EEC (119 ind. m^{-2}) e menores na ETB (8 ind. m^{-2}). A VN não apresentou diferenças significativas para a densidade de minhocas entre os três locais estudados (Figura 8).

A densidade ($\text{n}^\circ \text{ ind. m}^{-2}$) de minhocas, por sistema de uso, também apresentou grande variação. Os maiores valores foram observados na soja na ETB (1.333 ind. m^{-2}), seguida da pastagem na EEC (237 ind. m^{-2}) e soja na sede (269 ind. m^{-2}) (Tabela 4). Na ETB, a abundância de minhocas foi superior no SA, comparado ao SP (Figura 8). Na sede, o SA também apresentou os maiores valores de densidade, comparado aos outros dois sistemas avaliados. Porém, não foram observadas diferenças na abundância entre os sistemas de uso do solo na EEC.

Tabela 2. Características químicas e físicas do solo das áreas avaliadas nas três bases físicas da Embrapa Clima Temperado (sede, ETB e ECC).

Localidade	Sistema de uso do solo	Atributos químicos								Atributos físicos				
		pH H ₂ O	Al	K	Ca	Mg	P	N	C	DAP	Umidade	Argila	Silte	Areia
		(1:1)	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	-----	mg dm ⁻³	-- g Kg ⁻¹	--	g cm ⁻³	-----	----- %	-----	-----
ETB	Floresta de restinga	5,10	0,16	0,10	2,58	0,90	3,47	5,01	56,44	0,87	9,7	8,5	11,9	79,6
	Campo nativo alagável	4,97	1,07	0,14	2,02	1,58	3,15	4,96	58,87	-	43,1	22,6	13,6	63,8
	Campo nativo	5,27	1,43	0,07	0,87	0,70	3,10	0,84	18,44	1,36	15,4	14,9	26,3	58,8
	Pastagem/Azevém	4,58	1,24	0,10	1,48	1,05	16,75	1,03	18,70	1,52	9,2	16,9	40,5	42,6
	Plantio de <i>Eucalyptus</i>	5,01	0,90	0,07	1,23	0,92	3,42	0,78	18,08	1,32	9,9	12,0	36,1	51,9
	Soja (em pousio)	5,61	0,15	0,08	2,05	0,97	21,93	0,16	11,97	1,67	6,9	12,0	37,4	50,6
	Arroz (em pousio)	5,17	0,60	0,11	1,45	0,67	20,15	1,00	17,53	1,63	9,0	15,3	27,7	57,0
Sede	Floresta estacional semidecidual	5,35	0,42	0,12	2,07	0,92	6,95	2,99	51,29	0,85	23,1	15,3	27,0	57,7
	Campo nativo (pousio)	5,64	0,31	0,07	1,85	0,95	26,18	1,83	17,33	1,38	14,6	13,4	21,5	65,1
	Campo nativo 2	4,95	1,49	0,12	0,60	0,47	2,20	1,59	21,40	1,23	9,9	19,4	19,8	60,8
	Frutífera (pêssego)	5,36	0,40	0,28	1,97	0,90	2,20	1,80	16,47	1,61	7,5	21,4	17,4	61,2
	Frutíferas nativas	5,13	0,88	0,13	0,93	0,52	2,20	1,92	17,45	1,42	9,5	17,4	17,1	65,5
	Soja (em pousio)	5,77	0,05	0,07	2,07	1,20	15,33	1,72	15,30	1,55	9,5	12,8	23,2	64,0
	Cana	5,60	0,45	0,10	1,60	0,67	3,77	1,14	14,35	1,77	7,8	22,1	17,0	60,9
EEC	Floresta Estacional Semidecidual	5,17	0,71	0,14	2,18	1,10	2,20	0,80	28,44	1,14	10,1	20,0	29,2	50,8
	Pastagem	5,89	0,06	0,08	2,40	0,88	5,42	1,89	21,92	1,50	13,6	17,0	33,4	49,6
	Frutíferas diversas	5,65	0,00	0,16	2,67	1,42	6,55	2,08	19,20	1,37	10,2	22,5	20,0	57,5
	Sistema integrado – SAF (a)	6,32	0,00	0,31	3,05	1,37	7,68	2,15	22,37	1,43	14,2	17,8	20,4	61,8
	Sistema integrado – SAF (b)	6,17	0,00	0,17	2,87	1,27	14,65	2,08	20,52	1,61	11,0	16,9	22,7	60,4
	Feijão (em pousio)	5,93	0,00	0,19	2,88	1,25	3,48	2,17	21,92	1,60	13,7	20,7	25,6	53,7

DAP: densidade aparente do solo



Fotos: (A) Herlon Naddiny, (B) Alessandra Santos, (C) Willian Demétrio, (D e F) Marie Bartz, (E) George Brown

Figura 7. Famílias de minhocas encontradas nas áreas experimentais estudadas: (A) Criodrilidae: espécie de minhoca “quadrada” adaptada a solos alagados e de baixa permeabilidade, coletada na lavoura de arroz e campo nativo alagável da ETB; (B) Glossoscolecidae: *Glossoscolex* sp.2, coletada em campo nativo da ETB e EEC; (C) Megascolecidae: exemplares de *Amyntas gracilis*; (D) Ocnerodrilidae; (E) Lumbricidae; (F) Rhinodrilidae: exemplar da espécie epiendogeica *Urobenus brasiliensis* (Benham, 1886).

Tabela 3. Famílias e espécies de minhocas coletadas nas três bases físicas da Embrapa Clima Temperado (ETB, sede e EEC), em três sistemas de uso do solo (vegetação nativa, sistema anual e sistema perene).

Minhocas e sua origem Famílias e morfoespécies	ETB			Sede			EEC		
	Vegetação nativa	Sistema anual	Sistema perene	Vegetação nativa	Sistema anual	Sistema perene	Vegetação nativa	Sistema anual	Sistema perene
Nativas									
Ocnerodrilidae									
Ocnerodrilidae sp.1	X								
Ocnerodrilidae sp.2	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ocnerodrilidae sp.3	X	X	X						X
Ocnerodrilidae sp.4	X		X						
Ocnerodrilidae sp.5	X								
Ocnerodrilidae sp.6				X					X
Ocnerodrilidae sp.7						X			
Ocnerodrilidae sp.8						X			
Criodrilidae	X	X							
Glossoscolecidae					X				X
Glossoscolex sp.1			X						
Glossoscolex sp.2	X		X	X		X			
Rhinodrilidae									
Urobenus brasiliensis				X	X	X			X
Exóticas									
Lumbricidae									
Bimastos parvus									X
Megascolecidae (duas espécies)*							X		X
Nº espécies nativas	7	3	5	4	3	5	1	1	5
Nº espécies exóticas	0	0	0	0	0	0	1-2	0	2-3
Riqueza total	7	3	5	4	3	5	2-3	1	7-8

* Embora alguns indivíduos dessa família não tenham sido identificados (exemplares juvenis), sabe-se que pertencem a duas espécies diferentes: *Amyntas corticis* e *Amyntas gracilis*.

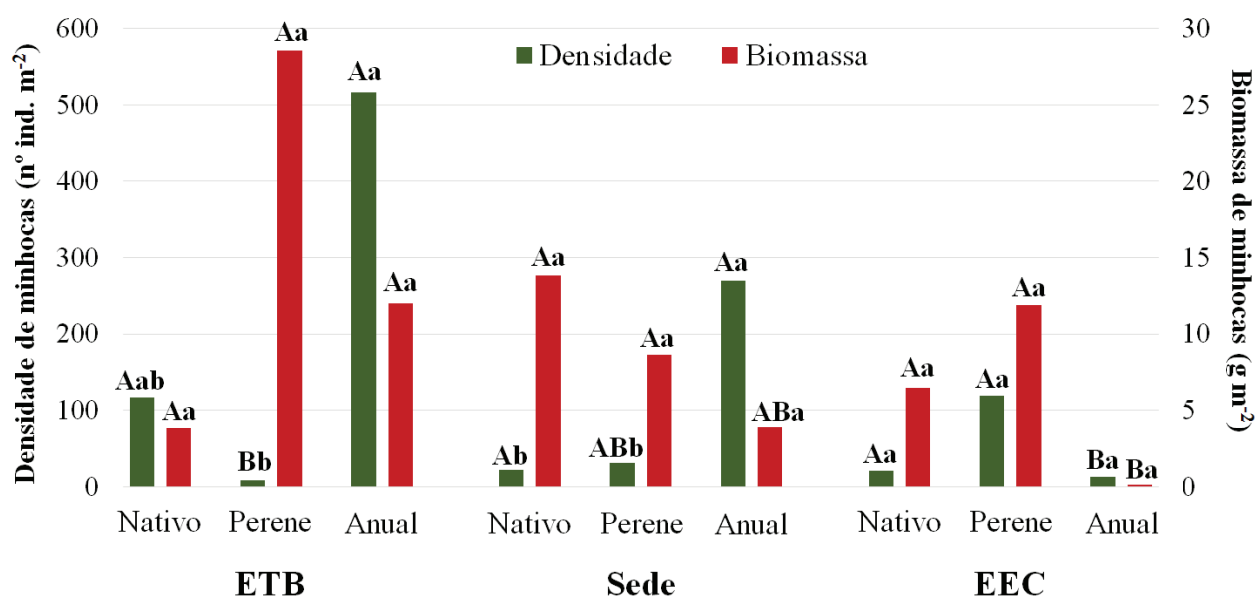


Figura 8. Densidade (nº ind. m⁻²) e biomassa (g m⁻²) média de minhocas nas três bases físicas da Embrapa Clima Temperado (ETB, sede, EEC) e em três sistemas de uso: vegetação nativa (VN), sistema de produção perene e anual.

***Letras maiúsculas comparam cada um dos sistemas entre os diferentes locais e letras minúsculas comparam os três sistemas de uso dentro de cada local.**

A biomassa das minhocas variou de 0,1 a 28,6 g m⁻² (Tabela 4), e os SAs da ETB (12 g m⁻²) apresentaram diferença significativa, comparados à EEC (0,1 g m⁻²) (Figura 8). Embora tenha sido observada alta variabilidade da biomassa de minhocas entre locais e entre os sistemas em cada local, esses não apresentaram outras diferenças significativas.

A abundância das minhocas se correlacionou alta e significativamente ($r_s = 0,83$) com sua biomassa (Tabela 5), apesar de várias áreas da ETB obterem número significativo de pequenas minhocas de baixa biomassa individual, pertencentes à família Ocnerodrilidae (Figura 7D). A riqueza de morfoespécies também esteve altamente correlacionada com a abundância ($r_s = 0,88$), indicando que, quando houve maior número de indivíduos, também houve maior probabilidade de se encontrar maior número de morfoespécies de minhocas. Quanto aos atributos edáficos, a abundância de minhocas não apresentou correlação significativa com o pH nem com os teores de Al, N e argila. Contudo, observou-se correlação significativa, mas com baixos valores, entre a abundância e o pH (SMP), e os teores de Ca, Mg, K e P disponíveis, C total, silte e areia e a densidade aparente (Tabela 5). A biomassa esteve correlacionada apenas com o P, C e o silte, e a riqueza das minhocas com o P e C (Tabela 5).

GISQ nas áreas avaliadas

ETB

Na ETB, o subindicador relacionado às características físicas do solo comumente apresentou menores valores, quando comparado aos subindicadores biológicos e químicos em toda as áreas avaliadas. Entretanto, foi observada alta variabilidade desse subindicador, com os menores valores para a floresta nativa (0,18) e os maiores para as áreas de arroz e campo nativo, com 0,45 e 0,44, respectivamente (Tabela 6).

Para o subindicador biológico, apenas duas áreas foram classificadas com baixa qualidade biológica: a floresta nativa (0,3) e o eucalipto (0,2). As áreas classificadas com maior qualidade biológica foram pastagem, cultura de soja e campo nativo (0,8; 0,9; 0,8; respectivamente) (Tabela 6).

Tabela 4. Riqueza (nº de espécies), densidade (nº ind. m⁻²), biomassa total (peso fresco em álcool 99%, em g m⁻²) e biomassa média individual (g) de minhocas coletadas nos diversos sistemas de uso do solo, nas três bases físicas da Embrapa Clima Temperado (ETB, sede e EEC).

Local	Sistema de uso do solo	Densidade (nº ind. m ⁻²)	Biomassa (g m ⁻²)	Biomassa individual (g)	Riqueza (nº espécies)
ETB	Floresta de restinga	3	0,09	0,03	1
	Campo nativo alagável	149	3,34	0,02	3
	Campo nativo	197	8,20	0,04	5
	Pastagem/Azevém	195	6,08	0,03	5
	Plantio de <i>Eucalyptus</i>	8	28,55	3,57	1
	Soja (em pousio)	1333	25,46	0,02	2
	Arroz (em pousio)	21	4,56	0,21	1
Sede	Floresta estacional semidecidual	27	2,97	0,11	2
	Campo nativo (pousio)	35	36,20	1,03	3
	Campo nativo 2	5	2,31	0,20	2
	Frutífera (pêssego)	53	15,63	0,29	3
	Frutíferas nativas	27	10,09	0,10	3
	Soja (em pousio)	269	3,93	0,01	1
	Cana-de-açúcar	13	0,16	0,01	1
EEC	Floresta estacional semidecidual	21	6,50	0,31	2-3
	Pastagem	237	9,25	0,04	6
	Frutíferas diversas	37	2,23	0,06	4
	Sistema integrado – SAF(a)	192	35,70	0,19	5
	Sistema integrado – SAF(b)	11	0,47	0,04	3
	Feijão (em pousio)	13	0,11	<0,01	1

Para o subindicador de características químicas, as áreas de pastagem, arroz, campo nativo e eucalipto foram classificadas como baixa qualidade química (0,37; 0,36; 0,34; 0,31; respectivamente). As áreas de floresta e soja foram as que obtiveram maior qualidade química, com classificação intermediária (0,6 e 0,5; respectivamente) (Tabela 6).

O GISQ classificou a pastagem (0,7), soja (0,7) e campo nativo (0,5) como tendo qualidade do solo intermediária. A floresta e o eucalipto apresentaram baixa qualidade geral, com valores de 0,3 e 0,2 respectivamente (Tabela 6).

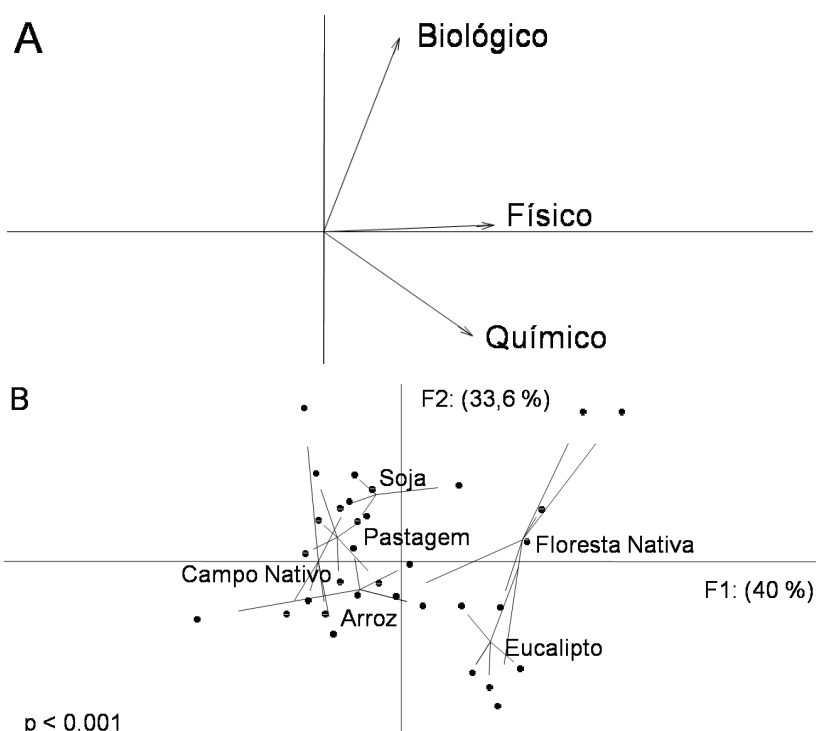
A Análise de Componentes Principais (ACP) foi capaz de discriminar significativamente ($p < 0,001$) os sistemas de uso do solo de acordo com os três subindicadores obtidos na ETB (Figura 9). O componente principal 1 (F1, 40 %) separou a floresta e o eucalipto dos demais sistemas, com base nos maiores valores obtidos para os subindicadores físicos e químicos nessas áreas. O componente principal 2 (F2) explicou 33,6% da variabilidade e foi relacionado ao subindicador biológico, separando principalmente as áreas de soja e pastagem, que atingiram maiores valores desse subindicador.

Tabela 5. Correlações de Spearman (r_s) entre os atributos biológicos (abundância, biomassa e riqueza de morfoespécies de minhocas) e as variáveis químicas e físicas do solo avaliadas, usando-se dados de todos os sistemas de uso nas três bases físicas da Embrapa Clima Temperado (ETB, sede, EEC). Os símbolos * e ** representam valores significativos a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Variáveis	Biomassa	Riqueza	pH _{SMP}	Ca	Mg	K	P	C	DAP	Silte	Areia
Abundância	0,83**	0,88**	0,23**	0,20*	0,23*	-0,20*	0,35**	-0,31**	0,20*	0,29**	-0,29**
Biomassa		0,88**	ns	ns	ns	ns	0,24**	-0,21*	ns	0,19*	ns
Riqueza			ns	ns	ns	ns	0,27**	-0,21*	ns	ns	ns

Tabela 6. Valores médios dos subindicadores e do Indicador Geral de Qualidade do Solo (GISQ) em sistemas de uso do solo na Estação Experimental Terras Baixas (ETB), Capão do Leão-RS.

Sistema de uso do solo	Subindicadores			GISQ
	Biológico	Físico	Químico	
Floresta nativa	0,32	0,18	0,58	0,3
Campo nativo	0,80	0,44	0,34	0,7
Pastagem	0,82	0,38	0,37	0,7
Eucalipto	0,22	0,23	0,31	0,2
Soja (em pousio)	0,90	0,28	0,50	0,7
Arroz (em pousio)	0,48	0,45	0,36	0,5

**Figura 9.** Projeção das áreas em espaço fatorial pela análise de componentes principais (ACP) dos subindicadores físicos, químicos e biológicos nos sistemas de uso do solo na Estação Experimental Terras Baixas: (A) correlação dos subindicadores com os componentes principais 1 e 2 da ACP; (B) projeção das áreas no plano definido pelos fatores 1 e 2.

Sede

Na sede da Embrapa Clima Temperado, o subindicador físico apresentou valores mais elevados, quando comparado com a ETB (Tabela 7). Todas as áreas estudadas foram classificadas em média ou alta qualidade física. As áreas de soja, campo nativo (pousio) e floresta apresentaram maiores valores de qualidade física (0,75; 0,73; 0,7; respectivamente). As demais áreas foram classificadas com qualidade média, sendo cana-de-açúcar (0,64), frutíferas nativas, pêssego e campo nativo 2 (média de 0,6).

Tabela 7. Valores médios dos subindicadores e do GISQ em diferentes sistemas de uso do solo na sede da Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS.

Sistema de uso do solo	Subindicadores			GISQ
	Biológico	Físico	Químico	
Floresta nativa	0,33	0,70	0,35	0,4
Campo nativo (pousio)	0,28	0,73	0,30	0,3
Campo nativo 2	0,21	0,57	0,18	0,3
Frutífera (pêssego)	0,37	0,60	0,36	0,5
Frutíferas nativas	0,44	0,61	0,19	0,4
Soja (em pousio)	0,79	0,75	0,33	0,6
Cana-de-açúcar	0,26	0,64	0,25	0,3

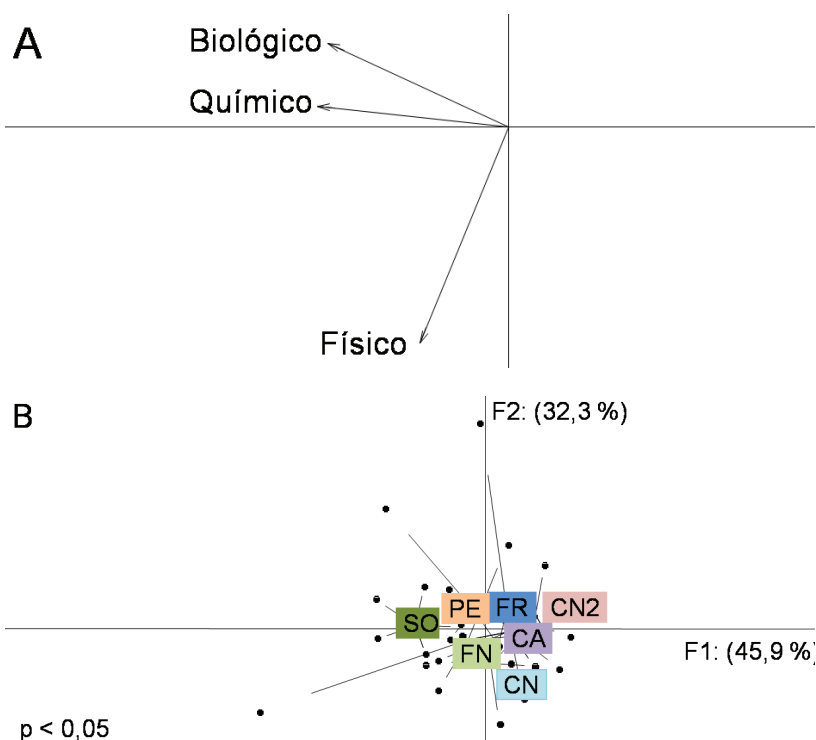


Figura 10. Projeção das áreas em espaço fatorial pela análise de componentes principais (ACP) dos subindicadores físicos, químicos e biológicos, em diferentes sistemas de uso na sede da Embrapa Clima Temperado: (A) correlação dos subindicadores com os componentes principais 1 e 2 da ACP; (B) projeção das áreas no plano definido pelos fatores 1 e 2.

CN: campo nativo (pousio); CN2: campo nativo 2; FN: floresta nativa; SO: soja (em pousio); FR: frutíferas nativas; CA: cana-de-açúcar; PE: pomar de pêssego.

Para o subindicador biológico, a área de soja obteve o maior valor de qualidade (0,79), sendo a área com frutíferas nativas classificada como intermediária (0,44), e as demais áreas como tendo baixa qualidade biológica, com valores entre 0,1 e 0,37 (Tabela 7).

O subindicador de qualidade química do solo foi classificado como baixo para todas as áreas avaliadas, com valores entre 0,1 e 0,4 (Tabela 7). Considerando-se o valor final do GISQ, a área com soja apresentou maior qualidade geral (0,6), seguida da área cultivada com frutíferas (0,5). As áreas de campo nativo e a cana-de-açúcar obtiveram baixo valor de qualidade do solo geral, enquanto as demais áreas apresentaram valores intermediários de qualidade do solo (Tabela 7).

A ACP separou significativamente ($p < 0,05$) os sistemas de uso do solo, de acordo com os subindicadores físicos, químicos e biológicos (Figura 10). O F1 (45,9%) agrupou cana-de-açúcar, campo nativo e campo nativo 2, com base nos menores valores obtidos para os subindicadores químico e biológico. O F2 explicou 32,3% da variabilidade dos dados, e foi relacionado ao subindicador físico, separando principalmente campo nativo (pousio) e mata nativa dos outros sistemas, por apresentarem os maiores valores para esse subindicador.

EEC

Na EEC, a área de SAF(b) foi classificada com maior qualidade física (0,7), seguida por SAF(a) e o pomar (ambos com 0,68) e o feijão (0,66; Tabela 8). As áreas sob pastagem e mata nativa apresentaram os menores valores para esse indicador, sendo 0,44 e 0,39, respectivamente. Todos os sistemas de uso, menos a floresta, foram classificados como tendo valores intermediários de qualidade física.

Tabela 8. Valores médios dos subindicadores e do GISQ em diferentes sistemas de uso do solo na Estação Experimental Cascata, Pelotas-RS.

Sistema	Subindicadores			GISQ
	Biológico	Físico	Químico	
Floresta nativa	0,17	0,39	0,47	0,4
Pastagem	0,68	0,44	0,45	0,7
Frutíferas	0,41	0,68	0,62	0,5
SAF(a)	0,48	0,68	0,62	0,7
SAF(b)	0,32	0,70	0,68	0,4
Feijão (em pousio)	0,31	0,66	0,58	0,4

Considerando-se o subindicador biológico, a área sob pastagem apresentou maior qualidade, sendo classificada como mediana (0,68). Os demais sistemas de uso tiveram valores medianos a baixos, com a floresta apresentando o menor valor para esse subindicador (0,17) (Tabela 8).

Todas as áreas da EEC foram classificadas como intermediárias no subindicador químico, entre as quais o SAF (b) foi o que obteve o maior valor para esse subindicador (0,68). Para os valores do GISQ, todos os sistemas de uso apresentaram valores medianos de qualidade, com a pastagem e o SAF (a) tendo maior qualidade geral do solo, (ambos com 0,7) que os demais sistemas (Tabela 8).

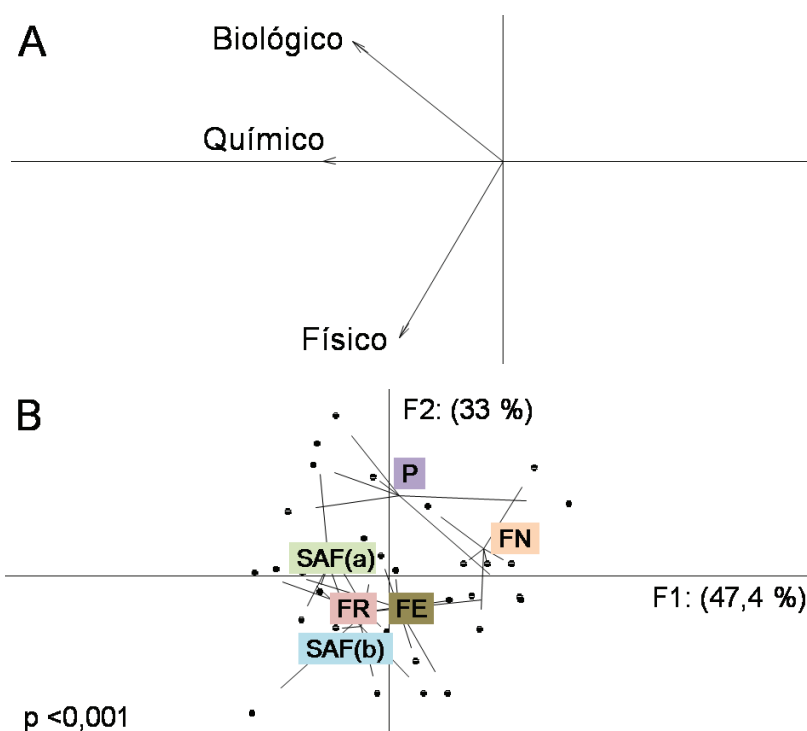


Figura 11. Projeção das áreas em espaço fatorial pela análise de componentes principais (ACP) dos subindicadores físicos, químicos e biológicos em diferentes sistemas de uso na Estação Experimental Cascata: (A) correlação dos subindicadores com os componentes principais 1 e 2 da ACP; (B) projeção das áreas no plano definido pelos fatores 1 e 2. P: pastagem, FE: feijão (em pousio); FN: floresta nativa; FR: frutíferas; SAF(a) e SAF(b): sistemas integrados com frutíferas.

AACP separou significativamente ($p < 0,001$) os sistemas de uso do solo de acordo com os três subindicadores (Figura 11). O F1 (47,4%) separou os sistemas com relação aos subindicadores químico e biológico. Os

sistemas SAF(a) e (b) e pomar de frutíferas foram separados dos demais sistemas, por apresentarem maiores valores dos subindicadores químico e biológico. O F2 (33%) relacionou-se ao subindicador físico, separando as áreas com frutíferas, feijão e os SAFs (a) e (b) dos demais sistemas por possuírem maior qualidade física.

Discussão

Populações de minhocas

Devido ao seu comportamento geófago e/ou detritívoro e à sua baixa mobilidade, as minhocas apresentam altas taxas de endemismo, com muitas espécies de distribuição geográfica restrita (Lavelle; Lapied, 2003). Das 15 espécies coletadas nas áreas da Embrapa Clima Temperado, a maior parte não havia sido reportada anteriormente; apenas seis provavelmente já foram coletadas anteriormente no Rio Grande do Sul (Brown; James, 2007; Lima; Rodríguez, 2007; Steffen, 2012; Steffen et al., 2018).

As minhocas são altamente dependentes das condições bióticas e abióticas do solo (Brown; Domínguez, 2010), sendo normalmente muito sensíveis a mudanças nos sistemas de uso do solo. As espécies nativas tendem a ser negativamente afetadas pela perturbação antrópica, enquanto as espécies exóticas são frequentemente dominantes em ambientes antrópicos, devido à maior resistência à perturbação (Brown et al., 2006). Mas a riqueza de espécies de minhocas em um determinado local pode ser bastante variável, sendo geralmente maior em sistemas perenes (SPs) e em vegetação nativa (VN) do que em sistemas agrícolas anuais (SAs), devido à perturbação mais intensa nesses últimos (Fragoso et al., 1997; 1999). Contudo, observou-se número muito maior de espécies nativas que exóticas, inclusive em áreas perturbadas nas três bases físicas da Embrapa Clima Temperado. Porém, as lavouras anuais tiveram menor riqueza de espécies (1-2 espécies), enquanto as áreas com floresta e campo nativo obtiveram 1-5 espécies, os sistemas com frutíferas de 3-5 espécies e as pastagens de 5-6 espécies, confirmando o papel dos sistemas menos perturbados em preservar as comunidades de minhocas, particularmente as espécies nativas. Os SPs obtiveram maior riqueza de espécies que a VN, devido à presença de espécies exóticas (Megascolecidae) nas áreas de SP da EEC. Normalmente, se observa maior riqueza em VN que em SPs no Rio Grande do Sul (Steffen et al., 2018), particularmente de espécies nativas. Não obstante, os níveis de riqueza observados para as áreas com SAs, SPs e VN estão dentro do esperado e encontrado, em estudos sobre a diversidade de minhocas, em lavouras anuais (0-8 espécies), lavouras perenes (0-3 espécies), pastagens (1-9 espécies), florestas nativas (0-8 espécies), plantios florestais de *Eucalyptus* sp. (2-4 espécies) e campos nativos (2-6 espécies) na região Sul e Sudeste do Brasil (Tabela 9).

Curiosamente, as espécies coletadas tanto na ETB quanto na sede (total de 12 espécies) eram, aparentemente, todas nativas, mesmo nos sistemas de uso intensivo das lavouras agrícolas anuais, com aplicação de agrotóxicos e preparo mecânico do solo. Grande parte das espécies encontradas na ETB eram de tamanho pequeno, pertencentes à família Ocnerodrilidae, conhecida por ser mais resistente ao manejo intensivo do solo (Bartz et al., 2009a). Embora muitas espécies exóticas da família Ocnerodrilidae ocorram no Brasil (Brown et al., 2006), especialmente em solos com baixa permeabilidade (Brown; James, 2007), a maioria das espécies encontradas neste estudo provavelmente são nativas (Tabela 4). Contudo, a identificação em nível específico ainda não foi finalizada, devido ao grande número de exemplares para se dissecar. Portanto, é possível que ainda se encontre alguma espécie exótica dessa família dentre os exemplares coletados, já que várias são conhecidas da região Sul (Brown; James, 2007), principalmente de áreas de produção de arroz e de áreas alagadas (Lima; Rodríguez, 2007; Steffen, 2012; Steffen et al., 2018). Das oito espécies observadas dessa família, quatro foram encontradas em apenas um local (espécies 1, 5, 7 e 8), e provavelmente possuem distribuição mais restrita. Uma delas (sp. 2) foi encontrada em todas as bases físicas avaliadas da Embrapa Clima Temperado, sendo provavelmente de mais ampla distribuição. Algumas dessas minhocas têm sido erroneamente consideradas pragas em arrozais (Bartz et al., 2009a), devido à sua atividade bioturbadora, produzindo coprólitos na superfície do solo, que podem enfraquecer o sistema radicular e o colmo, levando ao tombamento da planta do arroz (Barrigossi et al., 2009). Contudo, não há evidência de danos diretos dessas

minhocas às plantas (Bartz et al., 2009a), apesar desse comportamento ainda não ter sido adequadamente avaliado no Brasil.

Todas as minhocas da família Glossoscolecidae, com ampla ocorrência na América do Sul (Fragoso; Brown, 2007), são nativas no Brasil, e as duas espécies de *Glossoscolex* encontradas neste trabalho provavelmente são novas para a ciência. Nos últimos anos, grande número de espécies novas foram encontradas (e algumas já foram descritas) em amostragens no Rio Grande do Sul (Brown; James, 2007; Lima; Rodríguez, 2007; Bartz et al., 2018; Steffen et al., 2018), e é bem provável que várias das Ocnerodrilidae coletadas (além das duas *Glossoscolex*), sejam espécies novas, que ainda precisarão ser descritas formalmente. Infelizmente, pouco se sabe, ainda, acerca do comportamento e efeitos desses animais sobre o solo, e mais pesquisa é necessária para determinar sua importância para os processos edáficos, nos sistemas de uso do solo.

Tabela 9. Riqueza e abundância (nº ind. m⁻²) de minhocas coletadas em sistemas de culturas agrícolas anuais, em sistemas perenes (agroflorestais, plantios de *Eucalyptus* e frutíferas, pastagens), e em vegetação nativa (floresta e campo), em diversos locais na região Sul e Sudeste do Brasil (dados extraídos de vários autores).

Sistema de uso do solo	Localidade (Município, Estado)	Riqueza (nº espécies)	Abundância (nº ind. m ²)*	Referências ^s
Sistemas Anuais				
Culturas agrícolas	Arapongas e Rolândia, PR	3-6	0-24	6
	Entre Rios do Oeste, Itaipulândia, Mercedes, Marechal Cândido Rondon, Santa Helena, Toledo, PR	1-6	5-605	4
	Entre Rios do Oeste, Itaipulândia, Mercedes, Marechal Cândido Rondon, Santa Helena, Toledo, PR	0-6	0-715	14
	Jaguapitã, PR	3-5	0-29	16
	Londrina, PR	6	315	1
	Lapa, PR	1	4	13, 19
	Chapecó, São Miguel do Oeste, Xanxerê, SC	4	10	5
	Santa Teresinha do Salto, Otacílio Costa, Campo Belo do Sul, SC	8	70	5
Sistemas Perenes				
SAFs	Antonina, PR	2-4	71-338	18
	Adrianópolis, PR; Barra do Turvo, SP	2-3	96-450	7
	Bocaina de Minas, MG	1-3	3-136	9, 10
Frutíferas	Londrina, PR	1-2	0-600	3
	Londrina, PR	2	0-9	6
	Alagoa, MG	2	8	9, 10
	Araponga, MG	0-3	0-99	21
	São Sebastião do Paraíso, MG	1	3-309	17
Plantio de <i>Eucalyptus</i> sp.	Colombo, PR	2-4	20-428	15
	Chapecó, São Miguel do Oeste, Xanxerê, SC	4	6	5
	Santa Teresinha do Salto, Lages, Campo Belo do Sul, SC	4	7	5
Pastagens	Antonina, PR	1-3	15-117	18
	Jaguapitã, PR	6-9	0-739	16
	Londrina, PR	3	46	1
	Londrina, PR	7	84-205	6
	Santa Teresinha do Salto, Otacílio Costa, Campo Belo do Sul, SC	5	11	5
	Chapecó, São Miguel do Oeste e Xanxerê, SC	5	33	5
	Bocaina de Minas, MG	3	229-339	9, 10
Vegetação Nativa				
Floresta nativa	Antonina, Campina Grande do Sul, PR	2-4	0-43	11
	Antonina, Guaraqueçaba, Paranaguá, PR	0-4	0-246	18
	Arapongas, PR	5	2-28	6
	Colombo, PR	6	33	12
	Entre Rios do Oeste, Itaipulândia, Mercedes, Marechal Cândido Rondon, Santa Helena, Toledo, PR	1-4	10-275	4
	Jaguapitã, PR	2	3-13	16
	Lapa, PR	4	4	13, 19

continua...

continuação Tabela 9

Sistema de uso do solo	Localidade (Município, Estado)	Riqueza (nº espécies)	Abundância (nº ind. m ²)*	Referências [§]
	Londrina, PR	8	264	1
	Londrina, PR	2	4-18	3
	Chapecó, São Miguel do Oeste, Xanxerê, SC	3	6	5
	Santa Teresinha do Salto, Otacílio Costa, Campo Belo do Sul, SC	5	7	5
	Pelotas, RS	3-4	6-8	20
	Barra do Turvo, SP	2-3	36-715	7
	Campos do Jordão, SP	3	6	2
	Guapimirim, Duque de Caxias-RJ	1	22-48	8
	Araponga, MG	1-2	48-326	21
	Bocaina de Minas, MG	3	16	9, 10
Campo nativo	Campina Grande do Sul, PR	3-5	3-47	11
	Lapa, PR	3-6	14	13, 19
	Campos do Jordão, SP	2	0-16	2

*Valor médio e intervalo de médias da densidade por local, ou média e intervalo de vários locais, quando coletadas amostras em diferentes locais.

[§]Numeração das referências: 1. Azevedo et al. (2010); 2. Baretta et al. (2007); 3. Bartz et al. (2009b); 4. Bartz et al. (2013); 5. Bartz et al. (2014a); 6. Bartz et al. (2014b); 7. Brown et al. (1999); 8. Buch et al. (2015); 9. Camargo (2016); 10. Camargo et al. (2017); 11. Cardoso et al. (2014); 12. Silva et al. (2019); 13. Demetrio et al. (2018); 14. Gorte (2016); 15. Maschio et al. (2014); 16. Nunes et al. (2006); 17. Ricci et al. (1999); 18. Römcke et al. (2009); 19. Santos et al. (2018b); 20. Schiavon et al. (2009); 21. Souza (2010).

A única espécie da família Rhinodrilidae, *U. brasiliensis* (Figura 7E) foi encontrada na sede e na ETB. É uma minhoca com hábito mais epigeico, mas às vezes pode ser encontrada no perfil de solos ricos em matéria orgânica. Pouco se sabe do ciclo de vida dessa minhoca, bem como dos seus efeitos sobre o solo, apesar de ter sido encontrada várias vezes em áreas de produção agrícola e em pastagens na região Sul do Brasil (Bartz et al., 2011; Steffen et al., 2018). Foi descrita em 1887, e está amplamente distribuída no país (Brown; James, 2007), mas também possui diversidade críptica (Silva et al., 2017), com morfoespécies geneticamente inseparáveis morfologicamente. Portanto, a análise genética poderá identificar à qual linhagem dessa espécie se encaixam os exemplares coletados neste estudo.

A minhoca “quadrada”, da família Criodrilidae, encontrada na ETB (Figura 7A), provavelmente seja a espécie *Guarani camaqua* Rodríguez & Lima, 2007, de exemplares coletados em arrozais na região de Camaquã, RS, próximo a Pelotas (Lima; Rodríguez, 2007). Esse constituiria o primeiro registro dessa espécie para o município de Pelotas, indicando que poderia estar bem mais amplamente distribuída em áreas alagáveis da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Minhocas “quadradas” têm sido encontradas em diversos ambientes aquáticos e semiaquáticos no Brasil, mas são geralmente pouco conhecidas, havendo várias espécies novas a serem descritas (Steffen, 2012; Steffen et al., 2018).

Apenas na EEC foram encontradas espécies exóticas, da família Megascolecidae e Lumbricidae, sendo a primeira de ampla ocorrência no Brasil, e a segunda encontrada somente em áreas com climas mais frios no Sul e Sudeste do Brasil (Brown et al., 2006; Brown; James, 2007). As minhocas da família Megascolecidae, encontradas neste estudo, eram das espécies *A. corticis* e *A. gracilis* (Figura 7C), ambas amplamente distribuídas no país (Brown et al., 2006), e já relatadas previamente para o Estado do Rio Grande do Sul (Brown; James, 2007; Lima; Rodríguez, 2007; Steffen, 2012; Steffen et al., 2018). Essas espécies geralmente coexistem em sistemas agrícolas e florestais, podendo ou não haver dominância de uma espécie sobre a outra, dependendo das condições ambientais (Römcke et al., 2009; Silva et al., 2019). Ambas são espécies epienodogeicas, relativamente grandes, e podem contribuir significativamente para a modificação física e química do solo, e para a produção vegetal (Peixoto; Marochi, 1996). Apesar de serem espécies exóticas, sua ação nos agroecossistemas é geralmente considerada positiva (Brown et al., 2006; Baker et al., 2006).

A espécie de Lumbricidae *B. parvus*, coletada em apenas uma amostra no SAF (a) alto, já havia sido relatada para alguns locais no Brasil (Brown; James, 2007), incluindo o Estado do Rio Grande do Sul (Lima; Rodríguez, 2007), mas também é conhecida em países vizinhos do Brasil, incluindo a Argentina, Venezuela, México e Costa Rica (Fragoso; Brown, 2007). Essa minhoca pigmentada, de tamanho relativamente pequeno, é conhecida mais por habitar troncos podres (epigeica), embora possa ser encontrada na camada superior do solo, especialmente em áreas com mais matéria orgânica (Boetcher; Kalisz, 1991).

Surpreendentemente, não foram encontrados exemplares de *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857) nos sistemas de uso avaliados nas três bases físicas da Embrapa Clima Temperado. É possível que a espécie esteja ausente desses locais, mas maiores esforços deverão ser realizados para saber se está presente ou não na região de Pelotas. A espécie é amplamente distribuída no Brasil (Brown; James, 2007), e mundialmente nas regiões tropicais e subtropicais (Taheri et al., 2018). No Rio Grande do Sul, é conhecida em diversos municípios, com muitos registros na região de Porto Alegre e São Leopoldo (Knäpper, 1979; Knäpper; Porto, 1979; Steffen, 2012; Steffen et al., 2018). Contudo, todas as localidades onde foi encontrada estão em latitudes menores que 31° S, sendo a mais austral Caçapava do Sul (30° 23' S; Steffen et al., 2018). A espécie não é conhecida do Uruguai (Grosso; Brown, 2007), e na Argentina ocorre naturalmente apenas na região subtropical das províncias de Corrientes, Jujuy e Tucumán (Mischis, 2007); o material reportado de Córdoba (31° 25' S) foi coletado apenas em casa de vegetação (Mischis; Righi, 1999). Portanto, o limite austral da distribuição dessa espécie, na América do Sul, parece ser ao redor de 31° S, provavelmente por questões climáticas.

Poucos trabalhos que mediram a abundância de minhocas no Estado do Rio Grande do Sul também identificaram os indivíduos coletados (Lima; Rodríguez, 2007; Schiavon et al., 2009; Tabela 9). Das três bases físicas da Embrapa Clima Temperado, somente a EEC havia sido alvo de estudo prévio sobre as populações de minhocas (Schiavon et al., 2009). Esses autores encontraram cinco espécies na estação, incluindo duas coletadas (*A. gracilis* e *U. brasiliensis*) e três não coletadas no atual estudo: *Microscolex dubius* (Fletcher, 1887), *Glossoscolex* sp.1 e sp. 2. Contudo, um estudo detalhado do exemplar de *Glossoscolex* observado na pastagem poderá revelar se corresponde ou não a um dos dois *Glossoscolex* encontrados por Schiavon et al. (2009). As espécies adicionais registradas no atual estudo foram três da família Ocnerodrilidae (spp. 2, 3 e 6) e *A. corticis*. Portanto, a riqueza de minhocas da EEC aumentou de cinco para nove espécies.

O estudo de Schiavon et al. (2009) também revelou baixa densidade populacional de minhocas na EEC: apenas 3-8 ind. m⁻² em sistemas de vegetação nativa e 2 ind. m⁻² em plantios de *Pinus* e *Eucalyptus* sp. As áreas com floresta, nas três bases físicas da Embrapa Clima Temperado, tiveram baixa densidade de minhocas (3-27 ind. m⁻²), apesar de terem maiores teores de C total, que representam potencial fonte de alimento para elas. O plantio de *Eucalyptus* na ETB também apresentou baixa densidade (8 ind. m⁻²), mas alta biomassa (28 g m⁻²), devido à presença de uma espécie grande de minhoca (*Glossoscolex* sp.2; Figura 7B). Baixas densidades de minhocas em áreas de floresta nativa já foram observadas por vários autores (Nunes et al., 2006; Baretta et al., 2007; Bartz et al., 2009b; 2013; 2014a,b; Cardoso et al., 2014; Tabela 9), particularmente quando há dominância de espécies nativas. Quando há invasão de espécies exóticas, por exemplo, de megascolecídeos como as *Amyntas* spp., pode haver maior densidade e, particularmente, maior biomassa de minhocas nesses ecossistemas nativos (Silva et al., 2019; Tabela 9).

Razões para essa baixa abundância ainda não são bem compreendidas, e podem estar relacionadas ao baixo pH tipicamente encontrado nos solos das florestas nativas na região, e aos menores teores de alguns elementos importantes para o metabolismo das minhocas, como o N e P (Tabela 2). Além disso, a baixa qualidade do material vegetal oriundo das florestas, com maiores valores de C:N, e substâncias de difícil digestão pelas minhocas, especialmente devido à alta quantidade de moléculas aromáticas, como a lignina, alcaloides, polifenóis e taninos (Hendriksen, 1990; Tian et al., 1997; Edwards; Bohlen, 1996), poderia estar limitando as populações de minhocas nesses ambientes. Não obstante, existem metabólitos nos intestinos de algumas espécies de minhocas (drilodefensinas) que podem ajudá-las a lidar com algumas dessas substâncias no solo e na serapilheira (Liebeke et al., 2015). Mais pesquisa ainda é necessária para determinar essas relações, particularmente nos sistemas florestais brasileiros.

A abundância de minhocas em sistemas agrícolas e florestais no Brasil varia de acordo com o sistema de uso do solo adotado (Bartz et al., 2013; 2014a,b; Tabela 9), mas poucos trabalhos avaliaram populações em plantios de *Eucalyptus*, em SAFs e frutíferas (Tabela 9), e em arrozais (Silva et al., 2007; Lima, 2007; Barrigossi et al., 2009). Normalmente, em SAs os valores de abundância são menores que em SPs, particularmente os SAFs, os sistemas integrados e as pastagens, que tendem a ter maiores populações de minhocas (Nunes et al., 2006; Bartz et al., 2014; Nadolny, 2017; Tabela 9). De fato, as pastagens avaliadas neste trabalho obtiveram altas populações de minhocas. Contudo, as lavouras de soja na ETB e na Sede apresentaram os valores mais altos de densidade de minhocas de todos os sistemas de uso avaliados (Tabela 4). Esse resultado é devido à grande ocorrência de espécies da família Ocnerodrilidae, com estratégia ecológica e reprodutiva tipo “r” (Satchell, 1980). Esses animais também foram encontrados no SA da EEC. Organismos com tal característica normalmente ocorrem em locais extremamente instáveis, habitando a camada superficial do solo, altamente susceptível a variações abióticas e possibilidade de predação (por exemplo de pássaros, algo observado em várias ocasiões no momento de preparo do solo, especialmente na ETB). Possuem um ciclo de vida curto, e são capazes de se reproduzirem rapidamente, além de serem animais pequenos (3–6 cm de comprimento) e muito delgados, se comparados a outras espécies de outras famílias de minhocas (Figura 7D) (Satchell, 1980). A biomassa média das minhocas coletadas nesses SAs ($\leq 0,02$ g) foi semelhante àquela observada nos outros locais na ETB, onde predominaram os ocnerodrilídeos, mas foi menor em relação aos outros sistemas avaliados, particularmente na sede e na EEC (Tabela 4). Na ETB e na sede, as áreas de culturas anuais apresentavam características de acúmulo de água, locais onde normalmente são encontradas espécies da família Ocnerodrilidae (Brown; James, 2007).

Os trabalhos que avaliaram abundância de minhocas em SAs no Sul e Sudeste do país (Tabela 9) alcançaram resultado altamente variável (0-715 ind. m⁻²), e quando havia alta abundância, essa era, frequentemente, de indivíduos pequenos da família Acanthodrilidae, do gênero *Dichogaster* (Bartz et al., 2013; Gorte, 2016), também estrategistas “r”. Embora a ETB e a sede tenham apresentado alta abundância de minhocas em SAs, na EEC esse sistema apresentou baixa densidade desses invertebrados (Tabela 4). Resultados similares foram encontrados por Schiavon et al. (2009), que relataram 12 ind. m⁻² em áreas de cultivo (pomares, adubação verde e cana-de-açúcar) da EEC, onde predominou a espécie *A. gracilis*. Provavelmente tal resultado tenha ocorrido pela diferença na drenagem dos solos de cada local. Enquanto as culturas anuais na ETB e sede estavam localizadas sobre Planossolos (solos com baixa drenagem e alto acúmulo de água), na EEC esse sistema estava instalado sobre um Argissolo, possivelmente tornando o local menos favorável à multiplicação das espécies de Ocnerodrilidae.

As estreitas relações das minhocas com as condições edáficas são bem conhecidas (Edwards; Bohlen, 1996), mas pouco exploradas no Brasil (Steffen, 2012; Nadolny, 2017). No atual estudo, observou-se correlação significativa entre a densidade de minhocas e diversos atributos químicos do solo, particularmente o pH e os teores de cátions, P e C no solo. Contudo, as relações com o C foram negativas, assim como observado por Bartz et al. (2013), provavelmente porque os sistemas com maiores teores de C (VN) tiveram menores populações de minhocas que os SAs e SPs, com menores teores de C no solo. A relação positiva, observada com a densidade aparente, provavelmente se deve à mesma explicação. A relação positiva com o teor de silte e negativa com a areia, observada para a biomassa e densidade de minhocas, é interessante, pois indica que os solos com textura mais intermediária, e não tão arenosos, estariam constituindo habitats mais propícios para o desenvolvimento das populações de minhocas na região.

GISQ

Nenhum dos sistemas de uso avaliados teve valor de GISQ alto, mas todos os sistemas na EEC e quatro dos sete sistemas na ETB e na sede apresentaram valores intermediários, indicando que esses usos do solo (particularmente os sistemas de frutíferas e os sistemas agrícolas) estão mantendo qualidade do solo adequada, mas não se descarta a hipótese de que tais valores possam ser melhorados. Essas melhorias poderiam focar a qualidade biológica na EEC e na Sede, que tiveram notas baixas para esse subindicador, apresentando boas notas apenas para o subindicador de qualidade física (sede e EEC) e química (apenas

EEC) do solo. Nesse sentido, técnicas que promovam as populações da fauna edáfica, particularmente a redução da perturbação do solo e uso de agrotóxicos, e o aumento da cobertura do solo e insumo de materiais orgânicos, poderiam ser priorizadas. Na ETB, os subindicadores biológicos em geral foram melhores (devido principalmente às altas populações de minhocas em vários sistemas de uso), mas os subindicadores de qualidade física foram baixos, possivelmente porque nessa estação os solos são menos argilosos e mais siltosos e, portanto, menos estruturados que na sede e EEC.

O subindicador biológico neste trabalho foi calculado mediante dados da diversidade e abundância de minhocas nas áreas, mas ele também pode ser calculado por meio de outros dados biológicos, caso tenham sido avaliados outros atributos biológicos, como a população da macrofauna edáfica (Velásquez et al., 2007, 2012). A fauna edáfica, particularmente as populações de minhocas, são frequentemente associadas à qualidade do solo (Huerta et al., 2009; Fründ et al., 2011), e por isso fazem parte da avaliação e monitoramento da qualidade do solo em vários países (Pulleman et al., 2012; Bünemann et al., 2018). No atual trabalho, o subindicador biológico esteve associado positivamente com o subindicador químico na sede e na EEC, mas não na ETB. De fato, de maneira geral, a abundância de minhocas esteve mais associada aos atributos químicos do que com os físicos (Tabela 5), mas também o número de atributos físicos avaliados foi menor que os químicos. Sabe-se que as minhocas e sua atividade geram importantes mudanças físicas nos solos, particularmente na porosidade e agregação do solo, afetando significativamente sua estrutura física (Lee; Foster, 1991). Apesar da área com maior qualidade física de todos os sistemas de uso (soja na sede) também apresentar a maior qualidade biológica (Tabela 7), não foi detectada relação direta e positiva, em geral, entre os subindicadores de qualidade física e biológica no atual trabalho. Em futuros trabalhos associando qualidade física com biológica, seria interessante avaliar a estrutura do solo, usando-se métodos como o diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES) (Ralisch et al., 2018) ou o *Visual Assessment of Soil Structure* (VESS) (Ball et al., 2017), que tendem a mostrar boa relação entre a fauna e a qualidade física do solo (Franco et al., 2017).

O subindicador físico também está relacionado a serviços que refletem as propriedades hidráulicas do solo, como infiltração e armazenamento de água no perfil do solo. Assim, as áreas que apresentaram valores de qualidade física muito baixa (por exemplo, a soja e o eucalipto na ETB) poderiam apresentar alguns problemas ao crescimento das plantas, pela alta densidade do solo (soja). Entretanto, esse último local, apesar da baixa qualidade física, foi aquele que apresentou a maior densidade de minhocas de todos os sistemas avaliados (1.333 ind. m⁻²). Aparentemente, as minhocas da família Ocnerodrilidae, encontradas na ETB, são capazes de se reproduzir e colonizar solos com alta densidade, já que altas populações também foram observadas na pastagem e campo nativo da ETB, que tinham alta densidade aparente e valores mais baixos de qualidade física.

O subindicador químico avalia a fertilidade química do solo, principalmente a disponibilidade de nutrientes para as plantas, e, assim, a capacidade dos solos de sustentar a produção primária (Velásquez et al., 2007). Assim, os sistemas adubados mais recentemente, particularmente os SAFs e as lavouras de soja e feijão, obtiveram valores mais altos de qualidade química em comparação com os outros sistemas, em cada estação. Como os atributos químicos do solo afetam o desenvolvimento das plantas, a qualidade da água e o poder tampão, valores baixos de qualidade química podem ser um problema de âmbito geral, numa escala futura (Gomes, 2011). As florestas nativas, mesmo sem calagem e adubação, obtiveram valores satisfatórios dos indicadores químicos, mas os campos nativos tiveram tendência a menores valores, provavelmente por terem sido submetidos no passado a usos agrícolas ou manejos mais intensivos.

As pastagens, o campo nativo na ETB e as lavouras de soja obtiveram mais altos valores de GISQ, em geral, entre todos os sistemas de uso de solo avaliados. Coincidentemente, esses foram os sistemas que apresentaram, também, as maiores abundâncias de minhocas. Houve, portanto, uma relação positiva entre o GISQ e a abundância de minhocas. As altas populações de minhocas poderiam estar influenciando positivamente a qualidade do solo e produção vegetal nesses ecossistemas. Van Groenigen et al. (2014), numa meta-análise, mostraram como a presença de minhocas pode aumentar a produtividade de grãos em 25% e a biomassa aérea de plantas em 23%, em especial as utilizadas em pastagens.

Considerações Finais

A fauna do solo, especialmente as minhocas, são um recurso biológico facilmente influenciado pelos sistemas de uso do solo adotados em cada região, podendo ser utilizados como indicadores da qualidade ambiental. Além disso, as minhocas são organismos importantes para a manutenção da fertilidade do solo e da produtividade vegetal. Uma comunidade diversificada da fauna edáfica pode reduzir problemas com pragas e doenças, e suas atividades podem melhorar estruturalmente o solo, regulando a decomposição da matéria orgânica e mineralização de nutrientes (Lavelle et al., 2004).

O Rio Grande do Sul possui pelo menos 56 espécies de minhocas, entre as quais várias são espécies novas, que ainda precisam ser descritas (Steffen, 2012). Neste trabalho, encontrou-se ainda outras espécies novas, além de várias já relatadas para o estado. Além disso, mostrou-se como a riqueza de espécies de minhocas foi maior nos sistemas perenes de uso do solo do que nas áreas com lavouras agrícolas anuais, e que os sistemas com vegetação nativa, em geral, tiveram baixas populações de minhocas. Finalmente, também confirmou-se que o Indicador Geral de Qualidade do Solo (GISQ) permite avaliar a qualidade do solo nos diferentes sistemas de uso, indicando aqueles sistemas que poderiam se beneficiar de mudanças no manejo, visando aumentar a qualidade do solo. Os maiores níveis de GISQ foram observados nos mesmos locais onde houve maiores populações de minhocas, mostrando haver uma relação entre esses dois fatores, que merece maior atenção.

O uso do GISQ para monitorar as mudanças físicas, químicas e biológicas do solo poderia ajudar a orientar a implementação de tecnologias de manejo sustentável do solo, visando manter boa qualidade no longo prazo. Técnicas de manejo que protegem, preservam e melhoram a cobertura morta sobre o solo (qualidade e quantidade), protegem a integridade física solo, minimizam o uso de insumos, e melhoram os recursos orgânicos do solo são as mais interessantes, a fim de promover a diversidade de grupos biológicos funcionais no solo, como as minhocas, promovendo seus benefícios ao solo e serviços aos ecossistemas (Brown et al., 2018).

Os resultados também refletem a importância do manejo sobre culturas anuais, como a soja (em pousio), comumente considerado um ambiente perturbado, mas que nesta pesquisa resultou em coleta de espécies nativas de minhocas, embora com menor riqueza, comparado a outros sistemas. Também é importante destacar que áreas experimentais, como as da Embrapa Clima Temperado, com fragmentos de vegetação nativa, e áreas de lavouras anuais e perenes, com manejo adequado, consistem em importantes reservatórios da macrofauna invertebrada do solo, e particularmente de espécies nativas de minhocas, cuja preservação reflete diretamente na sustentabilidade ambiental.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos funcionários da Embrapa Clima Temperado que ajudaram no trabalho de campo e nas análises laboratoriais, a Capes e a Fundação Araucária, pela concessão de bolsas de pós-graduação, bem como a A. Pasini e Z. Antonioli, por sugestões para a melhoria do texto. Este trabalho recebeu apoio financeiro da Embrapa (Macro Programa 5, Projeto nº 05.12.10.002.00.00), e do CNPq (Processos 401824/2013-6 e 307486/2013-3).

Referências

- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical Soil Biology and Fertility: a handbook of methods**. Wallingford: Oxford University Press, 1993.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, jul./set. 2007.
- AZEVEDO, P. T. M.; BROWN, G. G.; BARETTA, D.; PASINI, A.; NUNES, D. H. Populações de minhocas amostradas por diferentes métodos de coleta (elétrico, químico e manual) em ecossistemas da região de Londrina, Paraná, Brasil. **Acta Zoológica Mexicana**, v. 26, p. 79-93, 2010.
- BAKER, G.; BROWN, G. G.; BUTT, K.; CURRY, J. P.; SCULLION, J. Introduced earthworms in agricultural and reclaimed land: their ecology and influences on soil properties, plant production and other soil biota. **Biological Invasions**, v. 8, p. 1301-1316, 2006.
- BALL, B. C.; GUIMARÃES, R. M. L.; CLOY, J. M.; HARGREAVES, P. R.; SHEPHERD, T. G.; MCKENZIE, B. M. Visual soil evaluation: A summary of some applications and potential developments for agriculture. **Soil Tillage Research**, v. 173, p. 114-124, 2017.
- BARETTA, D.; BROWN, G. G.; JAMES, S. W.; CARDOSO, E. J. B. N. Earthworm populations sampled using collection methods in Atlantic forests with *Araucaria angustifolia*. **Scientia Agricola**, v. 64, p. 384-392, 2007.
- BARRIGOSI, J. A. F.; BROWN, G. G.; PEDRETTI JUNIOR, C. Minhocas em arroz irrigado: pragas ou benéficas? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 6., 2009, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 2009. p. 1-4.
- BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G.; GONÇALVES, M.; LOCATELLI, M.; JAMES, S. W.; BARETTA, D. Minhocas *Urobenus* sp.: das matas para as áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, p. 6-7, jul./ago. 2011.
- BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G.; PASINI, A.; FERNANDES, J. O.; CURMI, P.; DORIOZ, J.; RALISCH, R. Earthworm communities in organic and conventional coffee cultivation. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 928-933, 2009b.
- BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G.; PASINI, A.; LIMA, A. C. R.; GASSEN, D. N. As minhocas e o manejo do solo: o caso do plantio direto e do arroz irrigado. **Revista Plantio Direto**, p. 4-8, jul. 2009a.
- BARTZ, M. L. C.; DA ROSA, M. G.; FILHO, O. K.; JAMES, S. W.; DECAËNS, T.; BARETTA, D. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 83, p. 59-70, 2014a.
- BARTZ, M. L. C.; JAMES, S. W.; STEFFEN, G. P. K.; ANTONIOLLI, Z.; STEFFEN, R. B.; BROWN, G. G. New species-group taxa of *Glossoscolex* (Clitellata: Glossoscolecidae) from Rio Grande do Sul, Brazil. **Zootaxa**, v. 4496, p. 548-561, 2018.
- BARTZ, M. L. C.; PASINI, A.; BROWN, G. G. Earthworm richness, abundance and biomass in different land use systems in northern Paraná, Brazil (Oligochaeta). In: PAVLICEK, T.; CARDET, P.; ALMEIDA, M. T.; PASCOAL, C.; CÁSSIO, F. (Ed.). **Advances in Earthworm Taxonomy VI (Annelida: Oligochaeta)**. Proceedings of the 6th International Oligochaete Taxonomy Meeting (6th IOTM). Heidelberg: Kasperek Verlag, 2014b. p. 59-73.
- BARTZ, M. L. C.; PASINI, A.; BROWN, G. G. Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. **Applied Soil Ecology**, v. 69, p. 39-48, 2013.
- BOETCHER, S. E.; KALISZ, P. J. Single-tree influence on earthworms in forest soils in eastern Kentucky. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, p. 862-865, 1991.
- BROWN, G. G.; DA SILVA, E.; THOMAZINI, M. J.; NIVA, C. C.; DECAËNS, T.; CUNHA, L. F. N.; NADOLNY, H.; DEMETRIO, W. C.; SANTOS, A.; FERREIRA, T.; MAIA, L.; CONRADO, A. C.; SEGALA, R. F.; FERREIRA, A.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; JAMES, S. W.; BARETTA, D.; ANTONIOLLI, Z. I.; BRIONES, M. J.; SOUSA, J. P.; RÖMBKE, J.; LAVELLE, P. The role of soil fauna in soil health and delivery of ecosystem services. In: REICOSKY, D. (Ed.). **Managing soil health for sustainable agriculture**. Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing, 2018. v. 1, p. 197-241.
- BROWN, G. G.; DOMÍNGUEZ, J. Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas, **Acta Zoológica Mexicana**, Nueva Série, v. 26, p. 1-18, 2010.
- BROWN, G. G.; JAMES, S. W. Ecologia, biodiversidade e biogeografia das minhocas no Brasil. In: BROWN, G. G.; FRAGOSO, C. (Ed.). **Minhocas na América Latina: biodiversidade e ecologia**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. p. 297-381.
- BROWN, G. G.; JAMES, S. W.; PASINI, A.; NUNES, D. H.; BENITO, N. P.; MARTINS, P. T.; SAUTTER, K. D. Exotic, peregrine, and invasive earthworms in Brazil: diversity, distribution, and effects on soils and plants. **Caribbean Journal of Science**, v. 42, n. 3, p. 339, 2006.
- BROWN, G. G.; MASCHIO, W.; FROUFE, L. M. Macrofauna do Solo em Sistemas Agroflorestais e Mata Atlântica em regeneração nos Municípios de Barra do Turvo, SP e Adrianópolis, PR. Colombo: Embrapa Florestas, 2009, 51 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 184).
- BROWN, G. G.; PASHANASI, B.; VILLENAVE, C.; PATRÓN, J. C.; SENAPATI, B. K.; GIRI, S.; BAROIS, I.; LAVELLE, P.; BLANCHART, E.; BLAKEMORE, R. J.; SPAIN, A. V.; BOYER, J. Effects of earthworms on plant production in the tropics. In: LAVELLE, P.; BRUSSAARD, L.; HENDRIX, P. (Ed.). **Earthworm management in tropical agroecosystems**. Wallingford: CABI, 1999. p. 87-147.
- BUCH, A. C.; CORREIA, M. E. F.; TEIXEIRA, D. C.; SILVA-FILHO, E. V. Characterization of soil fauna under the influence of mercury atmospheric deposition in Atlantic Forest, Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Environmental Sciences**, v. 32, p. 217-227, 2015.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; BEYN, G.; GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYOER, T. W.; MÄDER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKE, W.; VAN GROENIGEN, J. W.; BRUSSAARD, L. Soil quality: A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, 2018.

CAMARGO, F. F. **Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais agroecológicos na Área de Preservação Ambiental Serra da Mantiqueira, MG**. 2016. 241 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal, concentração em Silvicultura e Genética Florestal) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CAMARGO, F. F.; SANTOS, A.; CARDOSO, G. B. X.; NADOLNY, H.; ASSUNÇÃO, R. R.; NEGRETTE, T. F. M.; NEGRETTE, B. D.; FROUFE, L. C. M.; BROWN, G. G. Comunidades de minhocas em diferentes tipos de uso do solo localizados na Área de Proteção Ambiental da Serra da Mantiqueira- MG. In: BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G. (Ed.). **Anais... Encontro Latino Americano de Ecologia e Taxonomia de Oligoquetas**, 5., 2015, Curitiba. Colombo: Embrapa Florestas, 2017. (Embrapa Florestas. Documentos, 311). p. 107-116.

CARDOSO, G. B. X.; NADOLNY, H.; TEDESCHI, V.; FEIJOO, A.; JAMES, S.; BROWN, G. Earthworm population in an altitudinal gradient of the coastal Atlantic Rainforest in Paraná State southern Brazil (Oligochaeta). In: PAVLICEK, T.; CARDET, P.; ALMEIDA, M. T.; PASCOAL, C.; CÁSSIO, F. (Ed.). **Advances in Earthworm Taxonomy VI (Annelida: Oligochaeta)**. Proceedings of the 6th International Oligochaete Taxonomy Meeting (6th IOTM). Heidelberg: Kasperek Verlag, 2014. p. 74-86.

DEMETRIO, W. C.; SANTOS, A.; FERREIRA, T.; NADOLNY, H.; CARDOSO, G. B. X.; TORRES, J. L. M.; DUDAS, R.; DE OLIVEIRA, V.; BARRETO, J. O.; JAMES, S. W.; DA SILVA, E.; BROWN, G. G.; BARTZ, M. L. C. Earthworm species in various land use systems in the Campos Gerais region of Lapa, Paraná, Brazil. **Zootaxa**, v. 4496, p. 503-516, 2018.

EDWARDS, C. A.; BOHLEN, P. J. **Biology and Ecology of Earthworms**. 3 ed. London: Chapman & Hall, 1996. 438 p.

FRAGOSO, C.; BROWN, G. G. Ecología y taxonomía de las lombrices de tierra en Latino-América: el primer Encuentro Latino-Americano de Ecología y Taxonomía de Oligoquetas (ELAETAO1). In: BROWN, G. G.; FRAGOSO, C. (Ed.). **Minhocas na América Latina: biodiversidade e ecologia**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. p. 33-75.

FRAGOSO, C.; BROWN, G. G.; PATRÓN, J. C.; BLANCHART, E.; LAVELLE, P.; PASHANANI, B.; SENAPATI, B.; KUMAR, T. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms. **Applied Soil Ecology**, v. 6, p. 17-35, 1997.

FRAGOSO, C.; LAVELLE, P.; BLANCHART, E.; SENAPATI, B. K.; JIMÉNEZ, J.; MARTÍNEZ, M. A.; DECAËNS, T.; TONDOH, J. E. Earthworm communities of tropical agroecosystems: origin, structure and influences of management practices. In: LAVELLE, P.; BRUSSAARD, L.; HENDRIX, P. (Ed.). **Earthworm Management in Tropical Agroecosystems**, Wallingford: CABI Publishing, 1999. p. 27-55.

FRANCO, A. L. C.; CHERUBIN, M. R.; CERRI, C. E. P.; GUIMARÃES, R. M. L.; CERRI, C. C. Relating the visual soil structure status and the abundance of soil engineering invertebrates across land use change. **Soil Tillage Research**, v. 173, p. 49-52, 2017.

FRÜND, H.-C.; GRAEFE, U.; TISCHER, S. Earthworms as bioindicators of soil quality. In: KARACA, A. (Ed.). **Biology of Earthworms**. Berlin: Springer, 2011. p. 261-278. (Soil Biology Series, 24).

GOMES, A. da S. Qualidade do solo: conceito, importância e indicadores da qualidade. **Revista Cultivar**, artigo técnico, 2011.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 8 p.

GORTE, T. **Qualidade do solo em sistema de plantio direto**. 2016. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, Universidade Positivo, Curitiba.

GRIMALDI, M.; OSZWALD, J.; DOLÉDEC, S.; HURTADO, M. P.; MIRANDA, I. S.; SARTRE, X. A. de; ASSIS, W. S. de; CASTAÑEDA, E.; DEJARDINS, T.; DUBS, F.; GUEVARA, E.; GOND, V.; LIMA, T. T. S.; MARICHAL, R.; MICHELOTTI, F.; MITJA, D.; NORONHA, N. C.; OLIVEIRA, M. N. D.; RAMIREZ, B.; RODRIGUEZ, G.; SARRAZIN, M.; SILVA JUNIOR, M. L. da; COSTA, L. G. S.; SOUZA, S. L. de; VEIGA, I.; VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P. Ecosystem services of regulation and support in Amazonian pioneer fronts : searching for landscape drivers. **Landscape Ecology**, v. 29, n. 2, p. 311-328, 2014.

GROSSO, E.; BROWN, G. G. Biodiversidad y ecología de las lombrices de tierra en el Uruguay. In: BROWN, G. G.; FRAGOSO, C. (Ed.). **Minhocas na América Latina: biodiversidade e ecologia**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. p. 281-296.

HENDRIKSEN, N. B. Leaf litter selection by detritivore and geophagous earthworms. **Biology and Fertility of Soils**, v. 10, p. 17-21, 1990.

HUERTA, E.; KAMPICHLER, C.; GEISSEN, V.; OCHOA-GAONA, S.; JONG, B.; HERNÁNDEZ-DAUMÁS. Towards an ecological index for tropical soil quality based on soil macrofauna. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1056-1062, 2009.

ISO 23611-1 (International Organization for Standardization). **Soil quality – sampling of soil invertebrates**. Part 1: Hand-sorting and formalin extraction of earthworms. Geneva: ISO, 2017.

KNÄPPER, C. F. U. Velhos habitats de *Pontoscolex corethrurus* (Fr. Müller, 1857). **Estudos Leopoldenses**, v. 16, p. 39-50, 1979.

KNÄPPER, C. F. U.; PORTO, R. P. Ocorrência de Oligoquetas nos solos do Rio Grande do Sul. **Acta Biológica Leopoldensia**, v. 1, p. 137-166, 1979.

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P. A.; INESON, P.; HEAL, O. W.; DHILLION, S. P. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of Soil Biology**, v. 33, p. 159-193, 1997.

- LAVELLE, P.; BLOUIN, M.; BOYER, J.; CADET, P.; LAFFRAY, D.; PHAM-THI, A.; REVERSAT, G.; SETTLE, W.; ZUILU, Y. Plant parasite control and soil fauna diversity. **Comptes Rendues de l'Academie de Science de Paris: Serie Biologie**, v. 327, p. 629-638, 2004.
- LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J. P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. S3-S15, 2006.
- LAVELLE, P.; RODRÍGUEZ, N.; ARGUELLO, O.; BERNAL, J.; BOTERO, C.; CHAPARRO, P.; GÓMEZ, Y.; GUTIÉRREZ, A.; HURTADO, M. P.; LOAIZA, S.; PULLIDO, S. X.; RODRÍGUEZ, E.; SANABRIA, C.; VELÁSQUEZ, E.; FONTE, S. J. Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River Basin of Colombia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 185, p. 106-117, 2014.
- LEE, K. E.; FOSTER, R. C. Soil fauna and soil structure. **Australian Journal of Soil Research**, v. 29, p. 745-776, 1991.
- LIEBEKE, M.; STRITTMATTER, N.; FEARN, S.; MORGAN, J.; KILLE, P.; FUCHSER, J.; WALLIS, D.; PALCHYKOV, V.; ROVERTSON, J.; LAHIVE, E.; SPURGEON, D. J.; MCPHAIL, D.; TAKÁTS, Z.; BUNDY, J. G. Unique metabolites protect earthworms against plant polyphenols. **Nature Communications**, v. 6, p. 7869, 2015.
- LIMA, A. C. R. **Soil quality assessment in rice production systems**. 2007. 116 f. Tese (Doutorado) - Wageningen University, Wageningen.
- LIMA, A. C. R.; RODRÍGUEZ, C. Earthworm diversity from Rio Grande do Sul, Brazil, with a new native Criodrilid genus and species (Oligochaeta: Criodrilidae). **Megadrilogica**, v. 11, p. 9-18, 2007.
- MASCHIO, W.; VEZZANI, F. M.; BROWN, G. G. Earthworm populations in *Eucalyptus* spp. plantations at Embrapa Forestry, Brazil (Oligochaeta). In: PAVLICEK, T.; CARDET, P.; ALMEIDA, M. T.; PASCOAL, C.; CÁSSIO, F. (Ed.). **Advances in Earthworm Taxonomy VI (Annelida: Oligochaeta)**. Proceedings of the 6th International Oligochaete Taxonomy Meeting (6th IOTM). Heidelberg: Kasperek Verlag, 2014. p. 114-126.
- MISCHIS, C. C. Catálogo de las lombrices de tierra de la Argentina (Annelida, Oligochaeta). In: BROWN, G. G.; FRAGOSO, C. (Ed.). **Minhocas na América Latina: biodiversidade e ecologia**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. p. 247-252.
- MISCHIS, C. C.; RIGHI, G. Contribution to knowledge of the oligochaetofauna (Annelida, Oligochaeta) from Argentina. **Gayana**, v. 63, n. 2, p. 63-65, 1999.
- NADOLNY, H. S. **Estado da arte das minhocas como bioindicadoras da qualidade dos solos brasileiros**. 2017. 148 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- NUNES, D. H.; PASINI, A.; BENITO, N. P.; BROWN, G. G. Earthworm diversity in four land use systems in the region of Jaguapitã, Paraná State, Brazil. **Caribbean Journal of Science**, v. 42, p. 331-338, 2006.
- PEIXOTO, R. T. G.; MAROCHI, A. I. A influência da minhoca *Pheretima* sp. nas propriedades de um Latossolo Vermelho Escuro álico e no desenvolvimento de culturas em sistema de plantio direto, em Arapoti - PR. **Revista Plantio Direto**, p. 23-25, set./out. 1996.
- PULLEMAN, M.; CREAMER, R.; HAMER, U.; HELDER, J.; PELOSI, C.; PÉRÈS, G.; RUTGERS, M. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services-an overview of European approaches. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 4, p. 529-538, 2012.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013.
- RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES). In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- RICCI, M. S. F.; AQUINO, A. M.; DA SILVA, E. M. R.; PEREIRA, J. C.; REIS, V. M. **Transformações biológicas e microbiológicas ocorridas no solo de um cafezal convencional em conversão para orgânico**. Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 1999. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 31).
- RÖMBKE, J.; SCHMIDT, P.; HÖFER, H. The earthworm fauna of regenerating forests and anthropogenic habitats in the coastal region of Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 8, p. 1040-1049, 2009.
- SANTOS, A.; GORTE, T.; DEMETRIO, W. C.; FERREIRA, T.; NADOLNY, H.; CARDOSO, G. B. X.; TONETTI, C.; RALISCH, R.; NUNES, A. P.; COQUEIRO, A. C. P.; LEANDRO, H. C. L.; WANDSCHEER, C. A. R.; BORTOLUZZI, J.; BROWN, G. G.; BARTZ, M. L. C. Earthworm species in no-tillage agroecosystems and native Atlantic forests in Western Paraná, Brazil. **Zootaxa**, v. 4496, p. 517-534, 2018.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SATCHELL, J. E. r worms and k worms: a basis for classifying Lumbricid earthworm strategies. In: DINDAL, D. L. (Ed.). **Soil Biology as Related to Land Use Practices**. Washington, D.C.: EPA, 1980. p. 848-864.
- SILVA, E. da; LIMA, O. G. de; ANDRADE, D. P. de; BROWN, G. G. Earthworm populations in forestry plantations (*Araucaria angustifolia*, *Pinus elliotii*) and Native Atlantic forest in Southern Brazil compared using two sampling methods. **Pedobiologia**, v. 72, p. 1-7, jan. 2019.
- SILVA, E. da; ROSA, M. G.; SCHUHLLI, G.; JAMES, S. W.; BARTZ, M. L. C.; NADOLNY, H.; BUSCH, E.; BROWN, G. G. O potencial do DNA barcoding para a identificação e conservação de espécies de minhocas brasileiras. In: MOREIRA, F. M.; KASUYA, M. C. M. (Ed.). **Fertilidade e Biologia do Solo: integração e tecnologia para todos**. Lavras: UFLA, 2017. v. 2, p. 549-570.

SILVA, J. J. C. da; SOUZA, R. M. de; ZONTA, E. P.; FONTANELA, E.; PRATES, E. D.; ELY, M. F.; LIMA, A. C. R. Monitoramento da qualidade de solos hidromórficos através de indicadores biológicos: desenvolvimento metodológicos e de protocolo. BROWN, G. G.; FRAGOSO, C. (Ed.). **Minhocas na América Latina: biodiversidade e ecologia**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. p. 481-487.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do alto do Rio Grande-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 4, jul./ago. 2005.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (SSSA) **Glossary of Soil Science Terms**. Madison: Soil Science Society of America, 1997. 139 p.

SOUZA, M. E. P. de. **Oligochaetas em solos sob sistemas de manejo a pleno sol e agroflorestal e vermicompostagem associada com pós de rocha**. 2010. 58 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

STEFFEN, G. P. K. **Diversidade de minhocas e sua relação com ecossistemas naturais e alterados no Estado do Rio Grande do Sul**. 2012. 208 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

STEFFEN, G. P. K.; STEFFEN, R. B.; BARTZ, M. L. C.; JAMES, S. W.; JACQUES, R. J. S.; BROWN, G. G.; ANTONIOLLI, Z. I. Earthworm diversity in Rio Grande do Sul, Brazil. **Zootaxa**, v. 4496, p. 562-575, 2018.

TAHERI, S.; PELOSI, C.; DUPONT, L. Harmful or useful? A case study of the exotic peregrine earthworm morphospecies *Pontoscolex corethrurus*. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 116, p. 277-289, 2018.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

TIAN, G.; KANG, B. T.; BRUSSAARD, L. Effect of mulch quality on earthworm activity and nutrient supply in the humid tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, p. 369-373, 1997.

VAN GROENIGEN, J. W.; LUBBERS, I. M.; VOS, H. M. J.; BROWN, G. G.; DEYN, G. B.; VAN GROENIGEN, K. J. Earthworms increase plant production: a meta-analysis. **Scientific Reports**, v. 4, n. 6365, p. 1-7, 2014.

VAN GROENINGEN, J. W.; VAN GROENINGEN, K. J.; KOOPMANS, G. F.; VOS, H. M. J.; LUBBERS, I. M. How fertile are earthworm casts? A meta-analysis. **Geoderma**, v. 338, p. 525-535, March 2019.

VELÁSQUEZ, E.; FONTE, S. J.; BAROT, S.; GRIMALDI, M.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P. Soil macrofauna-mediated impacts of plant species composition on soil functioning in Amazonian pastures. **Applied Soil Ecology**, v. 56, p. 43-50, 2012.

VELÁSQUEZ, E.; LAVELLE, P.; ANDRADE, M. GISQ: a multifunctional indicator of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, p. 3066-3080, 2007.

