

MESO E MACROFAUNA DE SOLO CULTIVADO COM MILHO E IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA

Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n5p905-917/2015>

ANA P. A. CASTALDELLI¹, SILVIO C. SAMPAIO², DINÉIA TESSARO³,
DANIELA DA R. HERRMANN⁴, MAUREN SORACE⁵

RESUMO: A utilização da fauna edáfica como bioindicadora de alterações antrópicas e ambientais vem crescendo nos últimos anos. No entanto, ainda são poucos os estudos em longo prazo que relacionam esses organismos com aplicação de resíduos orgânicos no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar, em dois ciclos da cultura do milho, os efeitos da aplicação de diferentes doses e tipos de águas residuárias da suinocultura (ARS) combinadas ou não com adubação mineral sobre a meso e a macrofauna de solo. Quatro doses (0; 100; 200 e 300 m³ ha⁻¹) de ARS, tratada em biodigestor no primeiro ano de estudo e bruta no segundo ano, associadas ou não com adubação mineral, foram aplicadas em dois ciclos da cultura de milho, totalizando 24 parcelas experimentais, sendo 12 com utilização de adubação mineral. Armadilhas de queda foram instaladas em cada uma das parcelas para amostrar a fauna edáfica, sendo os resultados encontrados avaliados por técnicas de estatística multivariada (NMS e Per-MANOVA). A adição de ARS, tanto bruta quanto tratada em biodigestor e de adubação mineral, não influenciou a fauna de solo. Os parâmetros químicos do solo diferenciaram a meso e a macrofauna edáfica somente entre os anos.

PALAVRAS-CHAVE: fauna edáfica, reúso de efluente, dejetos líquido de suíno.

MESO AND MACROFAUNA OF SOIL UNDER MAIZE CULTIVATION AND IRRIGATED WITH SWINE WASTEWATER

ABSTRACT: The use of soil fauna as bioindicator of anthropogenic and environmental changes has been growing in recent years. However, there are still few long-term studies relating these organisms to application of organic wastes to the soil. This study aimed at evaluating the effects of swine wastewater (SW) application with or without mineral fertilization on soil meso and macrofauna within two cycles of maize harvest. We used four doses of SW (0, 100, 200, 300 m³ ha⁻¹), which was treated in an anaerobic digester in the first year and raw waste thereafter. We performed 24 experimental plots, among which, 12 underwent mineral fertilization. Pitfall traps were set up in each plot to sample soil fauna. Data were analyzed by multivariate techniques as NMS and PERMANOVA. We concluded that SW application, both treated and raw, had no influence on soil fauna, even if mineral fertilizer was or not used. Chemical soil parameters had affected soil meso- and macro-fauna only as years pass.

KEYWORDS: soil fauna, wastewater recycling, swine wastewater.

INTRODUÇÃO

A fauna de solo tem sido utilizada como bioindicadora de alterações naturais e antrópicas por abranger organismos sensíveis, capazes de responder positiva ou negativamente a essas alterações

¹ Bióloga, Mestre em Conservação e Manejo de Recursos Naturais, UNIOESTE/Cascavel – PR, Fone: (45) 9928-0555, anapaulacastaldelli@hotmail.com

² Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UNIOESTE/Cascavel – PR, Fone: (45) 3220-7412, silvio.sampaio@unioeste.br

³ Bióloga, Prof^a. Doutora, Departamento de Ciências Agrárias, UTFPR/Dois Vizinhos – PR, dtessaro@utfpr.edu.br

⁴ Bióloga, Mestre em Conservação e Manejo de Recursos Naturais, Centro de Ciências Agrárias, UNIOESTE/Marechal Cândido Rondon – PR, danieherrmann85@yahoo.com.br

⁵ Bióloga, Prof^a. Doutora, Departamento de Ciências Agrárias, Bolsista Pós-Doutorado CNPq, UEM/Umuarama – PR, mauren_band@hotmail.com

Recebido pelo Conselho Editorial em: 7-11-2013

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 3-2-2015

(NELSON et al., 2011). Esses organismos fazem parte de grupos como Coleóptera, Collembola, Araneae, Hymenoptera, Acari, Diptera, Diplopoda, dentre outros, os quais atuam na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes. Podem ser influenciados pela temperatura, umidade, quantidade de matéria orgânica, além de fatores físicos e químicos do solo (IRMLER, 2006; CAO et al., 2011).

Dentro deste contexto, alguns autores estudam a interação desses organismos com a aplicação de dejetos orgânicos no solo, o qual serve para tratar o efluente e ser fonte de nutrientes e água para as plantas, diminuindo o uso de água potável e outros recursos naturais. Porém, em doses elevadas, pode provocar o entupimento dos macroporos do solo devido ao acúmulo de resíduos, diminuindo a troca de gases e comprometendo sua qualidade química, física e biológica (KUNZ, 2005).

Visando a diminuir os impactos das águas residuárias, em especial a de suinocultura (ARS), sobre o meio ambiente, existem trabalhos que buscam alternativas, além da aplicação no solo como fertilizantes orgânicos (PELISSARI et al., 2009; PRIOR et al., 2009; DOBLINSKI et al., 2010; SAMPAIO et al., 2010; MAGGI et al., 2011; MEADE et al., 2011; MENEGHETTI et al., 2012), como a produção de biogás (DENG et al., 2009; ORRICO JÚNIOR et al., 2009; MARTINS & OLIVEIRA, 2011; AVACI et al., 2013), compostagem (MEES et al., 2009; SARDÁ et al., 2010; LI et al., 2012; MENG et al., 2013), utilização de sistemas de tratamentos (KUNZ et al., 2009; RODRIGUES et al., 2010; ARAÚJO et al., 2012) e ainda o uso de biosistema integrado, produzindo biogás, biofertilizantes e cultivando algas para a alimentação de peixes (JUNGES et al., 2009; ROMEIRO et al., 2011; BEZERRA, 2012; SERAFIM & GUIMARÃES FILHO, 2012).

Independentemente da técnica de destinação das ARSs, deve-se levar em conta as altas concentrações de nitrogênio (SAMPAIO et al., 2010), fósforo, sódio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, matéria orgânica (KUNZ, 2005), antibióticos veterinários (BEN et al., 2008; COSTA et al., 2009; FRANCO et al., 2010) e patógenos (VENGLOWSKY et al., 2009; COSMANN et al., 2012), pois, em excesso, podem causar danos às plantas ou, ainda, poluir os corpos hídricos devido ao escoamento superficial e/ou à lixiviação (KUNZ, 2005).

Apesar de existirem estudos importantes que relacionam o reúso de dejetos orgânicos com o comportamento da fauna edáfica como os desenvolvidos por DOMEK-CHRUSCICKA & SENICZAK (2005), ALVES et al. (2008), GONDIM et al. (2010), ANDRÉS et al. (2011), CAO et al. (2011), TESSARO et al. (2011), TESSARO (2012) e TESSARO et al. (2013) ainda são poucos os trabalhos em longo prazo.

Sendo assim, GONDIM et al. (2010) verificaram as diferenças entre os grupos da macrofauna edáfica em solo cultivado com maracujazeiro-amarelo com adição de biofertilizante bovino e encontraram que com irrigação de água salina e na dose de 30 mg L⁻¹ na seca, ocasionou maior quantidade de organismos no período chuvoso. Por sua vez, CAO et al. (2011) estudaram a influência de três tratamentos: fertilizante orgânico formado por palha, esterco de galinha, farelo e restos de algodão; fertilizante químico e sem fertilizante sobre a comunidade de ácaros em uma área com rotação de milho e trigo, no norte da China, e verificaram que não se pode concluir, de fato, que a aplicação de fertilizantes orgânicos tenha efeito benéfico sobre os ácaros.

Em relação ao uso de dejetos de suínos, DOMEK-CHRUSCICKA & SENICZAK (2005) avaliaram o efeito de diferentes doses desse dejetos sobre a densidade de alguns grupos da mesofauna edáfica, como ácaros e colêmbolas em pastagens, e observaram que a aplicação de baixas e médias doses de dejetos de suíno eleva a densidade de ácaros. No entanto, em altas doses, ocorre o decréscimo desse grupo, enquanto os colêmbolas respondem positivamente às doses. O mesmo foi estudado por ALVES et al. (2008), porém em solos cultivados com milho e aveia em Santa Catarina, encontrando maior diversidade de organismos no tratamento com adubação organomineral, além de sugerirem que a abundância e a diversidade desses organismos são influenciadas pelo tipo de cobertura do solo.

TESSARO et al. (2011) e TESSARO (2012) também aplicaram diferentes doses de dejetos de suínos no solo e verificaram o efeito deste sobre a fauna edáfica. TESSARO et al. (2011)

observaram que o número de organismos da ordem Collembola aumentou com aplicação de água residuária de suinocultura acima de $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Já TESSARO (2012) observou que o uso de doses acima de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ no solo teve efeito negativo sobre a fauna edáfica, porém o uso dessa dose promove maior similaridade nas abundâncias dos organismos com as amostras na área de mata.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar, em dois ciclos da cultura do milho, os efeitos da aplicação de diferentes doses e tipos de águas residuárias da suinocultura combinadas ou não com adubação mineral sobre a meso e a macrofauna edáfica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola – NEEA, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Câmpus de Cascavel – PR ($24^{\circ}54'S$ e $53^{\circ}32'O$), altitude de 760 metros, durante os meses de março a julho de 2011 e março a junho de 2012, em dois ciclos da cultura de milho. A temperatura média e a umidade relativa do ar da região são de 20°C e 75%, respectivamente. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo subtropical, com verões quentes, geadas pouco frequentes, tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida e com precipitação média anual de 1.800 mm (IAPAR, 2000).

Foram utilizadas duas águas residuárias da suinocultura (ARS), tratadas em biodigestor no primeiro ano e bruta no segundo ano de experimento, coletadas em uma propriedade rural que possui um biossistema integrado no tratamento de dejetos de suínos no distrito de Três Bocas, município de Toledo-PR. Uma amostra de cada ARS (Tabela 1) foi coletada para sua caracterização físico-química antes da aplicação ao solo.

TABELA 1. Caracterização da água residuária da suinocultura. **Chemical characterization of swine wastewater.**

PARÂMETROS (mg L^{-1})	2011	2012
	Biodigestor	Bruta
Carbono orgânico total ¹	441,1	530
Nitrogênio total ²	202,06	105
Fósforo ³	13,87	34,22
Potássio ⁴	19,64	171,6
Cálcio ⁴	57,16	99
Magnésio ⁴	69,93	64,2
Sódio ⁴	35,4	68
Cobre ⁴	1,8	0,5
Manganês ⁴	2,83	1,9
Zinco ⁴	11,3	6,32
Ferro ⁴	19,64	9,2
Sólidos Totais ⁵	2359,1	3500
Sólidos Fixos ⁵	837,5	1400
Sólidos Voláteis ⁵	1521,6	2100

Nota: ¹TOC; ²Micro-Kjeldahl; ³Espectrofotômetro visível; ⁴Espectrofotômetro de absorção atômica; ⁵Método Gravimétrico.

As doses utilizadas no experimento foram 0; 100; 200 e $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, em cada ciclo da cultura do milho, associadas ou não com adubação mineral (AD), totalizando oito tratamentos com três repetições cada. Esses tratamentos vêm sendo mantidos desde 2006 para obter um histórico e seus respectivos efeitos.

Antes da aplicação das ARSs, foi coletada uma amostra de solo de cada parcela, as quais apresentavam área útil de $1,6 \text{ m}^2$, espaçada de 0,4 e 0,5 m uma da outra, sem vegetação nesse intervalo, para sua caracterização físico-química. As ARSs foram aplicadas 2 dias antes da semeadura, com auxílio de regador em toda a área das parcelas. A semeadura do milho foi realizada

de acordo com a época indicada para o cultivo, de forma manual, em plantio direto, totalizando 7 plantas por parcela. Neste momento, foi realizada a adubação mineral em dois níveis: 0 e 100% do recomendado para a cultura de milho, utilizando 600 kg ha^{-1} da formulação 5-20-20, fornecendo 30 kg ha^{-1} de N, 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} de K_2O .

Para a coleta da fauna edáfica, foi instalada em cada parcela uma armadilha de queda (*Pitfall-traps*), composta por potes plásticos com 10 cm de altura e 10 cm de diâmetro. Dentro de cada parcela, o solo foi escavado para encaixar o frasco, o qual ficava enterrado com a borda ao nível do solo. Depois de instaladas, as armadilhas foram preenchidas até a metade com formol a 4%, para matar e conservar os animais capturados. Cobrindo as armadilhas, foram instaladas estruturas compostas por pratos plásticos e palitos de madeira para impedir a entrada de água da chuva e para evitar que a solução conservante diluísse ou transbordasse. Na instalação das armadilhas, tomou-se o cuidado de evitar que folhas e gravetos atravessassem por cima da armadilha, que poderia impedir a captura dos animais (AQUINO et al., 2006).

As armadilhas foram instaladas nos dias: 21 de março, 19 de maio e 07 de julho em 2011 e 07 de março, 23 de abril e 15 de junho em 2012, totalizando, então, três coletas em cada ciclo da cultura de milho, sendo que, em cada uma, as armadilhas ficaram ativas por 7 dias. Após este período, as armadilhas foram retiradas do campo, transportadas para o laboratório, seu conteúdo vertido em peneira de malha fina (155 *mesh*) e lavado em água corrente, para a retirada total da solução conservante. Os organismos foram acondicionados em recipientes contendo álcool a 70% para manterem-se conservados, sendo posteriormente identificados com auxílio de lupa binocular e chaves dicotômicas de classificação em nível de ordem (AQUINO et al., 2006).

A Figura 1 mostra os dados climáticos de temperatura, umidade e precipitação dos períodos de coletas fornecidos pelo SIMEPAR.

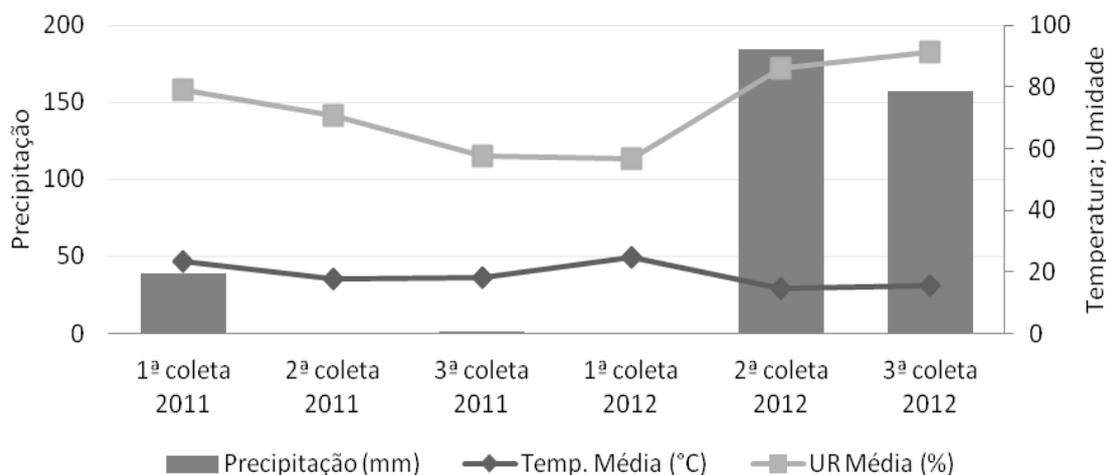


FIGURA 1. Dados de precipitação total e médias de umidade e de temperatura do ar nas coletas da meso e macrofauna edáfica nas safras de milho de 2011 e 2012. **Total rainfall and averages of air humidity and temperature during samplings of soil meso and macrofauna in maize harvests of 2011 and 2012.**

Para análise dos dados, foram utilizadas técnicas de estatística multivariada. Inicialmente, realizou-se a técnica de Escalonamento Multidimensional Não Métrico - NMS (KRUSKAL, 1964) para ordenar os dados e diminuir a variação na estrutura e na composição da fauna edáfica. Antes de realizar a ordenação, os dados foram transformados em raiz quadrada e foram excluídos os grupos que representaram menos de 0,2% do total para reduzir as influências de grupos dominantes e raros, respectivamente. Seguindo o procedimento da NMS descrito em MCCUNE & GRACE (2002), foi utilizada a medida de distância de Sørensen, a fim de mensurar as similaridades entre as unidades amostrais. Foi utilizado o nível baixo do piloto automático no software Pc-Ord® 5.0 (MACCUNE & MEFFORD, 1999), com 10 configurações iniciais e 100 rodagens com dados randomizados.

Adotou-se o critério de estabilidade de desvio-padrão do estresse menor ou igual a 0,0000001 após 10 iterações consecutivas. Para avaliar a significância da configuração final, foi realizado o teste de Monte Carlo, com 250 randomizações. Com os gráficos da NMS, pode-se verificar se houve diferenças das unidades experimentais dos tratamentos entre os anos.

Após a NMS, foi utilizada a Análise Permutacional de Variância Multivariada (Per-MANOVA; ANDERSON, 2001) para verificar se houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos e as safras, usando a medida de distância Euclidiana e 4.999 randomizações.

As duas técnicas anteriores foram empregadas inicialmente sobre os dados totais da fauna edáfica referente aos dois anos de experimentos para avaliar se a estrutura e a composição dessa comunidade foram distintas entre os anos. Confirmada tal distinção, foi realizada a análise de correspondência canônica - ACC (TER BRAAK, 1986), para verificar quais parâmetros físicos e químicos do solo influenciaram na comunidade da meso e macrofauna edáfica. Em caso de estruturação e correlação dos táxons ao ambiente, ambas significativamente superiores às esperadas ao acaso pelo teste de Monte Carlo, com 9.998 randomizações ($p < 0,05$), procedeu-se à elaboração da ordenação da ACC e inferiu-se a influência de cada variável física e química do solo através do coeficiente de correlação canônico.

Depois de verificar os dados dos dois anos juntos, foram utilizadas as mesmas análises em cada ano em separado. A NMS foi utilizada para sumarizar a comunidade e a Per-MANOVA bifatorial para avaliar os efeitos da ARS e da AD. Já a ACC foi usada para inferir sobre as influências das variáveis físicas e químicas do solo na comunidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo do experimento, foram encontrados 15.423 organismos da meso e macrofauna edáfica, sendo 4.758 coletados em 2011 e 10.665 em 2012.

A Per-MANOVA bifatorial para ano e água residuária da suinocultura mostrou que houve diferença estatística significativa apenas entre os anos com p-valor de 0,0002 (Tabela 2).

TABELA 2. Per-MANOVA bifatorial para ano e água residuária da suinocultura realizada com 4.999 permutações sobre a meso e a macrofauna do solo obtida dos cultivos de milho, nas safras de 2011 e 2012. **Bifactorial PERMANOVA applied to the effect of year and swine wastewater using a set of 4,999 permutations to analyze soil meso and macrofauna data gathered from maize crop harvests of 2011 and 2012.**

Níveis	g.l.	SQ	QM	F	p *
Ano	1	1578,7	1578,7	95,701	0,0002
ARS	3	51,43	17,143	1,0392	0,3812
Ano x ARS	3	42,895	14,298	0,86676	0,4962
Residual	40	659,85	16,496		

ARS - água residuária da suinocultura; g.l. - grau de liberdade; SQ - soma dos quadrados; QM - quadrado médio; Ano x ARS - interação de Ano e ARS.

Essa diferença no número de indivíduos entre os anos pode ser explicada, em parte, através da ACC, a qual mostra quais parâmetros físico-químicos do solo diferenciaram a estrutura da comunidade (Figura 2A). A capacidade de troca catiônica (CTC), cálcio (Ca), soma de bases (SB) e magnésio (Mg) influenciaram sobre os organismos encontrados em 2011. Já a matéria orgânica (MO), amônia (N-NH₄), nitrito + nitrato (NO₃+NO₂) e sódio (Na) tiveram influência positiva sobre os organismos edáficos em 2012, ano em que foi utilizada água residuária bruta, que possui maior quantidade de matéria orgânica quando comparada à ARS coletada após o biodigestor (Tabela 1).

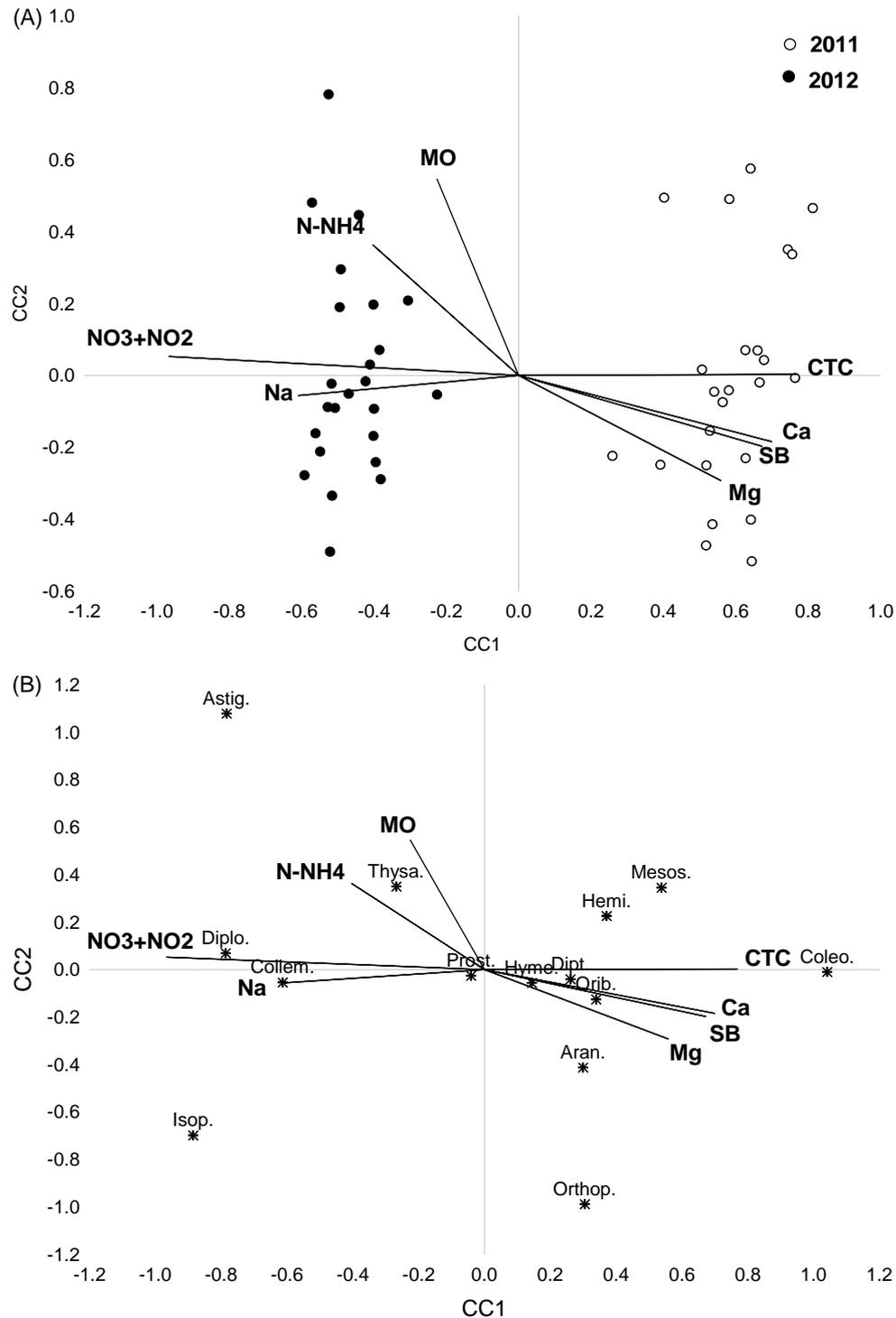


FIGURA 2. Ordenação das unidades experimentais obtida dos cultivos de milho nos anos de 2011 e 2012, em função da meso e macrofauna do solo definida pela Análise de Correlação Canônica, usando combinações lineares das variáveis físicas e químicas do solo (tamanho da seta é proporcional ao efeito da variável) (Figura 2A). Ordenação da meso e macrofauna definida pela Análise de Correlação Canônica (Figura 2B). **Ordination of experimental units obtained from maize harvests of the years 2011 and 2012 in accordance with meso- and macro-fauna data defined by Canonical Correlation Analysis, using linear combinations of soil physical and chemical variables (the size of the arrow is proportional to the effect of the variable) (Figure 2A). Ordination of meso and macrofauna defined by the Canonical Correlation Analysis (Figure 2B).**

TESSARO (2012) também encontrou em seu trabalho associação de MO, N-NH₄ e NO₃+NO₂ com a fauna edáfica, ou seja, o aumento do conjunto desses parâmetros influenciou a fauna.

Para os organismos encontrados, Collembola (N₂₀₁₁=1.126; N₂₀₁₂=7.295), Isoptera (N₂₀₁₁=20; N₂₀₁₂=124) e Astigmata (N₂₀₁₁=16; N₂₀₁₂=111) foram favorecidos em 2012, quando comparados a 2011. O oposto foi observado para Coleoptera (N₂₀₁₁=649; N₂₀₁₂=109) e Oribatida (N₂₀₁₁=671; N₂₀₁₂=527) (Figura 3).

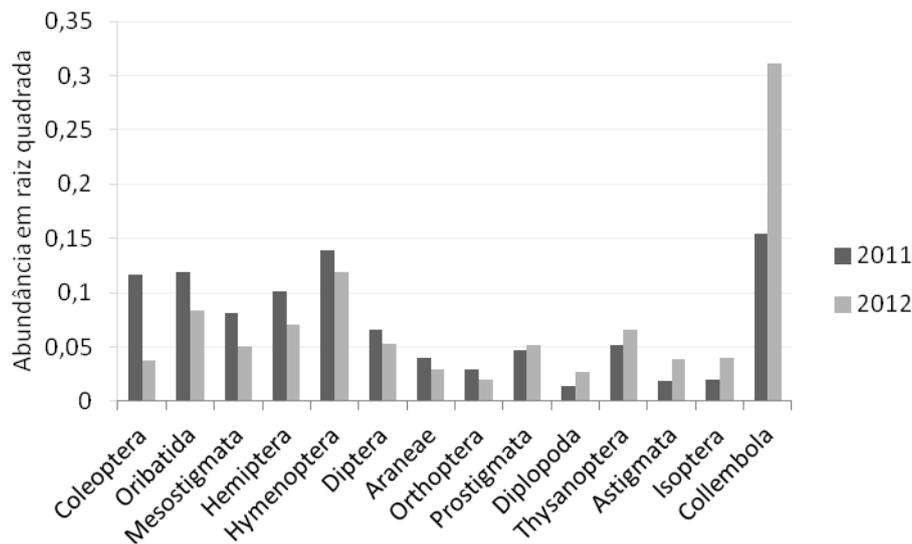


FIGURA 3. Comparações das abundâncias relativas das ordens obtidas nas safras de milho de 2011 e 2012. **Comparisons of the relative abundance of the entomological orders sampled in the maize harvests of 2011 and 2012.**

Correlacionando os parâmetros químicos do solo com as ordens encontradas (Figura 2B), pode-se explicar essa diferença de 2011 para 2012. Para Astigmata, o aumento de MO e N-NH₄ em 2012 influenciou de forma positiva o grupo. O mesmo foi observado por CAO et al. (2011), que encontraram maior abundância desse grupo no tratamento com maior quantidade de MO, quando comparado aos demais tratamentos, e os autores descrevem que a fertilização orgânica pode beneficiar o grupo devido à alta quantidade de nutrientes. BEHAN-PELLETIER (1999) destaca ainda que os Astigmatas possuem altas taxas metabólicas, curto tempo de geração e rápida dispersão, podendo restabelecer-se rapidamente sob condições favoráveis. Além disso, esse resultado pode estar relacionado à menor abundância de ácaros da ordem Mesostigmata no período, os quais são predadores dos astigmatas (CAO et al., 2011).

O oposto pode ser observado para Orthoptera, para o qual a diminuição de MO e N-NH₄ aumentou o número de organismos desse grupo.

A alta ocorrência dos Collembola pode estar relacionada ao hábito alimentar, pois alimentam-se basicamente de fungos que se encontram associados à palhada das culturas, apesar de serem normalmente abundantes na serrapilheira (SILVANO, 2011). Apesar disso, a aplicação de ARS bruta em 2012 pode ter favorecido o grupo devido ao incremento de matéria orgânica ao solo. A relação positiva desse grupo com a aplicação de ARS no solo é um fator já comprovado na literatura como observado por ALVES et al. (2006), MONROY et al. (2011) e TESSARO (2011).

Em relação à ordem Coleoptera, o aumento na CTC, Ca, SB e Mg e a diminuição de NO₃+NO₂, MO, N-NH₄ e Na influenciaram positivamente o grupo. ALVES et al. (2006) e LOURENTE et al. (2007) também encontraram correlação desse grupo com o cálcio presente no solo. ALVES et al. (2008) e TESSARO (2012) relataram que o aumento de dejetos no solo favorece a ocorrência desse grupo, o que não foi observado neste trabalho, pois a maior quantidade de Coleoptera foi encontrada no ano em que foi utilizada água residuária tratada em biodigestor, a qual possui menor teor de matéria orgânica.

Essa diferença entre os números de indivíduos entre os anos pode estar associada aos diferentes tipos de águas residuárias utilizadas, pois em 2012 a quantidade de matéria orgânica e de nutrientes aplicados ao solo foi maior do que em 2011.

KONZEN (2005) relata que dejetos de suínos tratados em biodigestor podem reduzir a carga orgânica de 78 a 80%, além de reduzirem os teores de P, Cu e Zn totais em 40%, 40% e 22%, respectivamente. O autor ainda observa que essa redução pode minimizar os efeitos indesejados da utilização dos dejetos de suínos no solo como fertilizante.

A menor quantidade de matéria orgânica no solo e de nutrientes pode afetar negativamente a fauna edáfica, como observado em 2011, pois a matéria orgânica tem relação direta com as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Sendo assim, deve-se adotar um manejo sustentável da matéria orgânica para manter, em longo prazo, a capacidade produtiva do solo (ALVES et al., 2013).

Além disso, pode-se observar que, em 2012, a quantidade de precipitação pluvial e de umidade foram maiores quando comparadas a 2011 (Figura 1), podendo apresentar relação com a maior abundância de organismos encontrada naquele ano. O mesmo foi observado por GONDIM et al. (2010), que verificaram que a maior quantidade de precipitação na estação chuvosa favorece os organismos edáficos, aumentando a riqueza de grupos quando comparado à época seca.

Para o grupo Isoptera, a maior densidade, em 2012 (Figura 3), pode ter relação direta com a alta quantidade de precipitação neste ano (Figura 1). Esse grupo depende da umidade do solo devido à pouca quitinização da cutícula e à baixa capacidade de reter água (COLLINS, 1969).

As condições climáticas favoráveis em 2012 podem ter beneficiado, também, a ocorrência de Collembola. IRMLER (2006) descreve que a precipitação é um dos fatores que afetam significativamente o grupo e está intimamente relacionada à umidade do solo. Além disso, em altas quantidades, a precipitação pode ter efeitos diversos sobre espécies de colêmbolas, afetando positivamente algumas, como *Neanura muscorum* e *Onychiurus armatus*, e negativamente outras como *Tomocerus flavescens*.

Já a ordem Coleoptera pode ter sido negativamente influenciada pela alta umidade e pela precipitação. MARQUES & DEL-CLARO (2010) também encontraram maior quantidade de indivíduos desta ordem na época seca, coletados com armadilhas do tipo pitfall, em ambiente de cerrado. Os autores atribuem esse resultado à mudança de comportamento para explorar recursos ou, ainda, uma resposta à variação de umidade. O oposto foi observado por NUNES et al. (2012), que relacionaram a distribuição da fauna edáfica com a umidade do solo e verificaram aumento desse grupo com o incremento da serapilheira em condições de boa umidade.

Outro grupo que diminuiu com o aumento da umidade e da MO no solo foi a ordem Oribatida. CAO et al. (2011) também encontraram maior quantidade de indivíduos da ordem Oribatida nos tratamentos com menor umidade.

A quantidade de plantas de milho, o espaçamento entre elas por parcela e a distância de uma parcela da outra podem ter influenciado na evaporação da água do solo por este ficar mais exposto aos raios solares, fazendo com que diminuíssem os teores de umidade do solo. Em plantações de milho, o solo tende a ficar mais exposto, quando comparado a outras culturas que formam grandes coberturas, mantendo a temperatura e a umidade do solo em condições favoráveis ao desenvolvimento da fauna edáfica.

Solos com menores coberturas apresentam, conseqüentemente, menores valores de umidade, pois a insolação direta sobre o solo e a ação do vento em solos mais expostos tendem a facilitar a perda de água (OLIVEIRA et al., 2005).

A temperatura, a umidade e a pluviosidade têm relação direta com os grupos edáficos que têm a água como fator limitante de suas atividades (ASSAD, 1997). MENEZES et al. (2009) relataram que o comportamento da fauna edáfica tende a ser diferente em período quente e chuvoso, quando comparado a período frio e seco, devido às alterações nos recursos usados por esta.

MOÇO et al. (2005) descrevem que a maior quantidade de precipitação favorece o crescimento vegetal e, conseqüentemente, a produção de serapilheira, beneficiando a fauna edáfica pelo aumento de alimento.

Na Per-MANOVA bifatorial para a primeira (Tabela 3) e segunda safras de milho (Tabela 4), não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os níveis ARS e AD, nem entre os tratamentos formados pela interação desses fatores.

TABELA 3. Per-MANOVA bifatorial para adubação mineral e água residuária da suinocultura realizada com 4.999 permutações sobre a meso e a macrofauna do solo, obtida do cultivo de milho, no ano de 2011. **Bifactorial PERMANOVA applied to the effect of fertilization and swine wastewater using a set of 4,999 permutations to analyze soil meso and macrofauna data gathered from the maize harvest of 2011.**

Níveis	g.l.	SQ	QM	F	p *
AD	1	14,806	14,806	0,9563	0,4536
ARS	3	43,515	14,505	0,93685	0,5462
AD x ARS	3	60,754	20,251	1,308	0,1682
Residual	16	247,73	15,483		

ARS - água residuária da suinocultura; AD - adubação mineral; g.l. - grau de liberdade; SQ - soma dos quadrados; QM - quadrado médio; AD x ARS - interação de AD e ARS.

TABELA 4. Per-MANOVA bifatorial para adubação mineral e água residuária da suinocultura realizada com 4.999 permutações sobre a meso e a macrofauna do solo, obtida do cultivo de milho, no ano de 2012. **Bifactorial PERMANOVA applied to the effect of fertilization and swine wastewater using a set of 4,999 permutations to analyze soil meso- and macro-fauna data gathered from the maize harvest of 2012.**

Níveis	g.l.	SQ	QM	F	p *
AD	1	18,78	18,78	1,0874	0,3468
ARS	3	50,81	16,937	0,98063	0,4918
AD x ARS	3	41,449	13,816	0,79996	0,727
Residual	16	276,34	17,271		

ARS - água residuária da suinocultura; AD - adubação mineral; g.l. - grau de liberdade; SQ - soma dos quadrados; QM - quadrado médio; AD x ARS - interação de AD e ARS.

A mudança no tipo de água residuária de um ano para o outro deve-se aos resultados encontrados no primeiro ano de experimento, em que se pode observar que os tratamentos não influenciaram os organismos da fauna edáfica. Sendo assim, no segundo ano de experimento, foi utilizada ARS bruta, que possui uma carga de nutrientes e de matéria orgânica maior, para verificar se tais resultados seriam diferentes do primeiro ano de estudo.

Realizando uma análise visual, observou-se que as plantas de milho das parcelas tratadas com ARS apresentaram tamanho superior às que não receberam o dejetos. Resultado similar foi encontrado por FREITAS et al. (2004). Mesmo assim, os tratamentos com adição de ARS bruta e tratada em biodigestor e AD não influenciaram os organismos. Pensando-se em destinar o efluente de forma ambientalmente correta, esses resultados mostram que aplicando a maior dose de ARS bruta ou a menor dose de ARS tratada em biodigestor, não tem efeitos significativos sobre a meso e a macrofauna edáfica, ou seja, não prejudicará a fauna de solo, porém ainda são necessários mais estudos nessa área para saber se, de fato, não existem efeitos, pois a composição das ARSs varia de um sistema de tratamento para outro.

CONCLUSÕES

- A adição de água residuária da suinocultura tanto bruta quanto tratada em biodigestor e de adubação mineral não influenciou a fauna de solo.
- Os parâmetros químicos do solo diferenciaram a meso e a macrofauna edáfica somente entre os anos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. V.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Fauna edáfica em diferentes sistemas de cultivo no estado de São Paulo. **Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n.1, p. 33-43, 2006.
- ALVES, M. V.; SANTOS, J. C.; GOIS, D. T.; ALBERTON, J. V.; BARETTA, D. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, n. 32, p. 589-598, 2008.
- ALVES, S. M. F.; ALCÂNTARA, G. R.; REIS, E. F.; QUEIROZ, D. M.; VALENTE, D. S. M. Definições de zonas de manejo a partir de mapas de condutividade elétrica e matéria orgânica. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, n.1, p. 104-114, 2013.
- ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, Carlton, v.26, p.32-46, 2001.
- ANDRÉS, P.; MATEOS, E.; TARRASÓN, D.; CABRERA, C.; FIGUEROLA, B. Effects of digested, composted, and thermally dried sewage sludge on soil microbiota and mesofauna. **Applied Soil Ecology**, New York, v.48, p. 236-242, 2011.
- AQUINO, A. M.; MENEZES, E. L. A.; QUEIROZ, J. M. **Recomendações para a coleta de artrópodes terrestres por armadilhas de queda (Pitfall traps)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. (Circular Técnica, 18). Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/download/cit018.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2010.
- ARAÚJO, I. S.; OLIVEIRA, J. L. R.; ALVES, R. G. C. M.; BELLI FILHO, P.; COSTA, R. H. R. Avaliação de sistema de tratamento de dejetos suínos instalados no Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 745-753, 2012.
- ASSAD, M. L. L. Fauna do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 363-443.
- AVACI, A. B.; SOUZA, S. N. M.; CHAVES, L. L.; NOGUEIRA, C. E. C.; NIEDZIALKOSKI, R. K.; SECCO, D. Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n. 4, p.456-462, 2013.
- BEN, W.; QIANG, Z.; ADAMS, C.; ZHANG, H.; CHEN, L. Simultaneous determination of sulfonamides, tetracyclines and tiamulin in swine wastewater by solid-phase extraction and liquid chromatography-mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v.1202, p.173-180, 2008.
- BEHAN-PELLETIER, V.M. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role for bioindication. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.74, p. 411-423, 1999.
- BEZERRA, S. A. **Gestão ambiental da propriedade suinícola**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2012.
- CAO, Z.; HAN, X.; HU, C.; CHEN, J.; ZHANG, D.; STEINBERGER, Y. Changes in the abundance and structure of soil mite (Acari) community under long-term organic and chemical fertilizer treatments. **Applied Soil Ecology**, New York, v.49, n.1, p.131-138, 2011.
- COLLINS, M. S. Water relations in termites. In: KRISHNA, K.; WEESNER, F. M. (Ed.). **Biology of termites**. New York. Academic Press, 1969. v. 1, p.433-458.
- COSMANN, N. J.; SAMPAIO, S. C.; PINTO, F. G. S.; PALMA, D.; DIETER, J.; CORDOVIL, C. S. C. M. S.; VARENNES, A. Transport of nutrients and bacteria in runoff after the application of swine

wastewater. **International Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v.10, p. 785-789, 2012.

COSTA, M. M.; MABONI, F.; WEBER, S. S.; FERRONATO, A. I.; SCHRANK, I. S.; VARGAS, A. P. C. Patotipos de *Escherichia coli* na suinocultura e suas implicações ambientais e na resistência aos antimicrobianos. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.76, n.3, p.509-516, 2009.

DENG, L.; CHEN, H.; CHEN, Z.; LIU, Y.; PU, X.; SONG, L. Process of simultaneous hydrogen sulfide removal from biogas and nitrogen removal from swine wastewater. **Bioresource Technology**, New York, v.100, p.5600-5608, 2009.

DOBLINSKI, A. F.; SAMPAIO, S. S.; NÓBREGA, L. H.; GOMES, S. D.; DAL BOSCO, T. C. Nonpoint source pollution by swine farming wastewater in bean crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.1, p.87-93, 2010.

DOMEK-CHRUSCICKA, K.; SENICZAK, S. The effect of pig liquid manure fertilization on the crop of alternating grassland and some groups of soil mesofauna. **Folia Biologica**, Kraków, v.53, p.139-143, 2005.

FRANCO, R. M.; MANTILLA, S. P. S.; GOUVÊA, R.; OLIVEIRA, L. A. T. Resistência antimicrobiana de *Escherichia coli* isoladas de carne e dejetos suínos. **Acta Veterinaria Brasilica**, Mossoró, v.4, n.1, p.31-36, 2010.

FREITAS, W. S.; OLIVEIRA, R. A.; PINTO, F. A.; CECON, P. R.; GALVÃO, J. C. C. Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura sobre a produção do milho para silagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.120-125, 2004.

GONDIM, S. C.; SOUTO, J. S.; CAVALCANTE, L. F.; ARAUJO, K. D.; RODRIGUES, M. Q. Biofertilizante bovino e salinidade da água na macrofauna do solo cultivado com maracujazeiro amarelo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.5, n.2, p.35-45, abr./jun., 2010.

IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

IRMLER, U. Climatic and litter fall effects on collembolan and oribatid mite species and communities in a beech wood based on a 7 years investigation. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v.42 p.51-62, 2006.

JUNGES, D. M.; KLEINSCHMITT, S. C.; SHIKIDA, P. F. A.; SILVA, J. R. Análise econômico-financeira da implantação do sistema de biodigestores no Município de Toledo (PR). **Revista de Economia**, Curitiba, v.35, n.1, p.7-30, 2009.

KONZEN, E. A. **Dejetos de suínos fermentados em biodigestores e seu impacto ambiental como insumo agrícola**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 4p. (Comunicado técnico 124).

KRUSKAL, J. B. Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method. **Psychometrika**, Williamsburg, v.29, p.115-129, 1964.

KUNZ, A.; MIELE, M.; STEINMETZ, R. L. R. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. **Bioresource Technology**, New York, v.100, p.5485-5489, 2009.

KUNZ, A. **Remoção de nitrogênio em dejetos de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2005. Disponível em: <www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_artigos/artigos_s185q3t.pdf>. Acesso em: 20 out. 2010.

LI, R.; WANG, J. J.; ZHANG, Z.; SHEN, F.; ZHANG, G.; QIN, R.; LI, X.; XIAO, R. Nutrient transformation during composting of pig manure with bentonite. **Bioresource Technology**, New York, v.121, p.362-368, 2012.

LOURENTE, E. R. P.; SILVA, R. F.; SILVA, D. A.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M. Macrofauna edáfica e sua interação com atributos químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 17-22, 2007.

- MAGGI, C. F.; FREITAS, P. S. L.; SAMPAIO, S. C.; DIETER, J. Lixiviação de nutrientes em solo cultivado com aplicação de água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.2, p.170–177, 2011.
- MENEZES, C. E. G.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BATISTA, I.; RODRIGUES, K. M.; COUTO, W. H.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, I. P. Macrofauna edáfica em estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual e pastagem mista em Pinheiral (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.33, p.1647-1656, 2009.
- MCCUNE, B.; GRACE, J. B. **Analysis of ecological communities**. Glenden Beach, Oregon: MjM Software Design, 2002, p.304.
- MACCUNE, B.; MEFFORD, M. J. **Multivariate analysis of ecological data**. Version 4. Glenden Beach, Oregon: MjM Software Design, 1999.
- MARQUES, G. D. V.; DEL-CLARO, K. Sazonalidade, abundância e biomassa de insetos de solo em uma reserva de Cerrado. **Revista Brasileira de Zociências**, Juiz de Fora, v.12, n.2, p.141-150, 2010.
- MARTINS, F. M.; OLIVEIRA, P. A. V. Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 477-486, 2011.
- MEADE, G.; LALOR, S. T. J.; CABE, T. MC. An evaluation of the combined usage of separated liquid pig manure and inorganic fertiliser in nutrient programmes for winter wheat production. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.34, p.62-70, 2011.
- MEES, J. B. R.; DAMASCENO, S.; VILAS BOAS, M. A.; FAZOLO, A.; SAMPAIO, S. C. Estabilização da biomassa de aguapé através da compostagem com águas residuárias de suínos e resíduos de frigorífico. **Ciências Agrárias**, Londrina, v.30, n.3, p.709-716, jul./set., 2009.
- MENEGHETTI, A. M.; NÓBREGA, L. H. P.; SAMPAIO, S. C.; FERQUES, R. G. Mineral composition and growth of babycorn under swine wastewater combined with chemical fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.11, p.1198–1205, 2012.
- MENG, J.; WANG, L.; LIU, X.; WU, J.; BROOKES, P. C.; XU, J. Physicochemical properties of biochar produced from aerobically composted swine manure and its potential use as an environmental amendment. **Bioresource Technology**, New York, v.142, p.641-646, 2013.
- MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.29, n.4, p.555-564, 2005.
- MONROY, R.; AIRA, M.; DOMÍNGUEZ, J. Epigeic earthworms increase soil arthropod populations during first steps of decomposition of organic matter. **Pedobiologia**, Jena, v.54, p.93-99, 2011.
- NELSON, K. L.; BOITEAU, G.; LYNCH, D. H.; PETERS, R. D.; FILLMORE, S. Influence of agricultural soils on the growth and reproduction of the bio-indicator *Folsomia candida*. **Pedobiologia**, Jena, v.54, p.79-86, 2011.
- NUNES, L. A. P. L.; SILVA, D. I. B.; ARAÚJO, A. S. F.; LEITE, F. C.; CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em sistemas de manejo para produção de forragens no Estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, n.1, p.30-37, 2012.
- OLIVEIRA, M. F.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G.R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.535–539, 2005.
- ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. Potencial de produção de biogás remanescente nos efluentes de biodigestores abastecidos com dejetos de suínos, com e sem separação da fração sólida, e conduzidos sob diferentes tempos de retenção hidráulica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.4, p. 679-686, 2009.
- PELLISSARI, R. A. Z.; SAMPAIO, S. C.; GOMES, S. D.; CREPALLI, M. S. Lodo têxtil e água residuária da suinocultura na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* (W, Hill ex Maiden). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n.2, p. 288-300, 2009.

- PRIOR, M.; SMANHOTTO, A.; SAMPAIO, S. C.; NÓBREGA, L. H. P.; OPAZO, M. A. U.; DIETER, J. Acúmulo e percolação de fósforo no solo devido a aplicação de água residuária da suinocultura na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, Guarapuava, v.2, p.89-96, 2009.
- RODRIGUES, L. S.; SILVA, I. J.; ZOCCATO, M. C.; PAPA, D. N.; SPERLING, M. V.; OLIVEIRA, P. R. Avaliação de desempenho de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n. 1, p. 94-100, 2010.
- ROMEIRO, A. R.; MAIA, A. G.; JUSTO, M. C. Uma proposta de gestão econômico-ecológica à agroindústria suinícola do oeste catarinense. **Revista de Política Agrícola**, São Paulo, v.20, n. 3, p. 108-119, 2011.
- SAMPAIO, S. C.; FIORI, M. G. S.; OPAZO, M. A. U.; NÓBREGA, L. H. P. Comportamento das formas de nitrogênio em solo cultivado com milho irrigado com água residuária da suinocultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, p. 138-149, 2010.
- SARDÁ, L. G.; HIGARASHI, M. M.; MULLER, S.; OLIVEIRA, P. A.; COMIN, J. J. Redução da emissão de CO₂, CH₄ e H₂S através da compostagem de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.9, p.1008-1013, 2010.
- SERAFIM, G. B.; GUIMARÃES FILHO, L. P. Estudo sobre o reaproveitamento dos dejetos de suínos na bacia do Rio Sangão – Santa Catarina. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v.5, p. 151-174, 2012. Número especial.
- SILVANO, C. **Atributos biológicos em solos sob plantio direto com aplicação de dejetos líquido bovino**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.
- TER BRAAK, C. J. F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, New York, v.67, p.1167-1179, 1986.
- TESSARO, D.; SAMPAIO, S. C.; ALVES, L. F. A.; DIETER, J.; CORDOVIL, C. S. C. M. S.; VARENNE, A. Edaphic mesofauna (springtails and mites) in soil cultivated with baby corn and treated with swine wastewater combined with chemical fertilization. **International Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v.9, p.983-987, 2011.
- TESSARO, D. **Doses de ARS nas culturas de milho, aveia e soja e suas influências sobre a meso e macrofauna**. 2012. 192f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.
- TESSARO, D.; SAMPAIO, S. C.; ALVES, L. F. A.; DIETER, J.; CORDOVIL, C. S. C. M. S.; VARENNE, A.; PANSERA, W. A. Macrofauna of soil cultivated with baby corn treated with Swine wastewater combined with chemical fertilization. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v.8, p.86-92, 2013.
- VENGLOWSKY, J.; SASAKOVA, N.; PLACHA, I. Pathogens and antibiotic residues in animal manures and hygienic and ecological risks related to subsequent land application. **Bioresource Technology**, New York, v.100, p.5386-5391, 2009.