

VARIABILIDADE ESPACIAL DA FAUNA EDÁFICA SOB CULTIVO DE SOJA

Ricardo Niehues Buss¹, Osmani Cid Conde Oliveira², Raimunda Alves Silva², Anderson de Almeida Souza², Glécio Machado Siqueira²

¹Departamento de Ciência da Administração. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. E-mail: rnbus@gmail.com

²Departamento de Geociências. Universidade Federal do Maranhão, Avenida do Portugueses, 1966, Bacanga, 65080-805. e-mail: gleciosiqueira@hotmail.com; cid.conde1@gmail.com; ray-234@hotmail.com; Anderson.souza@hotmail.com

RESUMO. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da fauna edáfica em cultivo de soja sob semeadura direta. A área experimental está localizada no município de Mata Roma (Maranhão, Brasil). Foram instaladas 70 pontos de amostragem para avaliação da produtividade, carbono orgânico e da fauna do solo. Os índices de diversidade foram calculados e avaliados por meio da geoestatística. Foram coletados 1.009 espécimes distribuídos em 15 grupos. Os índices de diversidade biológica ajustaram-se ao modelo esférico, exceto a riqueza e diversidade total apresentaram efeito pepita puro. Os valores de alcance (a) variaram de 150 m (diversidade de Shannon) a 235 m (equitabilidade de Pielou). A variabilidade da fauna do solo está relacionada a variabilidade da produtividade e do conteúdo de carbono orgânico, indicando que estes organismos podem ser utilizados como indicadores biológicos de qualidade ambiental e de manejo do solo.

ABSTRACT. The objective of this work was to evaluate the spatial variability of edaphic fauna in soybean under no-tillage. The experimental area is located in the town of Mata Roma (Maranhão, Brazil). To evaluate productivity, organic carbon and soil fauna, 70 sampling points were installed. Diversity indices were calculated and evaluated using geostatistics. A total of 1,009 specimens were collected from 15 groups. The indices of biological diversity were adjusted to the spherical model, except the richness and total diversity, which presented pure nugget effect. Range values (a) ranged from 150 m (Shannon diversity) to 235 m (Pielou equitability). Soil fauna variability is related to variability of productivity and organic carbon content, indicating that these organisms can be used as biological indicators of environmental quality and soil management.

de nutrientes (Silva et al. 2012; de Vries et al. 2013; Waggoner et al. 2016, Oliveira et al. 2014), mineralização e humificação da matéria orgânica, bem como, melhoria da estrutura, condutividade hidráulica, estabilidade de agregados e porosidade total (Carrillo et al. 2011; Bernardi et al. 2012; Cabrera, 2012).

A agricultura intensiva e o manejo inadequado do solo impactam drasticamente na estrutura da comunidade de invertebrados do solo, promovendo alterações significativas na biomassa e na quantidade de fauna edáfica, gerando degradação, deterioração de terras, redução ou perda de nutrientes e da capacidade produtiva agrícola, além do aumento de pragas (Wolters, 2001; Marchão et al. 2009; Caproni et al. 2011; Siqueira et al. 2014; Domínguez et al. 2014).

No entanto, poucos são os trabalhos dedicados ao entendimento da variabilidade espacial da fauna do solo. Silva et al. (2018) estudando a fauna do solo em diferentes sistemas de uso e manejo, verificaram que a variabilidade espacial é modificada em função da intensidade de uso do solo. Gholami et al. (2017) relacionaram a variabilidade espacial da fauna do solo e de espécies vegetais, permitindo a identificação de relações espaciais entre os organismos da fauna do solo e a vegetação. Corbo et al. (2017) estudando a fauna do solo por meio de ferramentas de geoestatísticas verificaram que o sistema de manejo interfere sobre a variabilidade espacial da fauna do solo. Siqueira et al. (2014) em estudo da macrofauna em cultivo de cana-de-açúcar verificou que a fauna do solo é influenciada pelo manejo e pela disponibilidade e qualidade do carbono orgânico do solo.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da fauna edáfica em área de cultivo com soja sob semeadura direta no município de Mata Roma (Maranhão, Brasil).

1.- Introdução

A zona não saturada do solo é um sistema complexo, natural, vivo e dinâmico, imprescindível para o funcionamento, manutenção e estabilidade dos ecossistemas terrestres (Bottinelli et al. 2015). A fauna edáfica exerce importante papel no ecossistema e no estado de conservação e alteração do solo (Silva et al. 2008; Alves et al. 2014). Muitos organismos da fauna edáfica são fundamentais para transformação das propriedades do solo, atuando na ciclagem

2.- Materiais e Métodos

2.1.- Local de estudo

A área experimental está localizada no município de Mata Roma (Maranhão, Brasil), cujas coordenadas geográficas são: 3° 70' 80.88" S e 43° 18' 71.27" W. O clima da região é do tipo Aw, com duas estações bem definidas, uma chuvosa (dezembro a maio) e outra seca (junho a novembro).

Tabela 1. Caracterização física e química do Latossolo Amarelo Distrófico Argissólico cultivado com soja sob semeadura direta em Mata Roma (Maranhão, Brasil)

Profundidade 0-0,2 m													
Areia	Silte	Argila	Densidade	Macro	Micro	PT	MO	pH	P	K	Ca	Mg	CTC
----- g kg ⁻¹ -----			Mg m ⁻³	----- m ³ m ⁻³ -----			g dm ³	-	mg dm ³	----- mmolc/dm ³ -----			
745.258	138.214	117.143	1.268	0.169	0.378	0.547	22	5.0	49	0.7	18	3	46.7
Profundidade 0,2-0,4 m													
Areia	Silte	Argila	Densidade	Macro	Micro	PT	MO	pH	P	K	Ca	Mg	CTC
----- g kg ⁻¹ -----			Mg m ⁻³	----- m ³ m ⁻³ -----			g dm ³	-	mg dm ³	----- mmolc/dm ³ -----			
737.772	141.700	120.629	1.291	0.160	0.372	0.532	19	4.7	47	0.5	17	3	45.6

Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; PT: Porosidade Total; MO: Matéria Orgânica; CTC: Capacidade de troca de catiônica.

O solo da área experimental, é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico Argissólico conforme EMBRAPA (2018). As principais características físicas e químicas são apresentadas na Tabela 1, conforme metodologia descrita por Camargo et al. (1986).

A área possui 44,75 ha cultivados a nove anos com soja (*Glicine max* L.), sob sistema de semeadura direta, sendo realizada subsolagem a cada 4 anos quando necessário em função da identificação de camadas compactadas na área de estudo.

2.2.- Coleta dos dados

A coleta da fauna do solo foi realizada no ano agrícola de 2015/2016 durante o ciclo da cultura da soja, por meio de armadilhas do tipo “pitfall” instaladas em 70 pontos de amostragem, com espaçamento de 70 x 35 m, distribuídas na área de estudo seguindo as linhas de plantio. As coordenadas geográficas dos pontos de amostragem foram determinadas utilizando GPS com correção diferencial pós-processada (DGPS) (Fig. 1). As 70 armadilhas permaneceram em campo por um período de sete dias, posterior a esse período foram retiradas do campo e todo conteúdo foi transferido para potes contendo álcool 70% (Aquino et al. 2001; Siqueira et al. 2014). Nesse estudo a família Formicidae foi separada da ordem Hymenoptera devido à importância ecológica exercida no ecossistema. Após identificação, todo conteúdo foi devolvido para seus respectivos potes e armazenados em laboratório como material controle.

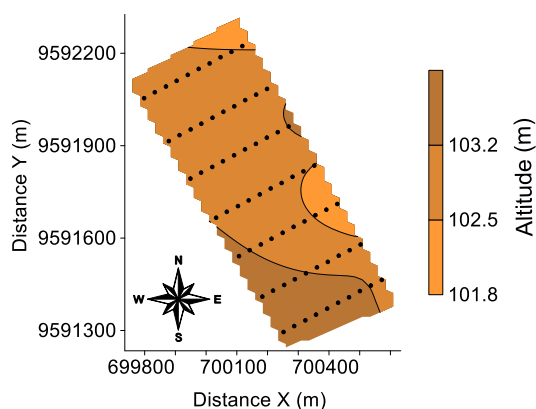


Fig 1. Esquema de amostragem na área de estudo para os 70 pontos.

A produtividade da soja (t ha⁻¹) foi determinada nos 70 pontos de amostragem em parcelas de 18m². Amostras indeformadas de solo também foram coletadas para determinação em laboratório do conteúdo de carbono orgânico (g kg⁻¹) por espectrofotometria, conforme Raij et al. (2001).

2.3.- Índices de diversidade biológica

O número de indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹ foi calculado dividindo o número de indivíduos coletados pelo número de armadilhas instaladas e pelos os dias que cada armadilha permaneceu em campo. Posteriormente, foram calculados os seguintes índices de diversidade: riqueza, diversidade de Shannon, diversidade total, dominância de Simpson e equitabilidade de Pielou.

O estimador de riqueza Jackknife primeira ordem é uma função do número de espécies que ocorrem em uma amostra, denominadas de espécies únicas, assim quanto maior o número de espécies que ocorrem em somente uma amostra, entre todas amostras coletadas na comunidade estudada, maior será que estima o número total de espécies presente na comunidade Eq. (1).

$$E_D = S_{obs} + S_1 \left(\frac{f-1}{f} \right) \quad (1)$$

O índice de diversidade de Shannon é o mais utilizado para estudos de comunidades (Magurran, 1988) e tende a zero quando a amostra possui um único indivíduo Eq. (2):

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \times \log(b)p_i \quad (2)$$

onde: H' é a diversidade de Shannon; S o número de espécies; p_i a abundância relativa de cada espécie e log é o logaritmo (base 10).

A diversidade total ou regional é calculada pela seguinte fórmula Eq. (3):

$$TD = \sum_{i=1}^n w_i [p_i(1-p_i)] \quad (3)$$

onde: TD é a diversidade total; w_i é o peso dado à função, que expressa a importância que se quer dar a espécie i na quantificação da diversidade regional; p_i é a frequência relativa.

A dominância de Simpson é determinada em função do índice de diversidade de Simpson (Simpson, 1949) Eq (4).

$$D_s = 1 - \frac{\sum_{i=1}^p n_i x (n_i - 1)}{N (n_i - 1)} \quad (4)$$

O índice de Pielou indica a uniformidade da fauna em cada área, ou seja, indica como os indivíduos estão distribuídos entre as diferentes espécies presentes na amostra Eq (5).

$$U' = \frac{H'}{\text{Log}_2 S} \quad (5)$$

2.3.- Análise geoestatística

Ferramentas de geoestatística foram utilizadas para determinar a variabilidade espacial da fauna do solo, e modelagem de semivariogramas experimentais, segundo Vieira et al. (2000). O semivariograma, $\gamma(h)$, de uma variável distribuída espacialmente, $z(x_i)$, é calculado conforme Eq. (6):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i - h)]^2 \quad (6)$$

onde: $N(h)$ é o número de observações separadas por uma distância h .

Uma vez detectada a variabilidade espacial, os índices foram ajustados a um modelo geoestatístico (exponencial, esférico ou gaussiano) e evidenciado os parâmetros de efeito pepita (C_0), variância estrutural (C_1) e alcance (a). O grau de dependência (GD) foi calculado de acordo com os intervalos propostos por Cambardella et al. (1994), em $GD < 25\%$ - forte dependência espacial; $25\% < GD < 75\%$ - dependência moderada; $GD > 75\%$ - fraca dependência espacial.

3.- Resultados e discussão

Foram coletados 1.009 espécimes distribuídos em 15 grupos (Acari, Araneae, Coleoptera, Dermaptera, Diplura, Diptera, Entomobryomorpha, Heteroptera, Hymenoptera, Larva de Coleoptera, Larva de Diptera, Larva de Formicidae, Lepidoptera, Opillionida e Orthoptera) e uma família (Formicidae). Os grupos com maiores abundâncias foram Larva de Coleoptera (318 espécimes), Coleoptera (299 espécimes), Diptera (121 espécimes), Formicidae (109 espécimes) e Acari (102 espécimes). Os grupos que apresentaram menores abundâncias foram Dermaptera, Entomobryomorpha e Hymenoptera (1 espécime), Heteroptera e Larva de Diptera (2 espécimes), Diplura e Larva de Formicidae (3 espécimes).

A maior abundância de Coleoptera está relacionada ao conteúdo de matéria orgânica, conforme Silva et al. (2018). Por outro parte, Baretta et al. (2003) avaliando o efeito do cultivo sob a diversidade da fauna edáfica observou maior diversidade e equitabilidade nos sistemas de cultivo mínimo e sistema de semeadura direta em sistema com sucessão de culturas, devido à maior oferta de alimento, amplitude térmica e umidade do solo. A elevada abundância de Acari (102 espécimes), Formicidae (109 espécimes) e Coleoptera (299 espécimes) nos sistemas agrícolas têm demonstrado

que esses grupos possuem elevado potencial como bioindicadores de perturbações ambientais, corroborando com Silva et al. (2018). Embora os dados sejam coletados em apenas um ano agrícola da cultura de soja, o presente trabalho registra a importância de se avaliar a fauna do solo, considerando o manejo da área e os atributos do solo, haja vista a escassez de trabalho sob fauna edáfica em cultivos.

A Tabela 2 apresenta os principais parâmetros estatísticos para a produtividade ($t \text{ ha}^{-1}$), carbono orgânico ($g \text{ kg}^{-1}$) e dos índices de diversidade biológica do solo.

Os valores de CV (%) demonstram elevada variação (CV = 278,02%), para o número de indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹. Tal fato já era esperado uma vez que este parâmetro representa locais em campo os pontos de amostragem com ocorrência com maior e menor abundância de organismos do solo, corroborando com Baretta et al. (2003). A elevada abundância de organismos em alguns pontos, também pode ser explicada pelo comportamento agregado de alguns grupos da fauna edáfica que podem ser atenuados ou minimizados em função das técnicas de manejo do solo e das culturas. Os demais índices de diversidade (Riqueza, Diversidade de Shannon, Diversidade total, Dominância de Simpson e Equitabilidade de Pielou) apresentaram valores de CV variando entre 62,29% (Dominância de Simpson) e 86,57% (Diversidade de Shannon), conforme classificação de Warrick & Nielsen (1980). As diferenças entre o CV para o número de indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹ e os índices de diversidade (Riqueza, Diversidade de Shannon, Diversidade total, Dominância de Simpson e Equitabilidade de Pielou) é devida a homogeneização matemática dos dados conforme são submetidos ao conjunto de operação matemáticas necessários para o seu cálculo.

A produtividade na área de estudo apresentou valor médio de 3370,71 $t \text{ ha}^{-1}$, apresentando um valor de CV = 11,54% baixo (CV < 12%) conforme Warrick & Nielsen (1980). O conteúdo de carbono orgânico na área de estudo possui média de 7,34 $g \text{ kg}^{-1}$, e valor de CV mediano (CV = 47,04%).

O teste de normalidade de Kolmogorov-Sminorv com probabilidade de erro de 1%, demonstrou que todas as variáveis possuem distribuição de frequência lognormal, exceto a produtividade, a riqueza e a dominância de Simpson.

A análise geoestatística demonstrou que os índices diversidade de Shannon, Dominância de Simpson, Equitabilidade de Pielou e Indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹ se ajustaram ao modelo esférico (Tabela 3). A riqueza e diversidade total apresentaram efeito pepita puro (EPP), indicando que as variáveis em questão são espacialmente independentes, pois apresentam distribuição casual ou que o espaçamento amostral não foi suficiente para detectar variabilidade espacial do índice (Machado et al. 2007; Siqueira et al. 2015; Siqueira et al. 2016).

Tabela 2: Parâmetros estatísticos para a produtividade e conteúdo de carbono orgânico (CO) no solo e índices de diversidade biológica [Indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹, riqueza, Shannon, Diversidade total, Dominância de Simpson, Equitabilidade Pielou].

	Média	Variância	DP	CV	Assimetria	Curtose	D*
Produtividade	3370,71	189447,00	435,25	11,54	0,11	-0,50	0,065n
CO	7,34	11,91	3,45	47,04	1,15	1,43	0,194Ln
Indivíduos armadilha ⁻¹ dia ⁻¹	3,79	111,21	10,54	278,02	3,28	10,54	0,431Ln
Riqueza	2,41	3,40	1,84	76,43	0,09	-1,17	0,153n
Diversidade de Shannon	0,94	0,66	0,81	86,57	0,03	-1,54	0,233Ln
Diversidade total	0,50	0,16	0,40	79,15	-0,37	-1,72	0,254Ln
Dominância de Simpson	0,44	0,07	0,28	62,29	0,98	-0,21	0,204n
Equitabilidade de Pielou	1,84	1,87	1,37	74,24	-0,50	-1,61	0,240Ln

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; D: desvio máximo em relação a média por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov com probabilidade de erro de 0,01.

Tabela 3. Parâmetros geoestatísticos para os índices de diversidade do solo.

	Modelo	C ₀	C ₁	a (m)	R ²	GD
Produtividade	Esférico	145000,00	250160	200,00	0,72	57,96
CO	Esférico	7,10	39,65	265,00	0,81	17,91
Indivíduos armadilha ⁻¹ dia ⁻¹	Esférico	2,00	120,00	200,00	0,99	1,63
Riqueza	EPP (Efeito pepita puro)					
Diversidade de Shannon	Esférico	0,48	0,20	150,00	0,99	70,58
Diversidade total	EPP (Efeito pepita puro)					
Dominância de Simpson	Esférico	0,03	0,04	200,00	0,99	48,05
Equitabilidade de Pielou	Esférico	0,80	1,20	235,00	0,99	40,00

Ind. arm⁻¹ dia⁻¹: indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹; Div. de Shannon: Diversidade de Shannon; Dom. de Simpson: Dominância de Simpson; Equi. De Pielou: Equitabilidade de Pielou; Mod: modelo; Esf: Esférico; C₀: efeito pepita; C₁: variância estrutural; a: alcance; GD: Grau de dependência espacial (%).

Os índices que apresentaram variabilidade espacial possuem valores de alcance (m) variando entre 150,00 m para Shannon e de 235,00 para a equitabilidade de Pielou. Gholami et al. (2017) avaliando a variabilidade espacial em sistemas florestais ajustaram a diversidade e abundância da macrofauna do solo ao modelo exponencial, com elevados valores de alcance (m), o que pode ser resultado da heterogeneidade em grandes escalas, refletindo assim, a influência da cobertura do solo. Neste caso, os nossos resultados indicam que a variabilidade espacial dos dados ocorre em grandes distâncias, fato que pode ser justificado pelo manejo homogêneo do solo e da cultura de soja sob semeadura direta, sendo que as maiores diferenças são explicadas pelas mudanças de propriedade intrínsecas e extrínsecas do solo ao longo da paisagem (Leiva et al. 2019).

A produtividade e o conteúdo de carbono apresentaram valores de alcance de 200,00 m e de 265,00 m, respectivamente. Os valores de alcance neste caso demonstram que a escala de dependência espacial entre estas variáveis é similar com a dos índices de diversidade, exceto para a diversidade de Shannon (a = 150,00 m). Tal comportamento para a diversidade de Shannon em escala inferior à das demais variáveis, se deve ao fato deste índice refletir melhor uma comunidade representada neste caso pelos organismos coletados para cada ponto de amostragem, e por esta razão sua variabilidade é mais elevada em menor escala, quando comparado as demais variáveis.

O grau de dependência espacial para a maioria dos índices, de acordo com Cambardella et al. (1994) foi de moderada a fraca, com GD variando entre 1,63% para número de indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹ e 70,58% para diversidade de Shannon. A produtividade de soja apresentou moderada dependência espacial entre as amostras (GD = 57,96%),

enquanto os dados para o conteúdo de carbono orgânico possuem forte dependência espacial (GD = 17,91%). Para Cambardella et al. (1994) a forte dependência espacial das variáveis pode ser influenciada por características intrínsecas do solo, enquanto a baixa dependência sofre influência de processos extrínsecos do solo. Neste caso, a presença de GD elevado para o número de indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹ reflete o comportamento de grupos da fauna que possuem conduta agregada, ou seja, a probabilidade de captura de um organismo está diretamente relacionada ao seu comportamento, onde organismos de grupos sociais, predadores e micrófagos tendem a apresentar elevada variabilidade. Por outra parte, a diversidade de Shannon, possui fraca dependência espacial entre as amostras confirmando a dependência espacial entre amostras nas pequenas distâncias. Com relação ao grau de dependência espacial vale ressaltar a elevada dependência entre amostras descrita para o conteúdo de carbono orgânico do solo (GD = 17,91%), que neste caso descreve que mesmo a área de estudo sendo manejada de maneira homogênea, ainda existem elevadas variações ao longo da paisagem, conforme descrito por Buss et al. (2019).

Os mapas de variabilidade espacial dos atributos que apresentaram ajuste por meio do semivariograma são apresentados na Fig. 2.

A produtividade de soja e o conteúdo de carbono apresentaram variabilidade espacial com similaridade na distribuição das linhas de contorno. Buss et al. (2019) estudando a relação espacial entre atributos químicos do solo e a produtividade de soja, descreveram que a produtividade é diretamente relacionada com o conteúdo de carbono do solo, demonstrando que o manejo de solo e dos cultivos deve visar o aumento do estoque de carbono a longo

prazo, com vistas a sustentabilidade ambiental.

O mapa para o número de indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹ demonstrou que a parte central direita da área em estudo é a que apresenta a maior abundância de organismos da fauna edáfica. No entanto, não existe relação clara na distribuição das linhas de contorno entre o mapa do número de indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹, e os mapas de produtividade de soja e conteúdo de carbono. Porém, o mapa do número de indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹, possui diferenciação clara de duas zonas de manejo, uma com maior diversidade localizada na metade superior e outra na metade inferior da área, indicando que estudos futuros devem considerar tal diferenciação para se poder representar com maior acurácia a variabilidade espacial dos organismos da fauna do solo.

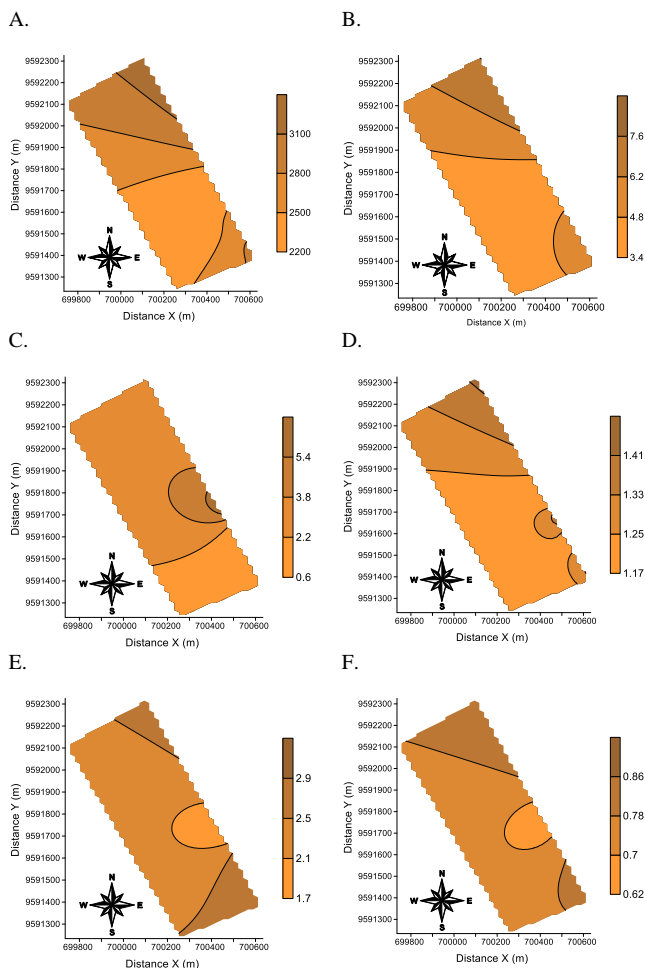


Fig. 2. Mapas de variabilidade espacial para a produtividade (A), carbono orgânico (B), e os índices de diversidades da fauna do solo na área de estudo: indivíduos armadilha⁻¹ dia⁻¹ (C), diversidade de Shannon (D), dominância de Simpson (E) e equitabilidade de Pielou (F).

Com relação aos índices de diversidade (Diversidade de Shannon, Dominância de Simpson e Equitabilidade de Pielou) se verifica que os mapas de variabilidade possuem comportamento aleatório, sem evidência de nenhum padrão persistente entre os mapas de variabilidade espacial. No entanto, o mapa de variabilidade espacial para o índice de diversidade de Shannon, dominância de Simpson e equitabilidade de Pielou possuem os maiores valores

relacionados a parte superior da área de estudo, que coincidem com o mapa de produtividade de soja e do conteúdo de carbono.

4.- Conclusão

A fauna edáfica apresentou relação espacial com a produtividade de soja e com o conteúdo de carbono, indicando que estes organismos podem ser utilizados como indicadores biológicos de qualidade ambiental e de manejo do solo. O uso de ferramentas de geoestatística permitiu o mapeamento da diversidade da fauna do solo, evidenciando zonas com maior diversidade, no entanto, foi constatada elevada variabilidade em menores distâncias que a do espaçamento utilizado, demonstrando que os organismos da fauna são sensíveis ao manejo.

Agradecimentos. Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA). Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Nós também agradecemos ao Conselho Nacional de Científico e Tecnológico (CNPq, Brasil).

5.- Bibliografia

- Aquino, A.M., 2001. *Manual para macrofauna do solo*. Embrapa Agrobiologia. 21p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 130).
- Alves, F.A.L., Alves, C.A.B., Alves, P.R.R., Oliveira, R. de, Rosa, J.H., Fernandes, Y.T.D., Nunes, E.N., Souto, J.S. 2014. Caracterização da macro e mesofauna edáfica sobre um fragmento remanescente de “mata atlântica” em Areia, PB. *Gaia Scientia*, v. 8, n. 1, 384-391.
- Ayuke, F. O.; Brussaarda, L.; Vanlauwe, B.; Six, J.; Lelei, D. K.; Kibunja, C. N.; Pulle, M. M., 2011. Soil fertility management: Impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation. *Applied Soil Ecology*, v.48, 53-62.
- Bardgett, R.D., Patten, W.H., 2014. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, v. 515, 505-511.
- Baretta, D; Santos, J. C. P.; Mafra, A. L.; Wildner, L. P.; Miquelluti, D. J. 2003. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 2:97-106.
- Bernard, L., Chapuis-Laedy, L., Razafimbelo, T., 2012. Endogeic earthworms shape bacterial functional communities and affect organic matter mineralization in a tropical soil. *ISME Journal*, v. 6, 222-231.
- Bottinelli, N., Jouquet, P., Capowiez, Y., Podwojewski, P., Grimaldi, M., Peng, X., 2015. Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? *Soil & Tillage Research*, v. 146, 118-124.
- Buss, R.N., R.A. Silva, G.M. Siqueira, J.O.R Leiva, O.C.C. Oliveira, e V.L. França, 2019. Spatial and Multivariate Analysis of Soybean Productivity and Soil Physical-Chemical Attributes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 23 (6): 446-56. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p446-453>.
- Cabrera, G., 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes*, v. 35, 349-364.
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B, Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlem, D.L., Turvo, R.F., Konopa, A.E., 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, 1501-1511.
- Caproni, A.L., Granha, J.R.D.O., Souchie, E.L., Figueira, A.F., Oliveira, A.C.S., 2011. Diversidade da macrofauna do solo em ecossistemas no município de Rolim de Moura, RO. *Global Science Technology*, v. 03, 48-57.
- Carrillo, T., Ball, B.A., Bradford, M.A., Jordan, C.F., Molina, M., 2011. Soil fauna alter the effects of litter composition on nitrogen cycling in a

- mineral soil. *Soil Biological Biochemistry*, v. 43, 1440–1449.
- Corbo, J.Z.F., Siqueira, G.M., Vieira, S.R. 2017. Spatial distribution of the fauna of the soil on the long-term system of direct sowing. *Journal of Geospatial Modelling*, v. 2, n.2, 16-31.
- Chiba, M.K., Filho, O.G., Vieira, S.R., 2010. Variabilidade espacial e temporal de plantas daninhas em Latossolo Vermelho argiloso sob semeadura direta. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 32, 735-742.
- Oliveira, F.S., Varajão, A.F.D.C., Varajão, C.A.C., Schaefer, C.E.G.R., Boulangé, B., 2014. The role of biological agents in the microstructural and mineralogical transformations in aluminium lateritic deposit in Central Brazil. *Geoderma*, v. 226, 250-259.
- Domínguez, A., Bedano, J.C.; Becker, A.R., Aroffo, R.V. 2014. Organic farming fosters agroecosystem functioning in Argentinian temperate soils: evidence from litter decomposition and soil fauna. *Applied Soil Ecology*, v. 83, 170-176.
- EMBRAPA, *Sistema brasileiro de classificação de solos* - SBCS. 3. ed. Brasília, 2013. 353p.
- de Vries, F.T., Thébault, E., Liiri, M., Birkhofer, K., Tsiafouli, M.A., Bjørnlund, L., Jørgensen, H.B., Brady, M.V., Christensen, S., De Ruiter, P., Hertefeldt, T., Frouz, J., Hedlund, K., Hemerik, L., Holk, W.H.G., Hotes, S., Mortimer, S.N., Setälä, H., Sgardelis, S.P., Uteseny, K., Van Der Putten, W.H., Wolters, V., Bardgett, R.D., 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proceeding of the National Academy of Sciences U. S. A.* 110, 14296–14301.
- Gholami, S., Hosseini, S.M., Mohammadi, J., Mahini, A.S., 2014. Assessment of vegetation density and soil macrofauna relationship in riparian forest of Karkhe River for determination of rivers buffer zone. Iran. *Journal Applied Ecology*, v. 7, 1-13.
- Lemos Filho, L.C.A., Oliveira, E.L., Faria, M.A., Andrade, L.A.B., 2008. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, 193-202.
- Leiva, J.O.R, R.A. Silva, R.N. Buss, V.L. França, A.A. Souza, e G.M. Siqueira. 2019. Multifractal Analysis of Soil Penetration Resistance under Sugarcane Cultivation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 23 (7): 538–44. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n7p538-544>.
- Magurran, A.E., 1988. *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey: Princeton University Press.
- Marchão, R.L., Lavelle, P., Celini, L., Balbino, L.C., Vilela, L., Becquer, T., 2009. Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, 1011-1020.
- Raij, B. V.; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.
- Simpson, E.H., 1949, Measurement of diversity. *Nature*, v. 163, 688.
- Silva, J., Jucksch, I., Feres, C.I.M.A, Tavares, R.C., 2012, Soil faunal in management systems with coffee. *Journal Biotechnology and Biodiversity*, v. 3, 59-71.
- Silva, J., Junior, R.N.A., Matias, S.S.R., Tavares, R.C., Andrade, F.R., Camacho-Tamayo, J.H., 2014. Using geostatistics to evaluate the physical attributes of a soil cultivated with sugarcane. *Revista Ciências Agronômica*, v. 57, 186-193.
- Silva, R.F. da; Aquino, A.M. de; Mercante, F.M.; Guimarães, M. de F. 2008. Macrofauna invertebrada do solo em sistema integrado de produção agropecuária no Cerrado. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 30, 725-731.
- Silva, R.A., G.M., Siqueira, M.K.L., Costa, O.Guedes Filho, e Ê.F.F., Silva. 2018. "Spatial Variability of Soil Fauna Under Different Land Use and Managements". *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 42 (0). <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170121>.
- Siqueira, G.M., Silva, R.A., Aguiar, A.C.F., Costa, M.K.L., França e Silva, E.F., 2016. Spatial variability of weeds in an Oxisol under no-tillage system. *African Journal Agricultural Research*, v. 29, 2569-2576.
- Siqueira, G.M., Dafonte Dafonte, J., Valcárcel, A.M., 2015. Correlación espacial entre malas hierbas en una pradera y su relación con la conductividad eléctrica aparente del suelo (CEA). *Planta Daninha*, v. 33, 631-641.
- Siqueira, G. M., E. F. F. Silva, e J. Paz-Ferreiro, 2014. "Land Use Intensification Effects in Soil Arthropod Community of an Entisol in Pernambuco State, Brazil". *The Scientific World Journal* 2014: 1–7. <https://doi.org/10.1155/2014/625856>.
- Siqueira, G.M., Vieira, S.R., Falci Dechen, S.C., 2009. Variabilidade espacial da densidade e da porosidade de um latossolo vermelho eutroférico sob semeadura direta por vinte anos. *Bragantia*, v. 68, 751-759.
- Siqueira, G.M., Vieira, S.R., Ceddia, M.B., 2008. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. *Bragantia*, v. 67, 203-211.
- Veldkamp, E. 1994. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Science Society of America Journal*, Madson, v. 58, 175-180.
- Vieira, S.R., 2000. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F. (Ed.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Soc. Bras. Ci. Solo. 1-54.
- Wagg, C., Bender, S.F., Widmer, F., Van der Heijden, M.G.A., 2016. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceeding National Academy Sciences*, v. 111, 5266-5270.
- Warrick, A. W. & Nielsen, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. *Applications of soil physics*. New York, Academic Press, 1980. 350p.
- Wolters, V., 2001. Biodiversity of soil animals and its function. *European Journal of Soil Biology*, v. 37, 221–227.
- Zonta, J.H., Brandão, Z.N., Medeiros, J.C., Sana, R.S., Sofiatti, V., 2014. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, 595-602.