VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DA SOJA CULTIVADA EM COBERTURA VEGETAL DO NABO FORRAGEIRO

DIANDRA PINTO DELLA FLORA[1], ANTÔNIO LUIS SANTI[2], JORGE WILSON CORTEZ[3]

[1]Ms. em Agronomia, Doutoranda, UFGD, Dourados-MS, diandradellaflora@gmail.com;
[2]Dr. em Ciência do solo, Prof. Adj., UFSM, Frederico Westphalen-RS, santi_pratica@yahoo.com.br;
[3]Dr. em Agronomia, Prof. Ass. FCA, UFGD, Dourados-MS, jorgecortez@ufgd.edu.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: A quantificação e distribuição espacial da produtividade e da produção de biomassa de plantas de cobertura é ponto fundamental no manejo de precisão das lavouras. Assim, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial da produtividade da cultura da soja e da biomassa da cobertura vegetal de nabo forrageiro. O estudo foi conduzido em propriedade comercial sendo a coleta de dados realizada em área experimental de 38 ha, com malha de amostragem georreferenciada por meio de grade amostral de 0,5 ha. Os dados de biomassa foram coletados quando a cultura atingiu o pleno florescimento. A produtividade foi determinada por meio de mapa de produtividade obtido a partir de uma colhedora. Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva, geoestatística, correlação simples de Pearson ($p < 0,05$) e a interpolação por krigagem. Não ocorreu correlação entre a produtividade da soja e a produção de biomassa do nabo forrageiro. A produtividade da soja apresentou baixa variabilidade dos dados e a produção de biomassa da planta de cobertura apresentou alta variabilidade.
PALAVRAS-CHAVE: Sistema plantio direto, planta de cobertura, rotação de culturas.

SPATIAL VARIABILITY OF PRODUCTIVITY OF SOYBEAN CULTIVATED IN VEGETABLE COVERAGE OF FORAGE TURNIP

ABSTRACT: The quantification and spatial distribution of productivity and biomass production of cover plants is a fundamental point in the precision management of crops. Thus, the objective was to evaluate the spatial variability of the productivity of the soybean crop and the biomass of the forage turnip plant cover. The study was conducted on a commercial property and the data collection was carried out in a 38 ha experimental area, with a georeferenced sampling mesh using a 0,5 ha sampling grid. Biomass data was collected when the crop reached full bloom. Productivity was determined using a productivity map obtained from a harvester. The data obtained were submitted to descriptive statistical analysis, geostatistics, Pearson's simple correlation ($p < 0,05$) and kriging interpolation. There was no correlation between soybean yield and forage turnip biomass production. Soy productivity showed low data variability and the cover plant biomass production showed high variability.
KEYWORDS: No-tillage system, cover plant, culture rotation.

INTRODUÇÃO

O desafio atual para a produção de alimentos é aumentar a produtividade das culturas, reduzindo o uso de insumos e o impacto ao meio ambiente (Abdalla et al., 2019). Uma das estratégias mais eficientes adotas, visando a melhoria da qualidade e do potencial produtivo do solo, foi o sistema plantio direto (SPD), entretanto, esta melhoria não se manifesta de forma homogênea em toda área (Amado et al., 2007), podendo promover aumento na variabilidade produtiva. Nesse sentido, a Agricultura de Precisão atua no manejo da lavoura respeitando a variabilidade espacial existente, levando em consideração os fatores que determinam o desempenho das culturas.

Uma das premisas do SPD é o uso de plantas de cobertura do solo. Dentre as culturas utilizadas no sistema de rotação, o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L) possui rápido crescimento inicial e alta capacidade de ciclar nutrientes como nitrogênio e fósforo (Bueno e Rodrigues, 2019), além de promover melhorias da qualidade física do solo por seu sistema radicular agressivo. Entretanto, a variabilidade na produção de biomassa produzida pelas plantas de cobertura pode influenciar positiva ou negativamente a cultura posterior.

Assim, a quantificação e distribuição espacial da produtividade dos cultivos principais e da produção de biomassa pelas plantas de cobertura é um ponto fundamental no manejo de precisão das lavouras. Desta forma, objetivou-se avaliar a variabilidade da produtividade da cultura da soja cultivada e da biomassa da cobertura vegetal de nabo forrageiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em propriedade localizada no município de Boa Vista das Missões – RS. O clima da região é subtropical de primavera úmida (ST PU) com temperatura média anual de 18,1 ºC e precipitação pluvial anual de 1.919 mm ano-1 (Maluf, 2000). O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (Santos et al., 2013), com textura argilosa (> 60%), o relevo predominante da região é suave ondulado.

As coletas de dados foram realizadas em área experimental de 38 ha, com malha de amostragem georreferenciada por meio da grade amostral de 0,5 ha (70,71 m x 70,71 m), totalizando 76 pontos amostrais.

A área experimental foi semeada em 27 de junho de 2017 com a cultura do nabo forrageiro IPR 116 (*Raphanus sativus* L.), com densidade de semeadura de 18 kg ha^{-1}. Os dados de biomassa foram coletados quando a cultura atingiu o pleno florescimento, e a biomassa seca determinada por meio da coleta manual com o auxílio de um quadro amostral de área conhecida (0,25 m²), e posteriormente encaminhado para secagem em estufa a temperatura aproximada de 60°C, até atingir peso constante. Com o uso de uma balança de precisão foi determinada a biomassa seca (Mg ha^{-1}).

A cultura da soja foi semeada em 28 de outubro de 2017. A produtividade foi determinada por meio de mapa de produtividade obtido a partir de colhedora.

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística exploratória (estatística descritiva), obtendo-se medidas de posição (mínimo, média e máximo) e de dispersão (desvio padrão, coeficientes de variação (CV%), assimetria e de curtose).

A dispersão relativa dos dados, fornecida pelos valores de coeficiente de variação (CV%), foram classificadas como baixa quando CV for inferior a 10% (alta precisão), média quando o CV estiver entre 10% e 20% (boa precisão), alta de 20% a 30% (baixa precisão) e muito alta com CV maior que 30% (baixíssima precisão) (Pimentel-Gomes e Garcia, 2000). A hipótese de normalidade foi testada pelo teste Ryan-Joiner, sendo considerados como distribuição normal os dados que obtiveram *p*-valor > 0,05.

A análise geoestatística foi realizada por meio de semivariogramas experimentais (Vieira, 2000), sendo os ajustes realizados por meio de modelos teóricos (esférico, exponencial, gaussiano e linear). O ajuste dos modelos foi realizado com base no melhor coeficiente de determinação (r^2) e avaliados pela técnica de validação cruzada. Do ajuste de um modelo matemático aos dados, foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita (C_0), contribuição (C_1), patamar (C_0+C_1) e alcance (a). O índice de dependência espacial (IDE) foi calculado por meio da equação: IDE=[C_0/(C_0+C_1)]*100. Com base nos IDE, classificou-se o grau de dependência espacial (GDE) como: forte, para IDE ≤25%; moderado, para IDE entre 25 e 75%; e fraco, para IDE >75% (Cambardella et al., 1994).

A correlação entre os dados de biomassa do nabo forrageiro com a produtividade da cultura da soja foram verificadas por meio da correlação simples de Pearson ($p < 0,05$).

A espacialização da variabilidade da produtividade da soja e produção de biomassa do nabo forrageiro foi procedida por meio da construção dos mapas temáticos de interpolação por krigagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análise estatística descritiva dos dados de produtividade da soja e de produção de biomassa do nabo forrageiro (Tabela 1), indicam alta variabilidade produtiva da área, verificada pela

amplitude dos dados, principalmente na cultura de cobertura que produziu entre 0,74 e 3,4 Mg ha^{-1} de biomassa seca. A variabilidade espacial apresentou coeficiente de variação de 7,82 e 33,88%, considerados como baixa e muito alta, respectivamente, de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes e Garcia (2000). A correlação das variáveis foi considerada negativa, porém não significativa.

Tabela 1. Resultado da estatística descritiva para avaliar a produtividade da soja e a produção de biomassa do nabo forrageiro

Mínimo	Média	Máximo	DP	CV%	Cs	Ck	RJ	Correlação
Produtividade da soja (Mg ha^{-1})								
3,16	3,92	4,38	0,31	7,82	-0,42	-0,54	0,98*	-0,16^{ns}
Biomassa do nabo forrageiro (Mg ha^{-1})								
0,74	1,60	3,40	0,54	33,88	0,78	0,82	0,98*	

DP: desvio padrão; CV%: coeficiente de variação; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; RJ: teste de Ryan-Joiner para distribuição normal, onde (*) significativo em níveis de $p < 0,05$, dados sem normalidade e (^{ns}) não significativo, dados normais. Quando significativo, indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

A produção de biomassa não seguiu a tendência de distribuição normal pelo teste de Ryan-Joiner (Tabela 1), com coeficiente de assimetria positivo, indicando uma distribuição assimétrica à direita, e de curtose classificado como distribuição leptocúrtica. Os dados de produtividade da soja apresentaram coeficientes negativos para assimetria e curtose, o que caracteriza uma curva assimétrica negativa, que indica a cauda da curva de distribuição deslocada para o lado esquerdo e, portanto, um desvio da curva para a direita em comparação com a curva normal, logo, a produtividade não seguiu distribuição normal.

A variabilidade espacial observada nas lavouras pode influenciar positiva ou negativamente as culturas utilizadas em rotação, de modo que a homogeneização do talhão seja essencial para o aumento do potencial produtivo. Alguns autores relatam que a produção de biomassa pelas plantas de cobertura pode apresentar variabilidade relacionadas pelo relevo, manejo ou condições de solo (Blanco-Canqui et al., 2015; Basche et al., 2016; Yuan et al., 2019). Já a produtividade da soja pode ter sua variabilidade espacial pronunciada por fatores relacionados às propriedades físicas do solo (Amado et al., 2005), nutrientes (Franções e Bier, 2010; Ronner et al., 2016), condições climáticas (Blackmore et al., 2003), entre outros.

Os parâmetros geoestatisticos da produtividade da soja e de biomassa do nabo forrageiro (Tabela 2), indicaram dependência espacial moderada pela classificação de Cambardella et al. (1994), com valores de alcance de 266,9 m para soja e 366,9 m para o nabo, e modelos esférico e exponencial, respectivamente, ajustados aos semivariogramas (Figura 1).

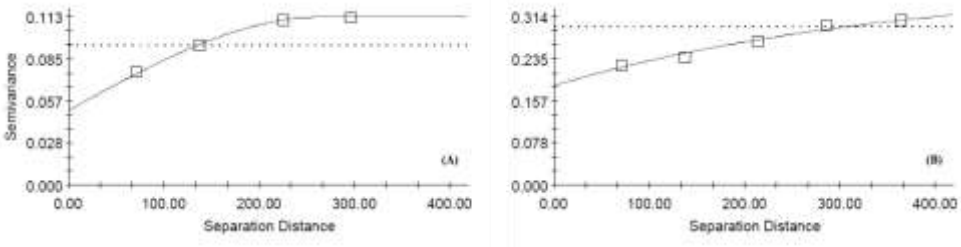
Tabela 2. Resultado dos parâmetros geoestatísticos para avaliar a produtividade da soja e a produção de biomassa do nabo forrageiro

Efeito Pepita (C_0)	Patamar (C_0+C_1)	Contribuição (C_1)	Alcance (a)	Modelo	r^2	Dependência Espacial	
						IDE	GDE
Produtividade da soja (Mg ha^{-1})							
0,0500	0,1130	0,0630	266,9	Esférico	0,99	44,25	Moderado
Biomassa do nabo forrageiro (Mg ha^{-1})							
0,1854	0,3788	0,1934	366,9	Exponencial	0,97	48,94	Moderado

r^2: coeficiente de determinação; IDE: índice de dependência espacial; GDE: grau de dependência espacial.

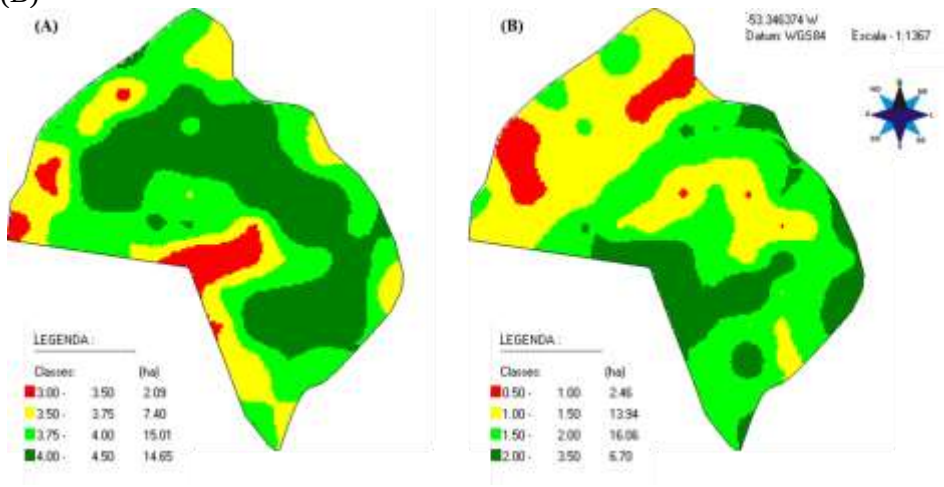
Na interpretação dos semivariogramas, o alcance refere-se à distância máxima que uma variável está correlacionada espacialmente, e de acordo com Vieira (2000), variáveis amostradas a distâncias maiores que os valores de alcance tem distribuição aleatória e, por isso, são independentes entre si. Carvalho et al. (2002) afirmam que, para garantir dependência espacial, deve-se utilizar metade do valor do alcance como maneira de definir a distância máxima entre amostras. De acordo com estes critérios, a distância de coleta de pontos utilizada neste trabalho foi inferior à metade do alcance (Figura 1), garantindo a dependência espacial.

Figura 1. Ajustes de semivariogramas da produtividade da soja (A) e de produção de biomassa no nabo forrageiro (B)



Os mapas de produtividade da soja e de produção de biomassa do nabo, espacializados na forma de mapas temáticos (Figura 2) refletem a alta variabilidade do nabo (Tabela 1). De acordo com Molin (2006), a soja não é um bom indicador para detectar variabilidade espacial, sendo mais difícil se manejar a variabilidade espacial desta cultura em comparação com as demais culturas anuais.

Figura 2. Variabilidade espacial da produtividade da soja (A) e de produção de biomassa no nabo forrageiro (B)



Grande quantidade de trabalhos relataram que a produtividade da soja pode ou não ser influenciada pelas culturas de inverno utilizadas como cobertura (Nicoloso et al., 2008; Debiasi et al., 2010; Gazola e Cavariani, 2011; Damian et al., 2017). Essas contradições de respostas justificam novos estudos incluindo avaliações de médio e longo prazo tanto da produção de biomassa de plantas de cobertura como para a produtividade das culturas de interesse comercial, pois a relação das coberturas com a produtividade dos cultivos, em geral, requerem um tempo maior para de fato promoverem melhorias quanti e qualitativas nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo e, por sua vez, influenciar no desenvolvimento e na produtividade das plantas.

CONCLUSÃO

A produtividade da soja não foi influenciada pela produção de biomassa do nabo forrageiro.

A produtividade da soja apresentou baixa variabilidade dos dados e a da biomassa do nabo forrageiro apresentou alta variabilidade.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

Abdalla, M.; Hastings, A.; Cheng, K.; Yue, Q.; Chadwick, D.; Espenberg, M.; Truu, J.; Rees, R. M.; Smith, P. A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. Global Change Biology, v.25, p.2530-2543, 2019.

Amado, T. J. C.; Nicoloso, R.; Lanzanova, M.; Santi, A. L.; Lovato, T. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. Revista Plantio Direto, n.89, p.34-42, 2005.

Amado, T. J. C.; Pontelli, C. B.; Santi, A. L.; Viana, J. H. M.; Sulzbach, L. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, n.8, p.1101-1110, 2007.

Basche, A. D.; Archontoulis, S. V.; Kaspar, T. C.; Jaynes, D. B.; Parkin, T. B.; Miguez, F. E. Simulating long-term impacts of cover crops and climate change on crop production and environmental outcomes in the Midwestern United States. Agriculture, Ecosystems and Environment, v.218, p.95–106, 2016.

Blackmore, B. S.; Godwin, R. J.; Fountas, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. Biosystems Engineering, v.84, p.455-466, 2003.

Blanco-Canqui, H.; Shaver, T. M.; Lindquist, J. L.; Shapiro, C. A.; Elmore, R. W.; Francis, C. A.; Hergert, G. W. Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. Agronomy Journal, v.107, n.6, p.2449–2474, 2015.

Bueno, J.B; Rodrigues, G.A. Palha sobre o solo no crescimento da cultura do nabo forrageiro em área degradada. Revista Interface Tecnologica, v.16, n.1, p.370-377, 2019.

Cambardella, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science** Society of America Journal, v.58, p.1501-1511, 1994.

Carvalho, J. R. P.; Silveira, P. M.; Vieira, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. PesquisaAgropecuária Brasileira, v.37, p.1151-1159, 2002.

Damian, J. M.; Santi, A. L.; Fornari, M.; Da Ros, C. O.; Eschner, V. L. Monitoring variability in cash-crop yield caused by previous cultivation of a cover crop under a no-tillage system. Computers and electronics in agriculture, v.142, p.607-621, 2017.

Debiasi, H.; Levien, R.; Trein, C. R.; Conte, O.; Kamimura, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, n.6, p. 603-612, 2010.

Frances, T. A.; Bier, V. A. Variabilidade espacial dos nutrientes no solo e seus efeitos na produtividade de soja. Cultivando o saber, v.3, n.2, p.65-76, 2010.

Gazola, E.; Cavariani, C. Desempenho de cultivares transgênicas de soja em sucessão a culturas de inverno em semeadura direta. Bioscience Journal, v.27, n.5, p.748-763, 2011.

Maluf, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.8, n.1, p.141-150, 2000.

Molin, J. P. Agricultura de precisão aprimora gerenciamento. Visão agrícola, n.5, p.115-118, 2006.

Nicoloso, R. da S.; Amado, T.J.C.; Scheneider, S.; Lanzanova, M. E.; Girardello, V. C.; Bragagnolo, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.1723-1734, 2008.

Pimentel-Gomes, F.; Garcia, C. H. Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais. Piracicaba FEALQ : 309, 2002.

Ronner, E.; Franke, A. C.; Vanlauwe, B.; Dianda, M.; Edeh, E.; Ukem, B.; Bala, A.; Van Heerwaarden, J.; Giller, K. E. Understanding variability in soybean yield and response to P-fertilizer and rhizobium inoculants on farmers' fields in northern Nigeria. Field Crops Research, v.186, p.133-145, 2016.

Santos, H.G. et al. (Ed.). Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

Vieira, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, 352p. p.1-54, 2000.

Yuan, M.; Burjel, J.C.; Isermann, J.; Goeser, N.J.; Pittelkow, C.M. Unmanned aerial vehicle-based assessment of cover crop biomass and nitrogen uptake variability. Journal of Soil and Water Conservation, v.74, n.4, p.350–359, 2019.