AGRARIAN
OPEN ACCESS
e-ISSN: 1984-2538

Variabilidade espacial dos componentes produtivos da cultura da soja

Spatial variability of the productive components of the soybean crop

Luiz Claudio Rodrigues
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)
E-mail: luizclaudior85@gmail.com
OrcID: https://orcid.org/0000-0002-2831-4656

Cassiano Garcia Roque
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)
E-mail: cassiano.roque@ufms.br
OrcID: https://orcid.org/0000-0001-6872-0424

Fernando França da Cunha
Universidade Federal de Viçosa (UFV)
E-mail: fernando.cunha@ufv.br
OrcID: https://orcid.org/0000-0002-1671-1021

Paulo Cezar Gomes de Assunção
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)
E-mail: paulo.assuncao@ufms.br
OrcID: https://orcid.org/0000-0002-4534-5569

Gabriela Vitória Souza
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)
E-mail: gabriela.vitoria@ufms.br
OrcID: https://orcid.org/0000-0002-6690-5879

Fabio Henrique Rojo Baio
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)
E-mail: fabio.baio@ufms.br
OrcID: https://orcid.org/0000-0002-9522-0342

Job Teixeira de Oliveira
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)
E-mail: job.oliveira@hotmail.com
OrcID: https://orcid.org/0000-0001-9046-0382

Data de recebimento: 27/01/2023
Data de aprovação: 12/05/2023
DOI: https://doi.org/10.30612/agrarian.v16i56.16682

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

AGRARIAN
OPEN ACCESS
e-ISSN: 1984-2538

Resumo: Objetivou-se interpretar a estrutura e a magnitude da distribuição espacial dos atributos da planta em lavoura de soja. Os atributos avaliados foram amostrados numa área de 22 ha, onde a determinação dos pontos de coleta de amostras se realizou em uma malha de 99 pontos. A análise dos dados possibilitou constatar que os componentes de produção e produtividade da soja (produtividade de grãos, massa de 100 grãos, número de vagens por planta, número de grãos por planta, altura da planta, número de internódios, número de grãos por vagem e massa de grãos por planta) apresentaram correlação e variabilidade espacial. Por meio da cokrigagem, se evidenciou significativa correlação espacial entre a produtividade de grãos da soja, e número de vagens por planta, número de grãos por planta e número de internódios, demonstrando que esses atributos podem servir de parâmetros para avaliação indireta da produtividade da soja.

Palavras-chave: Atributo de planta. Ciclo vegetativo. *Glycine max* (L) Merrill. Morfologia. Semivariogramas.

Abstract: The aim was to interpret the structure and magnitude of the spatial distribution of plant attributes in a soybean crop. The evaluated attributes were sampled in an area of 22 ha, where the determination of sample collection points was carried out in a mesh of 99 georeferenced points. Data analysis made it possible to verify that the soybean production and productivity components (grain productivity, 100-grain mass, number of pods per plant, number of grains per plant, plant height, number of internodes, number of grains per pod and grain mass per plant) showed correlation and spatial variability. Through cokriging, there was a significant spatial correlation between soybean grain yield and number of pods per plant, number of grains per plant and number of internodes, demonstrating that these attributes can serve as parameters for indirectly evaluating soybean yield.

Keywords: Plant attribute. Vegetative cycle. Glycine max (L) Merrill. Morphology. Semivariograms.

1 Introdução

A soja (*Glycine max L.)* é um vegetal integrante da família das leguminosas (Fabaceae), extremamente rico em proteínas e pode ser consumida tanto por humanos como por animais. Atualmente no Brasil, temos o setor do agronegócio como uma das principais atividades com relação à geração de resultados e movimentação da economia, e dentre os ofícios exercidos pelo agronegócio, destaca-se a produção e comercialização da soja, que é o grão mais exportado e um dos mais valorizados no mercado. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2021), o Brasil atualmente é o maior exportador e produtor de soja no mundo, atingindo a marca de cerca de 135,9 milhões de toneladas do produto, número este que reforça o protagonismo brasileiro no mercado internacional.

Com o aumento da utilização da agricultura de precisão no Brasil, o estudo geoestatístico dos componentes produtivos das plantas relacionados com a produtividade das culturas vem se intensificando (Oliveira *et al*., 2018). Ferraz, Silva, Carvalho, Alves e Franco (2012), definem agricultura de precisão como um conjunto de técnicas e tecnologias capaz de auxiliar o produtor a manejar sua lavoura, visando aumento da produção e da renda, melhor eficiência nas técnicas de adubação, de colheita e de pulverização, contribuindo para melhor qualidade final do produto.

No que se refere à geoestatística, os estudos empregados na agricultura de precisão, a partir da interpolação simples e cruzada de dados (Krigagem e Cokrigagem) referentes aos atributos físicos do solo, permitem estimar a variabilidade espacial de determinada variável por meio de outra com facilidade (Montanari *et al*., 2010).

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

Portanto, objetivou-se interpretar a estrutura e a magnitude da distribuição espacial dos atributos da planta em lavoura de soja e assim realizar o mapeamento desses componentes produtivos, de modo que possibilite a visualização e a distribuição espacial dos mesmos, avaliando também a correlação espacial existente entre a produtividade da soja e as demais variáveis da planta.

2 Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no município de Chapadão do Sul, situado na região leste do estado de Mato Grosso do Sul - Brasil, onde as pesquisas e análises laboratoriais foram feitas, com base na coleta de dados do experimento que foi conduzido na Fazenda Independência, localizada no município de Chapadão do Céu - GO, cujas coordenadas geográficas são: 18º 24' 17" de latitude Sul; 52º 44' 57" de longitude Oeste com cerca de 825 m de altitude.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico com textura variando de muito argilosa à moderado epidistrófico, segundo Santos *et al*. (2018). As amostras de solo foram coletadas em 20 de março de 2018, com trado de caneco, na camada 0,0 - 0,20 m, sendo coletadas 04 sub-amostras simples para obtenção de uma amostra composta e foram enviadas para determinação dos atributos químicos, conforme os parâmetros descritos por Teixeira, Donagemma, Fontana e Teixeira (2017), sendo os atributos químicos o pH ($CaCl_2$), teor de fósforo (P) (mg dm^{-3}), teor de potássio (K) ($mmol_c$ dm^{-3}), cálcio (Ca) ($mmol_c$ dm^{-3}), magnésio (Mg), ($mmol_c$ dm^{-3}), alumínio (Al), ($mmol_c$ dm^{-3}), soma de bases (SB), ($mmol_c$ dm^{-3}) , acidez potencial (H+Al), ($mmol_c$ dm^{-3}), capacidade de troca catiônica (CTC), ($mmol_c$ dm^{-3}), saturação de bases (V%), (%), e matéria orgânica (MO), (g dm^{-3}). As análises do solo estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Analise físicas e químicas do Latossolo Vermelho distrófico típico.
Table 1. *Physical and chemical analysis of the typical dystrophic Red Oxisol.*

Profundidade	Cor		Composição Granulométrica			Relação Silte/argila	Análise Química pH		
	Seco	úmido	Areia	Silte	Argila				
m	-	-	g kg^{-1}			-	$CaCl_2$	KCl	H_2O
0 – 0,20	5,0 YR 4/4	5,0 YR 3/3	231	106	663	0,16	5,0	5,0	6,2
0,80 – 1,00	2,5 YR 4/6	2,5 YR 4/4	199	86	715	0,12	5,3	5,4	5,9

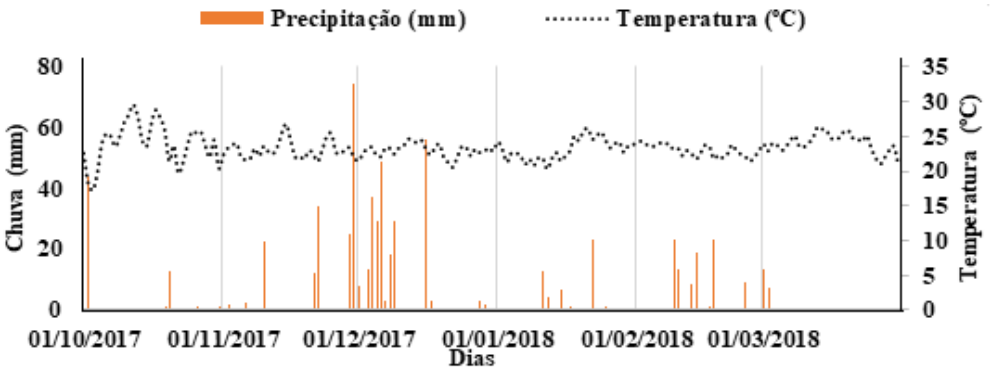
	Análise química											
	ΔpH	P	MO	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	H^++Al^{+3}	Al^{+3}	SB	CTC	V%	m%
m	-	mg dm^{-3}	g dm^{-3}	$mmol_c$ dm^{-3}							%	%
0 – 0,20	-1,2	32	27	1,6	24	8	38	1,0	33,6	71,6	47	2,9
0,80 – 1,00	-0,5	1	14	0,5	5	3	24	0,3	8,5	32,5	26	3,4

Fonte: Elaborada pelos autores. ***Source:*** *Prepared by the authors.*

O clima na região do experimento, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical úmido megatérmico (Aw), com temperaturas oscilando de 17 a 30ºC, e precipitação anual entre 1.400 a 2.200 mm por ano, com duas estações bem definidas: seca no inverno, e úmida no verão (Flumignan, Fietz, Comunello, 2015). Mais de 60 % das precipitações está concentrada de setembro a março, conforme se pode observar na Figura 1.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

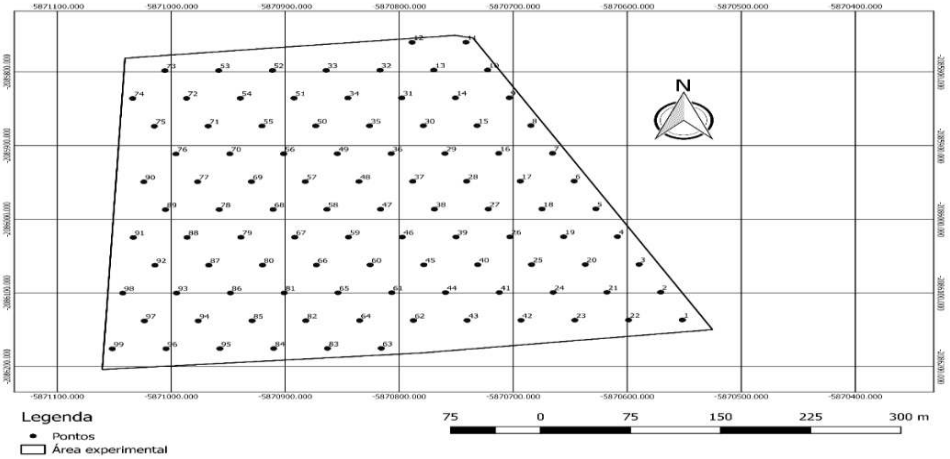
Figura 1. Gráfico de pluviosidade e temperatura de outubro de 2017 a março de 2018.
Figure 1. *Graph of rainfall and temperature from October 2017 to March 2018.*



Fonte: Elaborada pelos autores. ***Source:*** *Prepared by the authors.*

A coleta dos dados foi realizada em uma área de 22 ha, na qual a determinação dos pontos de coleta de amostras de solo e de planta foi feita com malha regular disposta por 40,0 x 40,0 m, totalizando 99 pontos (Figura 2).

Figura 2. Representação da malha amostral do canteiro de plantio.
Figure 2. *Representation of the sampling mesh of the planting bed.*



Fonte: Elaborada pelos autores. ***Source:*** *Prepared by the authors.*

A produtividade dos grãos (PG) de soja foi obtida a partir da colheita realizada na área do experimento em kg ha^{-1} no dia 05 de março de 2018. Em cada ponto amostral foram colhidas seis plantas representativas do local e retirados todos os grãos das plantas. Após, foi padronizada a umidade dos grãos para 13% e determinado a produtividade. Os demais atributos, como a (MCG) massa de cem grãos refere-se à pesagem de cada cem grãos por planta, separados manualmente e pesados em balança de precisão, assim como a (MGP) massa de grãos por planta; o (NVP) número de vagens por planta e o (NGP) número de grãos por planta foram contados manualmente, assim como o (NIN) número de internódios e o (NGV) número de grãos por vagem. A altura da planta (ALT) foi medida manualmente com o auxílio de fita métrica (trena) com escala milimétrica.

Para análise dos dados, foi realizada uma análise descritiva clássica, com auxílio do software RBio (Bhering, 2017), onde foram calculados a média, valores mínimos e máximos, desvio-padrão, coeficiente de variação, curtose, assimetria e distribuição de frequência; já nos componentes produtivos (CP) estudados, efetuou-se uma análise descritiva clássica, com auxílio do programa estatístico Rbio (biometria no R) versão 17,

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

em que foram calculados a média, mediana, valores mínimos e máximos, desvio-padrão, coeficiente de variação, curtose, assimetria e efetuada a análise da distribuição de frequência dos dados.

Para testar a hipótese de normalidade, foi utilizada a estatística de Shapiro & Wilk (1965), a 5% de probabilidade. Para a classificação do coeficiente de variação (CV), adotaram-se as seguintes classes e magnitudes: baixa (CV≤10%), média (10%<CV≥ 20%), alta (20%<CV≤ 30%) e muito alta (CV > 30%) variabilidade (Dalchiavon e Carvalho 2012).

A análise da dependência espacial dos atributos foi realizada pelo cálculo do semivariograma, com base nos pressupostos de estacionaridade da hipótese intrínseca, usando-se o *Gamma Design Software* GS$^+$ (2004). Os ajustes dos semivariogramas simples, em função de seus modelos, foram efetuados prioritariamente pela seleção inicial de: a) a menor soma dos quadrados dos desvios (SQR), b) o maior coeficiente de determinação (r^2) e c) o maior avaliador do grau da dependência espacial (ADE). A decisão final do modelo que representou o ajuste foi realizada pela validação cruzada, assim como para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor malha de krigagem, segundo Dalchiavon e Carvalho (2012).

Para caracterização da estrutura e da magnitude da dependência espacial dos componentes produtivos da planta de soja, foram realizados os ajustes de semivariograma. Estimados coeficientes do modelo teórico para o semivariograma denominado de efeito pepita (C_0); patamar (C_0+C); o alcance (A_0) e análise do avaliador da dependência (ADE) em cada atributo estudado de acordo. Para os dados que não houve ajuste de semivariograma, Oliveira *et al.* (2018) descreve que o efeito pepita pode representar o erro ou a variabilidade em pequena escala, isto é, revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre os pontos amostrados. Lembrando que resultados com valores de efeito pepita maiores que zero são frequentemente encontrados em trabalhos com dados agrícolas (Garcia-Papani, Leiva, Uribe-Opazo, Aykroyd, 2018; Fagundes, Uribe-Opazo, Guedes, Galea, 2018).

Após o ajuste dos semivariogramas, foi realizada a interpolação dos dados por krigagem de forma a possibilitar a visualização dos padrões de distribuição espacial dos componentes produtivos da soja. Foram gerados mapas de erro-padrão da predição por krigagem. A validação cruzada é uma ferramenta destinada a avaliar modelos alternativos de semivariogramas simples e cruzados, que efetuarão respectivamente a krigagem e a co-krigagem. Na sua análise, cada ponto contido dentro do domínio espacial é removido individualmente, sendo seu valor estimado como se ele não existisse. Dessa forma, pode-se construir um gráfico de valores estimados versus observados, para todos os pontos.

3 Resultados e Discussão

Os resultados da análise descritiva dos componentes produtivos da planta em estudo podem ser visualizados na Tabela 2.

A partir da análise realizada com base nos valores mínimos e máximos, da média e, também, da variância dos valores dos atributos da cultura da soja, é possível perceber uma significativa variação nos dados. No entanto, apenas o pré-reconhecimento desta variação não é fidedigno para se caucionar de fato os teores altos e baixos dos atributos. Para isso, o uso da geoestatística se torna indispensável na identificação da variabilidade espacial, principalmente para demonstrar como esta variabilidade se dá na área em estudo, auxiliando melhor cognição por meio de confecções de mapas e ilustrações, de maneira que favorece o gerenciamento mais preciso das intervenções de campo necessárias.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

Tabela 2. Estatística descritiva para os componentes produtivos (CP) da cultura da soja.
Table 2. *Descriptive statistics for the productive components of the soybean crop.*

CP	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	CV (%)	Curtose	Assime-tria	Pr<w	DF
PG	4433,70	3278,00	5152,02	1872,92	19,85	0,24	-0,48	0,06	NO
MCG	17,34	14,70	19,20	0,68	3,92	1,60	-0,23	0,03	TN
NVP	48,36	27,00	71,30	7,34	15,18	0,43	0,19	0,64	NO
NGP	110,13	63,80	160,50	16,44	14,93	0,38	0,27	0,46	NO
ALT	50,98	43,70	58,30	3,48	6,83	-0,75	0,10	0,22	NO
NIN	13,64	11,50	15,40	0,87	6,37	-0,45	-0,36	0,07	NO
NGV	2,29	2,10	2,70	0,09	3,75	4,17	0,99	$1,02^{E-09}$	IN
MGP	19,10	10,10	27,80	2,89	15,13	0,64	0,06	0,60	NO

Produtividade de grãos (PG), em kg ha^{-1}; massa de 100 grãos (MCG), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), altura da planta (ALT), em cm; número de internódios (NIN), número de grãos por vagem (NGV) e massa de grãos por planta (MGP). DF = distribuição de frequência - NO, do tipo normal, TN, tendendo a normal, IN, indeterminado. **Fonte:** Elaborada pelos autores.
Grain yield (PG), in kg ha^{-1}; mass of 100 grains (MCG), number of pods per plant (NVP), number of grains per plant (NGP), plant height (ALT), in cm; number of internodes (NIN), number of grains per pod (NGV) and mass of grains per plant (MGP). DF = frequency distribution - NO, of the normal type, TN, tending to normal, IN, undetermined. ***Source:*** *Prepared by the authors.*

Todos os índices descritos apresentaram variação de baixa à média (Tabela 2), sendo que a massa de cem grãos (MCG), a altura da planta (ALT), o número de internódios (NIN) e o número de grãos por vagem (NGV), foram os atributos que apresentaram baixa variabilidade. Sendo assim, os demais componentes, que são a produtividade de grãos (PG), o número de vagens por planta (NVP), o número de grãos por planta (NGP) e a massa de grãos por planta (MGP) demonstraram médio coeficiente de variação. Oliveira *et al*. (2018) destacam a importância do coeficiente de variação em plantas, pois menores coeficientes representam plantas mais uniformes tendendo a menores variações na lavoura.

Os estudos dos componentes produtivos apresentaram coeficientes de simetria positiva para NVP, NGP, ALT, NGV e MGP, as quais foram respectivamente de 0,19; 0,27; 0,10; 0,99 e 0,06 e simetria negativa para PG, MCG e NIN que foram de -0,48; -0,23 e -0,36, respectivamente. Já os coeficientes de curtose positiva se deram para PG, MCG, NVP, NGP, NGV e MGP que foram de 0,24; 1,60; 0,43; 0,38; 4,17 e 0,64, respectivamente.

Os componentes produtivos PG, NVP, NGP, ALT, NIN e MGP foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste de normalidade de Shapiro e Wilk (1965), uma vez que suas respectivas probabilidades foram de 0,06; 0,64; 0,46; 0,22; 0,07 e 0,60. O atributo de MCG apresentou tendência à normalidade com probabilidade de 0,03, enquanto o NGV teve sua probabilidade indeterminada. A produtividade média da soja foi de 4.433,70 kg ha^{-1}, similar aos valores de Oliveira, Knies, Bottega, Silva, e Gomes (2021) que encontraram produtividade média da soja irrigada de 4.475,5 kg ha^{-1}. Porém, acima dos valores normalmente obtidos em alguns estudos como o de Gajić, Kresovic, Tapanarova, Zivotic e Todorovic (2018) que observaram média da produtividade da soja de sequeiro de 3.548,30 kg ha^{-1} e Moro, Pereira, Pereira, Fiorini, e Junior (2021), que encontraram resultados médios de produtividade de 3.659,58 kg ha^{-1} em diferentes populações de soja por hectare.

A análise geoestatística demonstrada na Tabela 3, evidencia dependência espacial para os semivariogramas dos componentes produtivos da soja: PG, NVP, NGP e ALT que se ajustaram ao modelo exponencial, concordando com Montanari *et al*. (2010) que dizem que os modelos exponenciais se apresentam como os teóricos mais comuns aos atributos

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

da planta. Já os componentes produtivos NIN e NGV se ajustaram ao modelo gaussiano. E em contrapartida os componentes produtivos MCG e MGP obtiveram efeito pepita puro.

O efeito pepita puro ocorre quando a distribuição da variável na área é aleatória, ou quando distância mínima entre os pontos amostrais é superior à distância da dependência espacial. Dependendo do arranjo amostral, ocorre mudança dos modelos teóricos ajustados, demonstrando que há grande influência do arranjo amostral na análise geoestatística dos dados (Gelain, Bottega, Motomiya, Oliveira, 2021).

Tabela 3. Parâmetros estimados para o semivariograma simples dos componentes produtivos (CP) da cultura de soja.
Table 3. *Estimated parameters for the simple semivariogram of the productive components of the soybean crop.*

CP (a)	Modelo (b)	Pepita C_o	Patamar C_o+C	Alcance A_o (m)	r^2	SQR (c)	ADE (d)	
							%	Classe
PG	exp	221698	468970	280,0	0,81	5,36 E09	0,527	Moderada
MCG	epp	x	X	x	x	x	x	x
NVP	exp	32,000	58,00	230,0	0,75	65,9	0,448	Moderada
NGP	exp	199,000	296,00	300,0	0,64	2313,0	0,328	Moderada
ALT	exp	1,100	12,00	105,0	0,42	0,9	0,812	Forte
NIN	gau	0,030	0,80	68,0	0,73	0,1	0,963	Forte
NGV	gau	0,001	0,01	67,0	0,86	1,3 E06	0,873	Forte
MGP	epp	x	X	x	x	x	x	x

(a) Produtividade da soja, kg ha^{-1}, Produtividade de grãos (PG), massa de 100 grãos (MCG), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), altura da planta (ALT), em cm; número de internódios (NIN), número de grãos por vagem (NGV) e massa de grãos por planta (MGP). (b) exp = exponencial, epp = efeito pepita puro e gau = gaussiano; (c) SQR = Soma do quadrado do resíduo; (d) ADE = avaliador da dependência espacial. **Fonte:** Elaborada pelos autores.
(a) Soybean productivity, kg ha^{-1}, grain yield (PG), mass of 100 grains (MCG), number of pods per plant (NVP), number of grains per plant (NGP), plant height (ALT), in cm; number of internodes (NIN), number of grains per pod (NGV) and mass of grains per plant (MGP). (b) exp = exponential, epp = pure nugget effect and gau = Gaussian; (c) SQR = Sum of squared residue; (d) ADE = spatial dependence estimator. ***Source:*** *Prepared by the authors.*

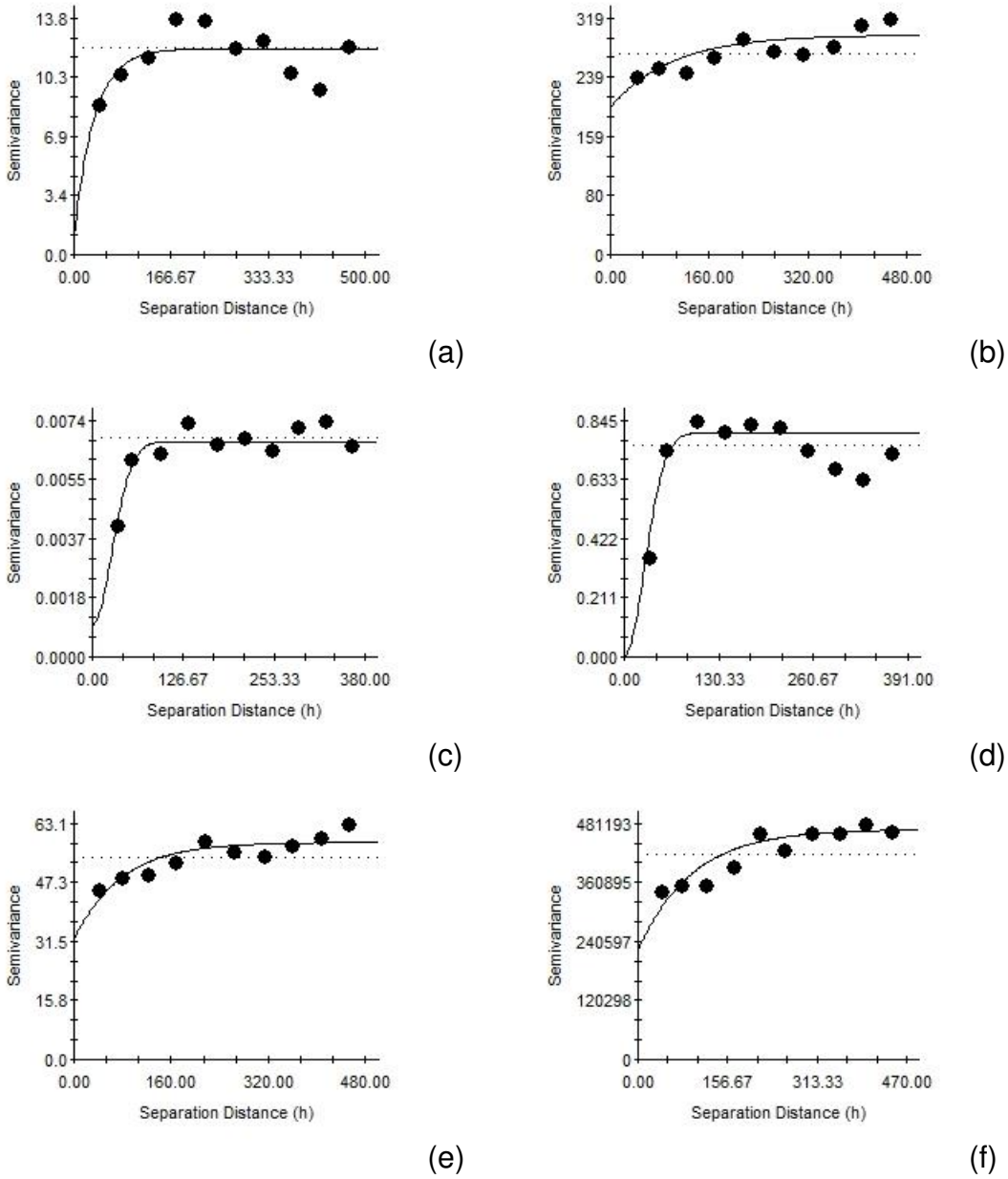
Os valores das variáveis PG e NVP, apresentaram ADE média, enquanto NGP apresentou baixa ADE. Já os atributos ALT, NIN, NGV demonstraram alta taxa de ADE, por outro lado temos o MCG e MGP que obtiveram efeito pepita puro, onde não foi possível ajustar os dados. Segundo Lima, Montanari, Lovera, Teixeira e Gonzales (2017), quando os semivariogramas são apresentados como exponencial e esférico eles apresentam, respectivamente, média e baixa continuidade da variabilidade espacial, já o modelo gaussiano pode ser interpretado como um grande prosseguimento da variabilidade espacial.

Após os ajustes dos semivariogramas para cada componente produtivo da cultura da soja, que estão demonstrados nas Figuras 3a, 3b, 3c, 3d, 3e e 3f, se estimou os valores por meio da krigagem, onde, desta maneira, foi possível construir mapas de distribuição espacial para quase todos os atributos deste estudo, com exceção a MCG e MGP, pois os mesmos obtiveram efeito pepita puro. Assim, pode-se observar nas Figuras 4a, 4b, 4c, 4d, 4e e 4f, a variabilidade espacial na área.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

Figura 3. Semivariogramas dos componentes produtivos da planta de soja, onde: (a) ALT – altura da planta; (b) NGP – número de grãos por planta; (c) NGV – número de grãos por vagens; (d) NIN – número de internódios; (e) NVP – número de vagens por planta; (f) PG – produtividade de grãos.

Figure 3. *Semivariograms of the productive components of the soybean plant, where: (a) ALT – plant height; (b) NGP – number of grains per plant; (c) NGV – number of grains per pod; (d) NIN – number of internodes; (e) NVP – number of pods per plant; (f) PG – grain yield.*

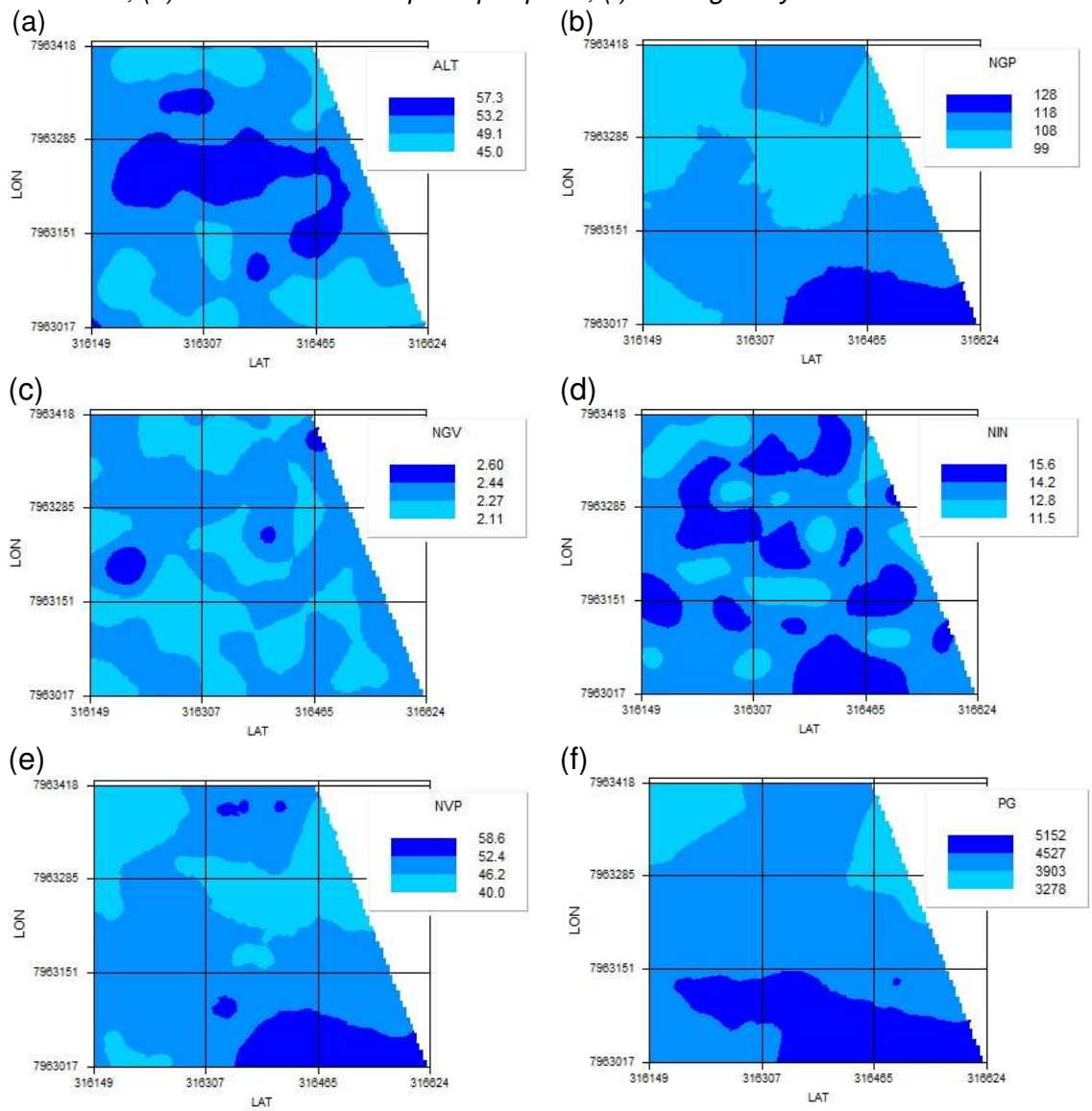


Fonte: Elaborada pelos autores. ***Source:*** *Prepared by the authors.*

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

Figura 4. Mapas de Krigagem dos componentes da planta de soja: (a) ALT – altura da planta; (b) NGP – número de grãos por planta; (c) NGV – número de grãos por vagens; (d) NIN – número de internódios; (e) NVP – número de vagens por planta; (f) PG – produtividade de grãos.

Figure 4. *Kriging maps of soybean plant components: (a) ALT – plant height; (b) NGP – number of grains per plant; (c) NGV – number of grains per pod; (d) NIN – number of internodes; (e) NVP – number of pods per plant; (f) PG – grain yield.*



Fonte: Elaborada pelos autores. ***Source:*** *Prepared by the authors.*

A observação de semivariogramas e mapas de krigagem, em conjunto com a interpretação de dados dos componentes produtivos da planta, podem contribuir para encontrar os motivos da ocorrência da variabilidade da produtividade, possibilitando a correção de possíveis falhas e permitindo que nos próximos plantios as adversidades possam ser reduzidas (Montanari *et al.*, 2010). Logo, é extremamente proveitoso buscar tais informações, para que sejam tomadas decisões certeiras para um melhor manejo da cultura não somente da soja, mas como de qualquer outra que possa apresentar necessidades específicas de solo ou de planta.

Observando os mapas de variabilidade espacial da produtividade (Figura 4f), pode-se perceber que as regiões centrais da área experimental foram as que apresentaram

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

média produtividade na lavoura. Os maiores valores de produtividade foram observados na região sul da área amostral. Por isso, conhecer a variabilidade espacial dos atributos é de fundamental importância para tomada de decisões sobre a produtividade das culturas, uma vez que os mapas de produtividade ilustram esta variabilidade (Guo, Maas, Bronson, 2012).

Os mapas obtidos por meio da interpolação de dados e através do método da krigagem são de suma importância para a agricultura de precisão, sendo eles analisados posteriormente para que se possam planejar novas amostragens, realizando assim adubações e correções exatas do solo, diminuindo o desperdício de insumos agrícolas e trazendo maior viabilidade econômica, de acordo com variabilidade espacial dos valores de cada atributo (Oliveira, Oliveira, Puiatti, Teodoro, Montanari, 2020), sejam eles do solo ou da planta.

O semivariograma cruzado entre os componentes produtivos da soja demonstrados na Tabela 4, descreve a PR (produtividade da soja) em função f(NVP) = número de vagens por planta, f(NGP) = número de grãos por planta, f(NIN) = número de internódios. Indicam que esses atributos podem servir de parâmetros indiretos para determinação da produtividade da soja, nas condições do estudo.

Tabela 4. Parâmetros estimados para o semivariograma cruzado dos componentes produtivos da cultura de soja.
Table 4. *Parameters estimated for the cross semivariogram of the productive components of the soybean crop.*

Índice Fenológico (a)	Modelo (b)	Pepita Co	Patamar Co+C	Alcance Ao (m)	r^2	SQR (c)	ADE (d)	
							%	Classe
PR = f(NVP)	exp	2412,00	4825	272,00	0,832	396410	0,500	Moderada
PR = f(NGP)	exp	7183,00	10777	300,00	0,757	2710555	0,333	Moderada
PR = f(NIN)	esf	1,00	380	84,00	0,907	3164	0,997	Forte

(a) PR = produtividade da soja, em função f(NVP) =número de vagens por planta, f(NGP) = número de grãos por planta, f(NIN) = número de internódios. (b) esf = esférico e exp = exponencial; (c) SQR = Soma do quadrado do resíduo; (d) ADE = avaliador da dependência espacial.
Fonte: Elaborada pelos autores.
(a) PR = soybean yield, as a function of f(NVP) = number of pods per plant, f(NGP) = number of grains per plant, f(NIN) = number of internodes. (b) esf = spherical and exp = exponential; (c) SQR = Sum of squared residue; (d) ADE = spatial dependence estimator.
Source: *Prepared by the authors.*

Os modelos ajustados foram exponencial para PR=f(NVP) e para PR=f(NGP), enquanto para PR=f(NIN) foi esférico. Estes resultados mostram uma relação direta entre a produtividade e os componentes de produção estudados, ou seja, com aumento do número de vagens por planta, reflete aumento no número de grãos por planta, pois os dois apresentaram uma forte correlação entre si. Estudos conduzidos por Borges Nascimento e Morgado (2022), apresentaram resultados semelhantes, e demonstraram que a variabilidade espacial pode interferir na produtividade da planta quando há uma relação direta entre os componentes de produção.

4 Conclusão

Os atributos de produtividade da soja: produtividade de grãos (PG), massa de 100 grãos (MCG), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), altura da planta (ALT), número de internódios (NIN), número de grãos por vagem (NGV) e massa de grãos por planta (MGP) apresentaram dependência espacial.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

Através da cokrigagem, evidenciou-se significativa correlação espacial entre a produtividade de grãos da soja, e número de vagens por planta, número de grãos por planta e número de internódios, demonstrando que esses atributos podem servir de parâmetros para avaliação indireta da produtividade da soja.

5 Referências

Bhering, L.L. (2017). Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.17: 187-190p, https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29.

Borges, L.C; Nascimento, A.R; Morgado, C.M.A. (2022). Agricultura de precisão: ferramenta de gestão na rentabilidade e produtividade de grãos. *Scientific Electronic Archives*, v. 15, n. 3, DOI: https://doi.org/10.36560/15320221520.

Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. (2021). Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: safra 2020/2021: Brasília: *Companhia Nacional de Abastecimento*. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos >.

Dalchiavon, F. C.; Carvalho, M. P. (2012). Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. *Semina*: Ciencias Agrarias, v. 33, n. 2, p. 541–552, http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n2p541.

Fagundes, R. S., Uribe-Opazo, M. A., Guedes, L. P. C., Galea, M. (2018). Slash spatial linear modeling: soybean yield variability as a function of soil chemical properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 42, https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170030.

Ferraz, G. A. S. Silva, F. M., Carvalho, L. C. C., Alves, M. C., Franco, B. C. (2012). Variabilidade espacial e temporal do fósforo, potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira. *Engenharia Agrícola*, v. 32, n. 1, p. 140-150, https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000100015.

Flumignan, D. L., Fietz, C. R., Comunello, E. (2015). O clima na região do Bolsão de Mato Grosso do Sul. Embrapa Agropecuária Oeste. Documento 127, 42 p. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1007480/1/DOC2014127.pdf

Gamma Design Software. (2004). GS+:Geostatistics for the Environmental Sciences, Plainwell, Mich. https://geostatistics.com/.

Gajić, B.; Kresovic, B.; Tapanarova, A.; Zivotic, L.; Todorovic, M. (2018). Effect of irrigation regime on yield, harvest index and water productivity of soybean grown under different precipitation conditions in a temperate environment. *Agricultural Water Management*, Elsevier, v. 210 (c), p. 224-23, https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.002.

Garcia-Papani, F., Leiva, V., Uribe-Opazo, M. A., Aykroyd, R. G. (2018). Birnbaum-Saunders spatial regression models: Diagnostics and application to chemical data. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, v. 177, p. 114-128, https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2018.03.012.

Gelain, E., Bottega, E. L., Motomiya, A. V. A., & de Oliveira, Z. B. (2021). Variabilidade espacial e correlação dos atributos do solo com produtividade do milho e da soja. *Nativa*, *9*(5), 536-543. DOI: 10.31413/nativa.v9i5.11717.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.

Guo, W.; Maas, S. J.; Bronson, K. F. (2012). Relationship between cotton yield and soil electrical conductivity, topography, and landsat imagery. *Precision Agriculture*, v. 13, p. 678-692, DOI: https://doi.org/10.1007/s11119-012-9277-2.

Jardine, J. G. Barros, T. D. (2021). Soja. Ageitec. Agência Embrapa de Tecnologia da Informação. Brasilia. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vmz02wx5eo0sawqe3vtdl7vi.html>.

Lima, E. D. S.; Montanari, R.; Lovera, L. H.; Teixeira, K. M. C. M.; Gonzales, A. P. (2017). Variabilidade espacial das propriedades dendrométricas do eucalipto e atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico. *Revista de Agricultura Neotropical*, DOI: https://doi.org/10.32404/rean.v4i1.1194.

Montanari, R., Passos, M., Andreotti, M., Dalchiavon, F. C., Lovera, L. H., Honorato, M. A. O. (2010). Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 6, p. 1811-1822, https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000600005.

Moro, F.S., Pereira, C. S., Pereira, H. D., Fiorini, I. V. A., & Junior, E. U. R. (2021). Produtividade de grãos em soja e seus componentes sob diferentes densidades de plantio. *Tecno-Lógica*, *25*(2), 314-319. https://doi.org/10.17058/tecnolog.v25i2.16216.

Oliveira, J. T., de Passos, M., Roque, C. G., Baio, F. H. R., Kamimura, K. M., da Silva Ribeiro, I., & Teodoro, P. E. (2018). Space variability of phenological indicators of common bean crop. *Bioscience Journal*, 34(2). doi: 10.14393/BJ-v34n2a2018-39659.

Oliveira, J. T., De Oliveira, R. A., Puiatti, M., Teodoro, P., & Montanari, R. (2020). Spatial analysis and mapping of the effect of irrigation and nitrogen application on lateral shoot growing of garlic. HortScience, 55(5), 664-665. https://doi.org/10.21273/HORTSCI14881-20.

Oliveira, Z. B., Knies, A. E., Bottega, E. L., da Silva, C. M., & Gomes, J. I. T. (2021). Influência da irrigação suplementar na produtividade de cultivares de soja para a safra e safrinha 2018-19 e 2019-20 na região central do RS. *Brazilian Journal of Development*, *7*(2), 15580-15595. DOI:10.34117/bjdv7n2-263.

Pimentel-Gomes, F. P., Garcia, C. H. (2002). *Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais*. Piracicaba, FEALQ. 309p. ISBN: 857133014X.

Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 5. ***ed***., rev. e ampl. 356 p.: il. color. ISBN: 978-85-7035-800-4.

Shapiro, S. S.; Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality: complete samples. *Biometrika*, Oxford, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, https://doi.org/10.2307/2333709.

Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., & Teixeira, W. G. (2017). Manual de métodos de análise de solo. *3a edição ed. Brasília, DF: Embrapa Solos* 574 p. il. color. ISBN: 978-85-7035-771-7.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil.