



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CAMPUS IV – CHAPADINHA - MA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS



GILDENE DA SILVA BRITO

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS DA SOJA CULTIVADA EM
SOLO INFESTADO POR *Pratylenchus brachyurus***

Chapadinha, MA

2016

GILDENE DA SILVA BRITO

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS DA SOJA CULTIVADA EM
SOLO INFESTADO POR *Pratylenchus brachyurus***

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, como requisito para a obtenção do título de Licenciada e Bacharela em Ciências Biológicas.

Chapadinha, MA

2016

GILDENE DA SILVA BRITO

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS DA SOJA CULTIVADA EM
SOLO INFESTADO POR *Pratylenchus brachyurus***

Aprovada em ____/____/____

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, como requisito para a obtenção do título de Licenciada e Bacharela em Ciências Biológicas.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Izumy Pinheiro Doihara (Orientadora)

Doutora em Ciência do Solo
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Prof. Dr. Fredgardson Costa Martins

Doutor em Ciência do Solo
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Prof. MSc. Charlyan de Sousa Lima

Mestre em Ciência Animal
Governo do Estado do Maranhão

A Deus, a minha família e
amigos

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me concedido a oportunidade de realizar esse trabalho.

A minha família: meu pai, Valber Barbosa Brito, minha mamãe, Maria da Silva Brito e aos meus irmãos, Airton Brito, Ailton Brito e Alessandro Brito pelo apoio, amor e incentivo. Por acreditarem em mim e pela força que me deram nos momentos em que mais precisei.

Ao meu namorado Romário Ferreira de Matos, pela dedicação, paciência e empenho em me ajudar nas análises e explicações estatísticas. E por está sempre presente nos momentos em que mais precisei. Sem sua ajuda tudo seria mais difícil.

A minha orientadora Prof. Dra. Izumy Pinheiro Doihara pela orientação e dedicação nesse estudo.

A minha tia Maria José Brito, pelo investimento e apoio de sempre.

A minha amiga de turma Eliene Lima pelo companheirismo, apoio e paciência.

A prof. Dr. Andréa Martins Cantanhede pelo apoio e por me incentivar a continuar na busca do saber científico.

A Prof. Cleane Barradas por ceder sua casa e por me auxiliar nos primeiros dias de minha vinda para Chapadinha/MA.

A minha segunda família “império das Princesas”, Conceição de Maria Batista, Gabriela Nunes e Alana Tereza Mesquita pelo cuidado e apoio.

As minhas amiguinhas Luciane Gomes e Katarine Batista pelo apoio e amizade.

As minhas colegas Roseana Ramos Perereira e Héllen Dantas Deifeld por me auxiliar nas análises de laboratório.

Ao dono da fazenda Unha de Gato César por ceder a área de sua fazenda para o estudo.

Aos professores do curso de Ciências Biológicas do CCAA-UFMA pela contribuição na minha formação acadêmica.

“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui, nunca desista dos seus objetivos mesmo que eles pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa.”

Albert Einstein

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Grade amostral com localização dos pontos de amostragem na área de soja na Fazenda Unha de Gato.....	05
Figura 2: Semivariogramas ajustados para os atributos da soja e para infestação por <i>P. brachyurus</i>	17
Figura 3: Mapas de variabilidade espacial dos atributos da soja infestada por <i>P. brachyurus</i>	21
Figura 4: Mapas dos valores estimados por krigagem da infestação do nematoide <i>P. brachyurus</i>	22

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Parâmetros estatísticos dos atributos da soja infestada por *P. brachyurus*.....11
- Tabela 2:** Coeficientes de correlação entre os atributos da soja e o número de nematoides no solo e na raiz da planta.....13
- Tabela 3:** Parâmetros de ajustes dos semivariogramas para os atributos da soja infestada por *P.brachyurus*.....16

SUMÁRIO

1. RESUMO.....	01
2. INTRODUÇÃO.....	02
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	04
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	08
5. CONCLUSÕES.....	22
6. LITERATURA CITADA.....	23

**Variabilidade espacial dos atributos da soja cultivada em solo infestado por
*Pratylenchus brachyurus***

Resumo: A soja é a monocultura que mais cresceu nos últimos anos. Apesar do avanço na produção, ainda existem fatores que limitam o seu desenvolvimento, como o aumento da população de nematoides fitoparasita. Dentre os nematoides mais importantes para a soja na região do leste maranhense podemos destaca-se o *Pratylenchus brachyurus*. O *P. brachyurus* é uma espécie endoparasita e migradora, que prejudica o sistema radicular da planta afetando seu desenvolvimento e produtividade. Sendo assim, o objetivo desse estudo foi verificar a variabilidade espacial dos atributos da soja cultivada em solo, naturalmente infestada por *P.brachyurus*. A área de estudo está localizada na fazenda Unha de Gato, município de Mata Roma-MA. As amostras foram coletadas em malha amostral com espaçamento regular de 2 m. Realizou-se a extração, identificação e contagem dos nematoides no laboratório de Fitopatologia (CCAA/UFMA). Os atributos da planta avaliados foram: altura, diâmetro da copa, comprimento da raiz, número de flores, número de vagens e matéria seca. Primeiramente, os dados foram avaliados por meio da estatística descritiva, utilizando-se o programa SURFER 11. Foram aplicadas as ferramentas de geoestatística (semivariogramas) para posterior construção dos mapas de isolinhas. Os modelos ajustados aos semivariogramas demonstraram que os atributos em estudo apresentaram dependência espacial, exceto o número de vagens que apresentou distribuição espacial aleatória. Os mapas de isolinhas mostram claramente a distribuição espacial dos atributos da soja e da infestação do nematoide *P. brachyurus*.

Palavras-chave: fitopatologia, ferramentas de geoestatística, nematoide.

**Spatial variability of soybeans attributes grown in infested soil by *Pratylenchus
brachyurus***

Abstract: Soybeans is the monoculture that mostly growing up in recent years. Although of the increase in production, there are factors that limit their development, such as increasing the population of phytoparasite nematodes. Among the most

important nematodes to soybeans in eastern region of Maranhao we can highlight the *Pratylenchus brachyurus* and *Tubixaba tuxaua*. *P. brachyurus* is an endoparasite and migratory specie, it damages the root system of the plant affecting their development and productivity. Therefore, this study aimed to investigate the spatial variability of soybeans attributes cultivated in soil naturally infested by *P.brachyurus*. The study area is located in Unha de Gato Farm, municipality of Anapurus-MA. The samples were collected in sampling grid with regular spacing of 2 m. It was held extraction, identification and counting of the nematodes in the laboratory of Phytopathology (CAAC/UFMA). Plant attributes evaluated were: plant length, canopy diameter, root length, number of flowers, number of pods and dry matter. Firstly, the data were analyzed using descriptive statistics, with the SURFER 11 software. We applied the geostatistics tools (semivariograms) for further construction of contour maps. The models adjusted to the semivariogram showed that the attributes under study showed spatial dependence, except the number of pods that had random spatial distribution. Through the contour maps, we clearly observed spatial distribution of soybeans attributes and nematodes infestation by *P. brachyurus*.

Key words: plant pathology, geoestatistics tools, nematode.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é a monocultura agrícola brasileira que mais cresceu nos últimos anos. Entre 2000 e 2013, a produção de soja cresceu, em nível nacional, 5,5% ao ano, passando de 13,9 milhões de toneladas para 87,5 milhões, isto é devido, principalmente, ao valor econômico e potencialidade de cultivo em diversas condições de solo e clima (Espíndola et al., 2015).

Apesar desse crescimento na produção, existem ainda fatores que limitam o aumento da produção da soja. Entre esses fatores estão os nematoides que prejudicam o desenvolvimento da planta, e assim ocasionam perdas na produtividade. Dentre os nematoides mais importantes para as áreas de plantio na região do leste maranhense está o *Pratylenchus brachyurus*. O *Pratylenchus brachyurus* é conhecido como nematoides

das lesões radiculares, pois são nematoides endoparasitas que causam severos danos às raízes devido à alimentação, movimentação, e por liberarem toxinas que degradam as paredes celulares do vegetal (Dias et al., 2010; Inomoto et al., 2011).

As plantas atacadas por *P. brachyurus* apresentam crescimento reduzido, tanto na parte aérea como no sistema radicular, as folhas tornam-se amareladas, características facilmente observadas em infestações severas (Bortolini et al., 2013).

Nos últimos anos, os nematoides têm causado perdas econômicas extremamente preocupantes, principalmente nas culturas de soja, feijão, milho, algodão e pastagens e em todas as regiões do Brasil, especialmente no bioma Cerrado. Atualmente, o aumento do número de espécies de nematoides parasitas de plantas tem recebido maior atenção devido ao impacto econômico que estes causam as culturas (Goulart, 2008; Inomoto et al., 2011).

Para o combate aos nematoides, o método mais utilizado é a aplicação de nematicida. No entanto, este método considera a infestação como sendo homogênea em toda área cultivada, isto ocasiona aplicação generalizada deste insumo na área. Dessa maneira, se a infestação apresentar variabilidade espacial (heterogênea), o uso desta modalidade de aplicação gera grandes desperdícios, elevando assim o custo da produção, a seleção de manejo dos nematoides mais resistentes e, poderá diminuir a eficiência desse método ao longo do tempo (Rodrigues, 2010). Outros métodos são o controle biológico, rodízio e consórcio de culturas, todavia, estes métodos necessitam de mais estudos que visem aumentar a eficiência dos mesmos (Antonio et al., 2012).

O conhecimento da variabilidade espacial pode indicar melhores alternativas para um manejo sustentável do solo. Por meio do mapeamento da variabilidade espacial das propriedades da planta-solo permite a aplicação de nematicida por zonas de manejo, de

forma diferenciada, favorecendo a eficiência do manejo, aumentando a eficiência do insumo, maximizando os benefícios e reduzindo custos (Rodrigues, 2010).

Diante do exposto, é importante o estudo desses organismos e da natureza das infestações provocadas, para que o agricultor utilize os meios adequados para o manejo do solo e da cultura, possibilitando a eficiência no cultivo e na produtividade. Desta maneira, este estudo teve como objetivo verificar a variabilidade espacial dos atributos da soja cultivada em solo naturalmente infestado por *P. brachyurus*.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada na fazenda Unha de Gato, município de Mata Roma-MA. A coleta foi realizada em 31 de Março de 2016 no período da manhã. O clima da região é do tipo Aw, caracterizado como tropical úmido (Köppen., 2006), sendo o solo classificado como *Latossolo amarelo* de acordo com EMBRAPA (2006). O tipo de vegetação predominante é Cerrado. A seleção da área deu-se mediante observação de sintomas visíveis na parte aérea conhecida como reboleiras (plantas que apresentam amarelecimento nas folhas, redução no crescimento, diminuição da parte aérea e radicular) e ocorrência de sintomas lesionais necróticas nas raízes das plantas que são características de infestação por *P. brachyurus*. Além do histórico de ocorrência deste nematoide na área.

As amostras foram coletadas em área medido 16 m x 18 m, sendo os pontos de coleta determinados pelas intersecções das linhas de malha amostral com espaçamento de dois metros, totalizando 72 pontos de coleta, conforme figura 1. Em cada ponto foi coletada uma amostra contendo de uma à três plantas com sistema radicular e solo. Foi avaliada uma planta por intersecção, a escolha desta levou em consideração a que sofreu menor dano na coleta com relação ao sistema radicular e parte aérea.

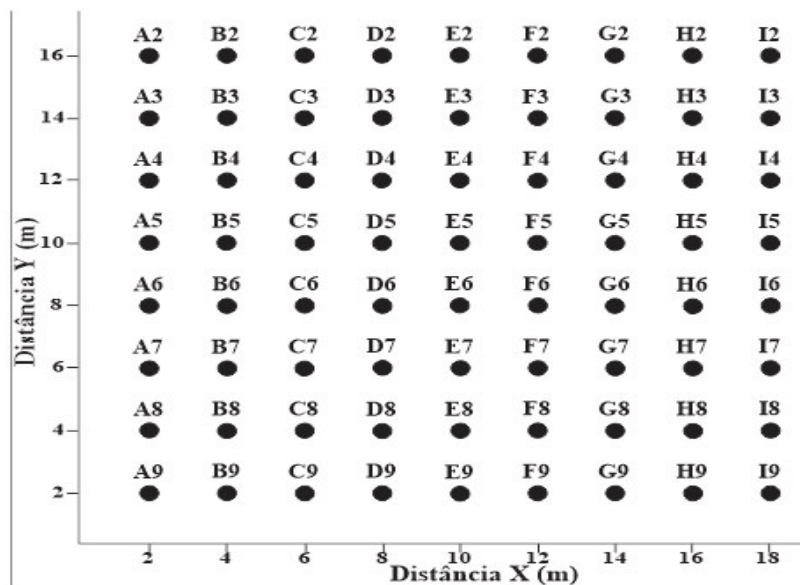


Figura 1. Grade amostral com localização dos pontos de amostragem na área de soja na Fazenda Unha de Gato.

As amostras foram encaminhadas para o laboratório de Fitopatologia, no Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão (CCAA/UFMA), onde foi feita a separação do solo e raiz. Em seguida foi realizada a homogeneização do solo e retirada uma alíquota para extração, identificação e contagem dos nematoides por amostras de solo e raiz.

Foi utilizado 200 cm³ de solo para a extração dos nematoides seguindo o “método do peneiramento combinado à flutuação em centrifuga com solução de sacarose” descrita por Jenkins (1964). Essa técnica consiste no peneiramento do solo, utilizando as peneiras com orifícios de 0,85 e 0,035 mm (20 e 400 mesh). As peneiras foram acopladas respectivamente, o material que ficou retido na peneira de 0,035 mm foi recolhido e colocado individualmente em tubos de centrifuga e centrifugado na faixa de 1800 a 2000 giros por minutos durante 5 minutos. Após a centrifugação, o sobrenadante foi descartado e adicionado uma solução de sacarose (454 g de açúcar refinado em 1L de água), para ser centrifugado novamente na mesma faixa de rotação durante 1 minuto,

o líquido sobrenadante foi vertido na peneira de 0,025 mm, e os nematoides retidos nessa peneira foram recuperados com auxílio de jatos de água aplicados com pisseta. As suspensões de nematoides foram acondicionado em tubos de plástico, identificados e mantido em geladeira com temperatura de 5°C.

A extração dos nematoides presentes nas raízes de soja foi realizada pelo método de Coolen & D'Herde (1972), que consiste em lavar as raízes e corta-las em pedaços de 5 cm e colocar em liquidificador contendo 250 ml de água e triturar durante 15 segundos. A suspensão resultante foi passada pelas peneiras de 20 e 400 mesh que estavam acopladas, respectivamente. O material que ficou retido na peneira de 400 mesh foi recuperado com auxílio de jatos de água aplicados com pisseta e colocados em tubos para serem centrifugados. Em cada frasco de amostra foi adicionado 1cm³ de argila branca. Após a centrifugação, o sobrenadante foi descartado e adicionado uma solução de sacarose (454 g de açúcar refinado em 1L de água), para ser centrifugado novamente na mesma faixa de rotação, e agora durante 1 minuto. O líquido sobrenadante foi vertido na peneira de 0,025mm, e os nematoides foram recuperados e acondicionados em tubos de plástico e mantido em geladeira com temperatura de 5°C, para posterior identificação e contagem. Para isto, utilizou-se um microscópio fotônico e auxílio de uma câmera de contagem de Pitters. A identificação do *P. brachyurus* foi realizada utilizando-se chave de identificação de Gonzaga et al.,2012.

Foram medidos e avaliados também os seguintes atributos das plantas: altura da planta, diâmetro de copa, comprimento da raiz, a massa natural e seca da parte aérea e a contagem do número de vagens e flores.

Para cada atributo em estudo foi efetuada análise estatística utilizando-se o programa SURFER 11 (Golden Software., 2012), para determinação dos seguintes parâmetros

estatísticos: média, mediana, moda, valores mínimo e máximo, desvio padrão, coeficiente de variação, curtose e assimetria.

Por meio das medidas da grade amostral adotada, foi incorporada uma coordenada geográfica aos dados para aplicação de ferramentas de geoestatística. Os conceitos teóricos da geoestatística têm suas bases em funções e variáveis aleatórias (Vieira, 2000), e na prática é preciso relacionar o conjunto de dados em estudo com uma das hipóteses da geoestatística. Esta restrição é necessária para que se possam adequar os dados a uma função matemática, visando detectar a sua variabilidade espacial.

O semivariograma experimental foi utilizado para se determinar a dependência espacial entre as amostras, compreendido pela fórmula:

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

Onde $\gamma^*(h)$ é semivariância estimada; $N(h)$ representa o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$ separadas por um vetor (h). Na denominação geoestatística, $Z(x_i)$ é descrito como variável regionalizada (Clark, 1979).

A técnica de interpolação por krigagem foi utilizada para determinar os valores dos locais não amostrados, buscando uma estimação linear (Equação 2), sem tendência (fórmula 3) e com variância mínima (Equação 4) considerando os valores da análise espacial determinada por meio do semivariograma experimental.

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i \quad (2)$$

$$E(Z^*) = E(Z) \text{ que é equivalente a } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3)$$

$$E[(Z^* - Z)^2] \quad (4)$$

O programa SURFER foi utilizado para construção dos mapas de isolinhas para os atributos envolvidos neste estudo. Desta maneira, os parâmetros de ajuste do semivariograma foram utilizados no processo de construção dos mapas de isolinhas dos atributos que apresentaram variabilidade espacial.

Para efeito de comparação entre os diferentes atributos em estudo, os atributos que não apresentarem variabilidade espacial, os mapas de isolinhas foram construídos utilizando os parâmetros de “*default*” do programa SURFER 11, que se baseia em um modelo de interpolação linear por krigagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As principais estatísticas descritivas para os atributos da soja infestada por *P. brachyurus* são mostradas na Tabela 1. A média de nematoides no solo foi $76,95 \pm 82,75$ (nematoides/200 cm³ de solo) e a média de nematoides na raiz foi $51,13 \pm 78,12$ (nematoides/10 g de raiz).

A média de nematoide na raiz foi baixa em relação à média de nematoides no solo, sendo que vários pesquisadores, Silva (2007), Inomoto et al. (2011) e Lopes (2015), afirmam que a quantidade de nematoides é maior na raiz, devido ao comportamento de *P. brachyurus* ser, principalmente, endoparasita. O fato de termos encontrado resultado divergente dos pesquisadores acima citados pode ser atribuído ao processo de degradação das raízes, provocado pela a alimentação e movimentação do parasita nas raízes da soja.

Segundo Ferraz (2010), quando as condições das raízes tornam-se desfavoráveis o nematoide migra da raiz para o solo, permanecendo no solo até encontrar um hospedeiro. E de acordo com Ribeiro et al. (2011), o solo é um importante habitat para nematoides por protegê-los contra a dessecação. Ainda existe a possibilidade de

equipamentos agrícolas, como arados e grade, até mesmo colhedoras podem transportar o nematoide nas rodas, discos e em outros componentes para o solo.

Além disso, segundo Melakeberhan (2004), Embrapa (2010), Franchini (2011), o baixo nível de nematoide encontrado na raiz pode está relacionado ao estado nutricional da planta, pois em condições de deficiências nutricionais da planta hospedeira a quantidade de nematoides nas raízes geralmente é mais baixa. Sendo que melhor nutrição da planta geralmente aumenta a tolerância ao ataque de *P. brachyurus*.

O valor elevado da dispersão em torno da média (desvio padrão e variância) indica que a distribuição das populações de nematoides não é homogênea tanto no solo quanto na raiz, isto também é verificado pela grande amplitude dos valores (diferença entre valor máximo e mínimo) para estas variáveis (Tabela 1).

Os atributos altura a planta, diâmetro de copa, comprimento da raiz, número de flores e matéria seca apresentaram distribuição de frequência normal, no entanto as variáveis número de vagens, nematoides no solo e nematoides na raiz apresentaram distribuição de frequência lognormal, conforme mostrado pelos valores de assimetria e curtose com valores próximos de 0 e 3, respectivamente (Carvalho et al 2002), proximidade entre média e mediana, e pelo teste de Kolmogorov-Smirnov à 5% de probabilidade (Tabela1).

Quanto ao coeficiente de variação (CV) as variáveis altura da planta, diâmetro de copa, comprimento da raiz e matéria seca apresentam CV médios (25%, 32%, 36% e 17%, respectivamente). Já as variáveis número de flores, número de vagens, nematoides no solo e nematoides na raiz apresentam CV elevados (64%, 136%, 108% e 153%, respectivamente) segundo a classificação de Warrick & Nielsen (1980): $CV \leq 12\%$, baixo; $CV 12-60\%$, médio; $CV \geq 60\%$, elevados. Em estudo de campo no leste Maranhense Freitas (2013) encontrou também CV elevados para nematoide na raiz. A

variação dos CVs de médios para elevados, deve-se principalmente pela ocorrência dos nematoides na área de estudo, ocasionando grande heterogeneidade dos atributos da planta conhecidas como “reboleiras” (Carvalho et al., 2013), visto que o manejo e a variedade da soja utilizados foram homogêneos.

Tabela 1. Parâmetros estatísticos dos atributos da soja cultivada em solo infestado por *P. brachyurus*.

	Altura da planta (cm)	Diâmetro da copa (cm)	Comprimento da raiz (cm)	Número de flores	Número de vagens	Matéria seca (%)	Nematoides no solo	Nematoides na raiz
Número de valores	72	72	72	72	72	72	72	72
Mínimo	23,00	5,00	7,50	6,00	0,00	32,22	0,00	0,00
Máximo	71,00	23,50	34,50	88,00	17,00	87,71	417,50	445,33
Média	41,63	13,72	16,01	29,40	3,39	69,86	76,95	51,13
Mediana	40,00	14,00	14,75	24,00	1,50	72,13	48,33	25,50
Variância	108,82	18,83	32,95	354,58	21,17	134,10	6847,32	6103,05
Desvio padrão	10,43	4,34	5,74	18,83	4,60	11,58	82,75	78,12
Coefficiente de variação	25%	32%	36%	64%	136%	17%	108%	153%
Assimetria	0,33	0,06	0,80	0,85	1,67	-1,22	1,81	3,17
Curtose	-0,44	-0,78	0,39	0,09	2,17	1,35	3,81	11,43
Kolmogorov-Smirnov	0,13	0,09	0,12	0,13	0,23	0,15	0,20	0,26
Valor crítico K-S à 5%	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16

Os dados de correlação linear são apresentados na tabela 2. Para caracterização do tipo de correlação foi utilizada a classificação de Callegari-Jacques (2003), assim, de acordo com os resultados, o número de nematoides no solo apresentou correlação fraca negativa com o número de flores (25%) e correlação moderada positiva com o número de nematoides na raiz (33%) e não apresentou correlação significativa ($p < 0,005$) com os demais atributos da planta em estudo. Já o atributo nematoides na raiz apresentou correlação fraca negativa com altura da planta e número de flores (24% e 23%, respectivamente) e correlação moderada negativa com o atributo comprimento da raiz (32%), não sendo significativa ($p < 0,005$) com os demais atributos da planta em estudo.

Os valores negativos na matriz de correlação indicam relação inversa, ou seja, com o aumento do número de nematoides no solo e na raiz, há diminuição nos valores dos atributos da planta (altura da planta, números de flores, comprimento da raiz e nematoides na raiz) mostrando assim, a influência da infestação por *P. brachyurus* sobre as características morfológicas e produtivas da soja.

Segundo Freitas (2013) e Haegeman et al. (2012) as lesões ocasionadas por *Pratylenchus ssp* provocam desordem e mal funcionamento nos processos de crescimento de raízes, assim a planta torna-se deficiente na exploração do solo para obtenção de água e nutrientes, prejudicando o crescimento e produção vegetal.

Estudos realizados em campo mostram a patogenicidade de *P. brachyurus* a cultura da soja ocasionando diminuição na produtividade de grãos (Inomoto et al., 2011; Rios, 2014). As plantas tornam-se pequenas e com ramos finos devido à completa destruição das raízes. A movimentação do nematoide na raiz destrói células, isto deixa as raízes pequenas, escuras e desprotegidas, podendo, posteriormente, serem invadidas por fungos e bactérias (Pankaj et al., 2012).

Tabela 2. Coeficientes de correlação entre os atributos da soja e o número de nematoides no solo e na raiz da planta.

	Altura da planta	Diâmetro de copa	Número de flores	Número de vagens	Matéria seca	Comprimento da raiz	Nematoides na raiz
Nematoides no solo	**	**	-0,25*	**	**	**	+0,33*
Nematoides na raiz	-0,24*	**	-0,23*	**	**	-0,32*	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ** Não significativo

Os parâmetros de ajustes do semivariograma são mostrados na tabela 3 e figura 2. O modelo Exponencial foi ajustado para os atributos altura da planta, número de flores e nematoides na raiz e o modelo Esférico foi ajustado para diâmetro de copa, matéria seca e nematoides no solo. Para o atributo comprimento de raiz foi ajustado o modelo Gaussiano e a o atributo número de vagens apresentou Efeito Pepita Puro (Tabela 3 e Figura 2). Dessa maneira, os modelos ajustados demonstram que todos os atributos em estudo apresentaram dependência espacial, exceto o Efeito Pepita Puro que mostra distribuição espacial aleatória. Este fenômeno ocorre devido a erros nas medidas e/ou quando a separação usada entre as amostras não foi sensível para detectar a variabilidade espacial se existente (Cambardella et al., 1994; Dafonte et al., 2010).

Segundo Grego & Vieira (2005) e Siqueira et al (2008) para os atributos de planta e solo o modelo de ajuste do semivariograma mais utilizado é o Esférico. No entanto, outros autores também descrevem o modelo Exponencial como sendo o mais utilizado para atributos do solo (Liu et al., 2004; Zanão Júnior et al., 2007).

Os valores do parâmetro efeito pepita (C_0) foram baixos em relação à escala de semivariância calculada (Figura 1), isto indica a precisão das medidas no experimento (Vieira, 2000; Siqueira et al., 2015). Quanto ao parâmetro alcance (a) houve variação de 4,90 a 8,20 metros. O alcance representa a distância de abrangência da dependência espacial, dessa maneira as amostras separadas por distâncias menores que o alcance são dependente espacialmente, enquanto que distâncias maiores não apresentam dependência espacial. O alcance também é utilizado para definir o raio de ação máximo de interpolação por krigagem (Souza, 1992). A partir do alcance a semivariância é chamada de patamar (C_0+C_1) que é aproximadamente igual à variância dos dados, quando se admite variância mínima. O patamar também mostra a amplitude dos dados.

O grau de dependência espacial (GD) entre as amostras foi determinado considerando a relação entre o efeito pepita e o patamar, onde: 0-25% alta, 25-75% média e 75-100% baixa dependência espacial entre as amostras, como proposto por Cambardella et al. (1994). Dessa maneira, o atributo diâmetro de copa apresentou dependência espacial baixa (87,29%) e os atributos altura da planta, comprimento da raiz, matéria seca, nematoides no solo e nematoide na raiz apresentaram dependência espacial média (30,77%, 74,53%, 54,42%, 64,10%, 25,93%, respectivamente). O atributo número de flores (17,11%) apresentou dependência espacial alta. E apenas o atributo número de vagens não apresentou dependência espacial (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros de ajustes dos semivariogramas para os atributos da soja infestada por *P. brachyurus*.

	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	A	GD	
Altura da planta	Exponencial	2,00	6,50	4,90	30,77	Média
Diâmetro de copa	Esférico	15,80	18,10	5,50	87,29	Baixa
Comprimento da raiz	Gaussiano	24,00	32,20	7,80	74,53	Média
Número de flores	Exponencial	65,00	380,00	8,20	17,11	Alta
Número de vagens	Efeito Pepita Puro					
Matéria seca	Esférico	80,00	147,00	6,00	54,42	Média
Nematoides no solo	Esférico	4900,00	7100,00	6,00	69,01	Média
Nematoides na raiz	Exponencial	850,00	5550,00	5,8	25,93	Média

C₀: efeito pepita; C₀+C₁: patamar; a: alcance (m); GD: grau de dependência espacial [(C₀/C₀+C₁)100].

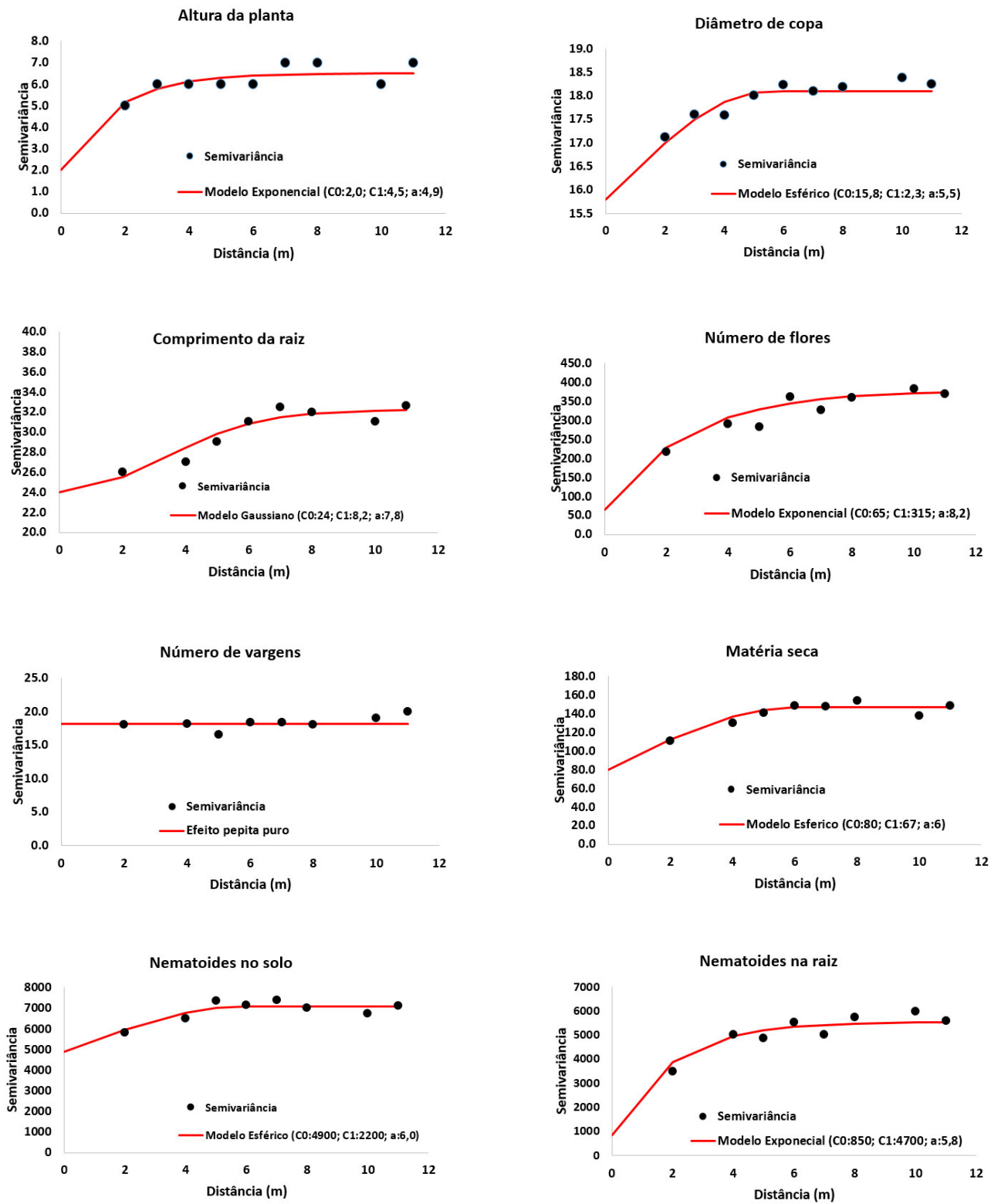


Figura 2. Semivariogramas ajustados para os atributos da soja e para infestação por *P. brachyurus*.

Os mapas de variabilidade espacial dos atributos da soja são apresentados na figura 3 e os mapas de infestação do nematoide *P. brachyurus* são mostrados na figura 4. Por meio dos mapas de isolinhas podemos observar claramente a distribuição espacial dos atributos da soja e da infestação do nematoide *P. brachyurus*, assim verificamos que as variáveis em estudo apresentam dependência espacial, exigindo o uso de ferramentas de geoestatística para seu estudo e não a estatística clássica onde assumi que as amostras devem ser independentes.

A compreensão da distribuição desses organismos no solo é importante, pois os nematoides são responsáveis por sérios danos às culturas, resultando em prejuízos na produtividade (Freitas, 2013).

O método de interpolação por krigagem permite observar o comportamento das variáveis na área em estudo. Este método atribui pesos diferentes aos vizinhos do ponto a ser estimado, levando em consideração a regra de não tendenciosidade e variância mínima. Na krigagem os pesos são atribuídos de acordo com a variabilidade espacial expressa no semivariograma ajustado para os atributos em estudo. A condição de não tendência significa que, em média, a diferença entre valores estimados e medidos para o mesmo ponto deve ser nula. A condição de variância mínima significa que, embora possam existir diferenças ponto por ponto entre o valor medido e o estimado, essas diferenças devem ser mínimas.

Por meio da análise de mapas de isolinhas, podem-se tomar decisões importantes, em relação ao aumento da eficiência na utilização de nematicida, com redução de custo e aumento de produtividade. Isto porque a aplicação de recomendações médias de nematicida, usualmente utilizadas pelos produtores, pode resultar em super ou sub dosagem na área, com implicações negativas no ambiente e na relação custo-benefício (Rodrigues, 2010).

O mapa de variabilidade espacial do atributo altura da planta apresentou manchas de plantas com altura em torno de 65 cm, situada na parte central esquerda e superior direita do mapa (Figura 3). Segundo Bortolini et al. (2013) em estudo realizado em casa de vegetação visando o controle de *P. brachyurus* na soja, observou que as plantas infestadas pelo parasita apresentaram crescimento reduzido, com plantas de 58 cm de altura média, considerado baixo pelo autor. O mapa para o atributo número de flores apresenta plantas com o máximo número de flores (89), (Figura 3) em pequenas áreas situadas à esquerda e acima do mapa. Ambos os atributos com melhor desenvolvimento da planta são encontradas afastadas do centro dos seus respectivos mapas, local onde havia manchas com menor infestação do nematoide no solo e na raiz (Figura 4). Já o atributo diâmetro de copa apresenta pequenas manchas distribuídas pelas bordas do mapa (Figura 3), com plantas medindo até 23 cm de copa, caracterizando mais uma vez condições de menor infestação do *P. brachyurus*. O mapa para o atributo número de vagens apresenta pequenas manchas com maiores números de vagens (17) no canto superior esquerdo e direito e no canto inferior esquerdo do mapa (Figura 3), nesse mapa há predomínio das manchas em branco onde há plantas sem vagens. No entanto, apesar do alto número de flores (89) (Figura 3) encontrado nas plantas, isto não é indicativo que as vagens serão viáveis, devido a subseqüentes infecções ocasionadas pela ação dos nematoides. A infestação por *Pratylenchus* reduz a absorção de água e de nutrientes pelas raízes da planta. E no período de floração, no qual a planta requer maior quantidade de água, nota-se um reduzido número de vagens e amadurecimento prematuro das folhas (Embrapa 2010).

No mapa de comprimento da raiz houve manchas que variaram de 6 a 36 cm, a cor mais escura do mapa mostra as plantas com 36 cm e na área mais clara situada no centro do mapa às plantas com raízes menores, evidenciando o ataque de *P. brachyurus* nas

raízes das plantas. Conforme mostrado pela matriz de correlação, que com o aumento da quantidade de nematoides na raiz, menor será o comprimento das raízes de soja. (Tabela 2) Bortolini et al. (2013), em estudo com *P. brachyurus* na soja em casa de vegetação observou que a infestação pelo fitoparasita quando encontra-se em condições severas diminui o desenvolvimento das plantas, tanto da parte aérea como radicular.

No mapa as manchas de matéria seca variam de 30% a 90%, sendo que as plantas que apresentaram matéria seca entre 60% e 70% estão concentradas na região central do mapa, devido ao ataque de *P. brachyurus*, pois quanto maior a infestação menor a quantidade de água na planta.

O mapa da área com alta infestação por *P. brachyurus*, apresenta a máxima população na região mais escura do mapa, 400 nematoides/200 cm³ de solo e também há áreas sem infestação nas regiões mais claras do mapa. O mapa que representa a infestação do nematoide *P. brachyurus* na raiz mostra pequenas manchas mais escuras abaixo e acima do mapa, onde observou a maior concentração do nematoide, com valores de 390 nematoides/10g de raiz. Nas regiões mais claras não houve incidência de nematoides, (Figura 3). Pode-se observar que a distribuição do *P. brachyurus* acontece de forma não homogênea na área em estudo, confirmado pelos mapas de variabilidade espacial da infestação (Figura 3).

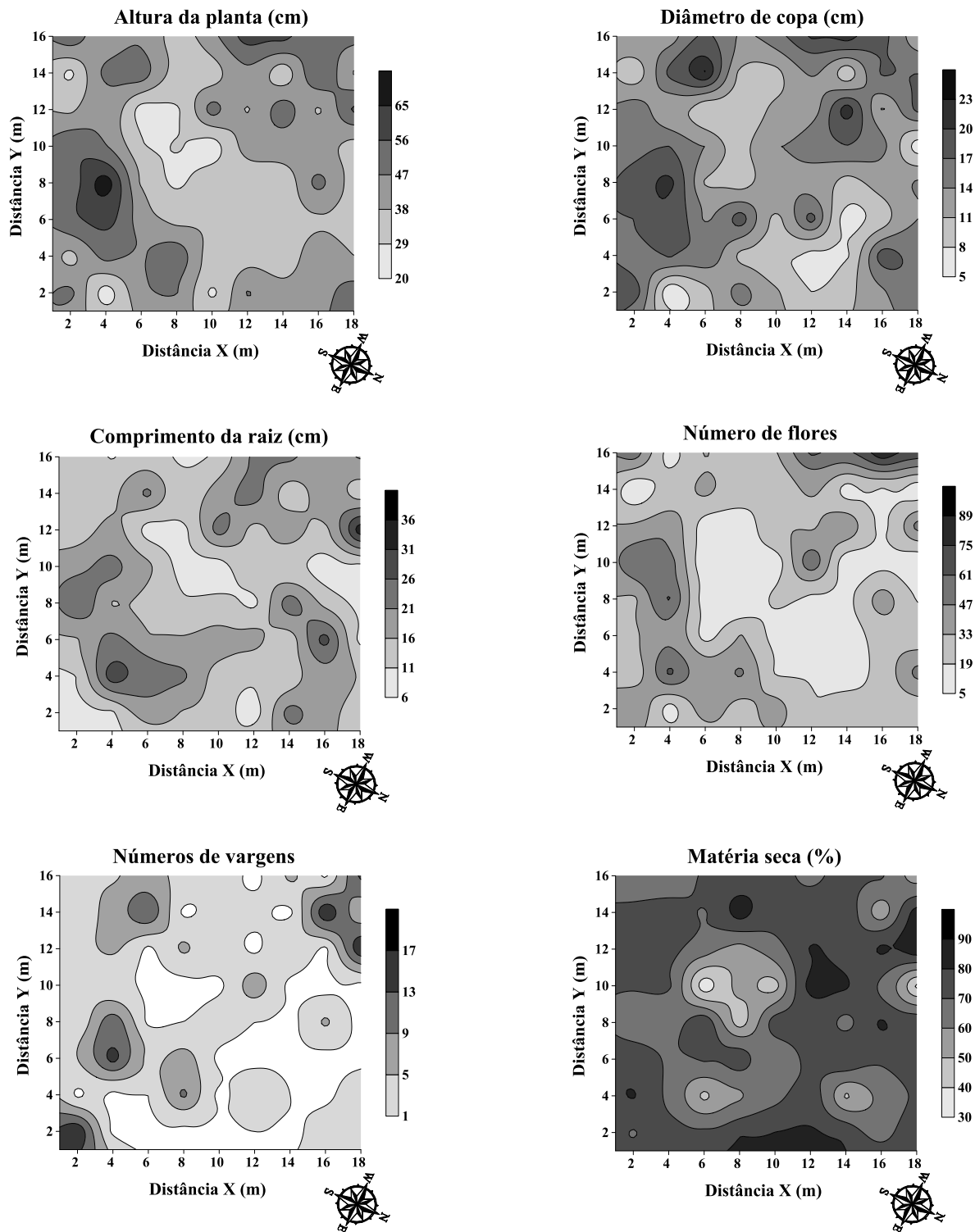


Figura 3. Mapas de variabilidade espacial dos atributos da soja cultivada em solo infestado por *P. brachyurus*.

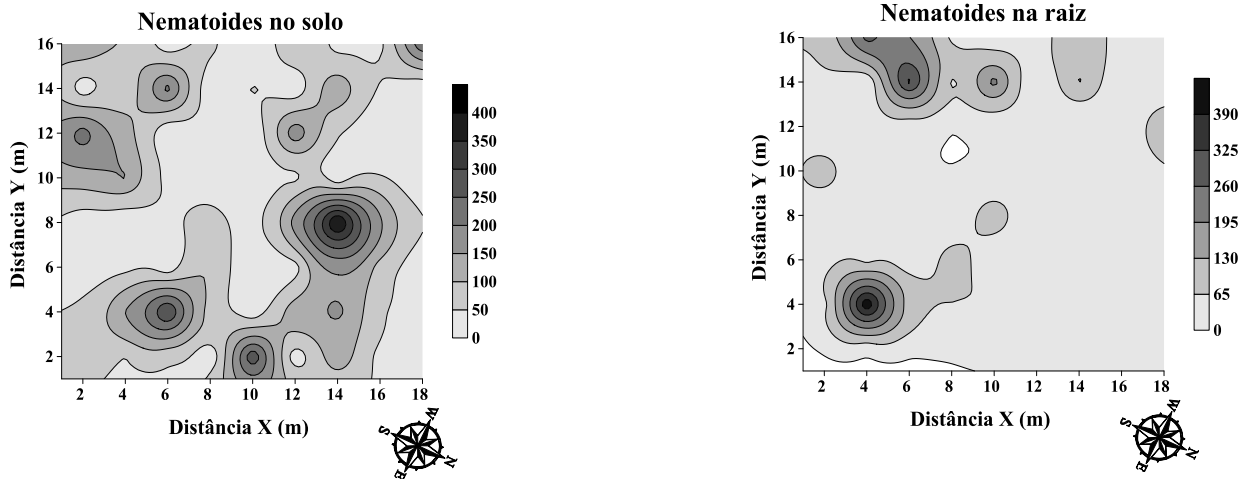


Figura 4. Mapas dos valores estimados por krigagem da infestação do nematoide *P. brachyurus*.

CONCLUSÕES

1. A infestação por *P. brachyurus* prejudica o desenvolvimento da planta, tanto nas características morfológicas quanto produtivas.
2. O espaçamento entre amostras foi suficiente para detectar a variabilidade espacial dos atributos da soja infestada por *P. brachyurus*, exceto para o número de vagens;
3. Os semivariogramas ajustados apresentaram estacionariedade que permite seguir a hipótese intrínseca da geoestatística;
4. Os mapas de variabilidade espacial obtidos pelo método de krigagem apresentam regiões semelhantes de probabilidades, que mostra a eficiência desta ferramenta geoestatística para determinar áreas específicas de manejo.

LITERATURA CITADA

- Antonio, S. F.; Mendes, F. L.; Franchini, J. C.; Debiassi, H.; Dias, W. P.; Ramos-Jr, E. U.; Goulart, A. M. C.; Silva, J. F. V. Perdas de produtividade da soja em área infestada por nematoide das lesões radiculares em Vera-MT. In: Congresso Brasileiro De Soja, 6., 2012, Cuiabá. Anais eletrônicos.Londrina: Embrapa Soja, 2012.
- Bortolini, G.L.; Araújo, D. V.; Zavislak, F. D.; Junior, J.R.; Krause, W. Controle de *Pratylenchus brachyurus* via tratamento de semente de soja. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p. 818. 2013
- Callegari-Jacques, S. M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artmed, p. 255, 2003.
- Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; Konopka, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. Soil Science Society of American Journal, Madison, v. 58, n. 5, 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. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, p.1151-1159, 2002.
- Carvalho, C. De; Fernandes, C. D.; Santos, J. M.; Macedo, M. C. M. Densidade populacional de *Pratylenchus* spp. em pastagens de *Brachiaria* spp. E sua influência na disponibilidade e na qualidade da forragem. Revista Ceres, Viçosa, MG, v. 60, n. 1, p. 30-37, 2013.
- Clark, I. Practical geostatistics. London, Applied Science. Publishers, 1979.
- Coolen, W. A.; D'herde, C. J. A method for the quantitative extraction of nematodos from plant tissue. Ghent: State Agricultural Research Center, p. 77. 1972.

- Dafonte, J.D.; Guitián, M.U.; Ferreiro, J.P.; Siqueira, G. M.; Vázquez, E. V. Mapping Of Soil Micronutrients In An European Atlantic Agricultural Landscape Using Ordinary Kriging And Indicator Approach. *Bragantia*, Campinas, p. 2-12, 2010.
- Dias, W. P.; Asmus, G. L.; Silva, J. F. V.; Garcia, A.; Carneiro, G. E. S. Nematoides. In: Almeida, A.M.R.; Seixas, C.D.S. (Ed.) Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura. Embrapa Soja: Londrina, p. 173-206, 2010.
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- Embrapa. Tecnologias de produção de soja região central do Brasil. Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste. n.14. 255p. 2010.
- Espíndola, C. J.; Cunha, R. C. C. A dinâmica geoeconômica recente da cadeia produtiva da soja no Brasil e no mundo. *GeoTextos*, vol. 11, n. 1. p. 217-238. 2015.
- Ferraz, S. Manejo sustentável de fitonematoides. Viçosa, UFV. 2010. 306p.
- Franchini, J. C.; Moraes, M. T.; Debiasi, H.; Dias, W. P.; Ribas, L., N.; Silva, J. F.V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e relação com os danos pelo nematoide das lesões radiculares em soja. In: Congresso Brasileiro de Soja, Cuiabá. Anais eletrônicos. Londrina: Embrapa Soja, 2011.
- Freitas, J.R. B. Distribuição espacial de *Pratylenchus brachyurus* em soja no leste do Maranhão. Dissertação. Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2013.
- Golden Software. Surfer V.11. Surface Mapping System, Colorado, 2012.

- Gonzaga, V.; Santos, J.M.; Soares, P. L. M. Chave ilustrada para a identificação das seis espécies de *Pratylenchus* mais comuns no Brasil. *Nematologia*, 2012.
- Goulart, A. M. C. Nematoides das lesões radiculares (Gênero *Pratylenchus*). 2008. Disponível em: <http://www.agrosoft.org.br/agropag/103613.htm>. Acesso em 03 de Maio de 2016.
- Grego, C.R.; Vieira, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.169-177, 2005.
- Haegeman, A.; Mantelin, S.; Jones, J. T.; Gheysen, G. Functional roles effectors of plant-parasitic nematodes. *Gene*, Amsterdam, v. 492, n. 1, p. 19-31, 2012.
- Inomoto, M. M.; Siqueira K.M.S.; Machado, A.C.Z. Sucessão de cultura sob pivô central para controle de fitonematoides: variação populacional, patogenicidade e estimativa de perdas. *Tropical Plant Pathology* 36p. 2011.
- Jenkins, W. R. A. A rapid centrifugal – flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, St. Paul, v. 48, p. 692, 1964.
- Liu, X.M.; Xu, J.M.; Zhang, M.K.; Huang, J.H.; Shi, J.C.; Yu, X.F. Application of geostatistics and GIS technique to characterize spatial variabilities of bioavailable micronutrients in paddy soil. *Environmental Geology*, v.46, p.189-194, 2004.
- Lopes, Carina Mariani Leite. Populações de nematoides fitoparasitas em áreas de cultivo de soja, algodão, café e de vegetação nativa do Cerrado. Brasília. Dissertação de mestrado. 70p. 2015.
- Melakeberhan, H. Physiological interactions between nematoides and their host plants. In Chen, Z. X.; Chen, Z. Y.; Dickson, D. W. (ed). *Nematology advances and*

- perspetives. Nematode management and utilization. Wallingord: Cabi publishing. v.2. p. 771-794. 2004.
- Pankaj; Ganguly, A. K.; Pandey, R. N. Severe damage caused by the root-lesion nematode, *Pratylenchus thornei*, in aerobic rice in India. *Nematologia Mediterrânea*, Bari, v 40, n. 1, p. 79-81, 2012.
- Rios, A.D.F. Reação de genótipos de soja, milho e arroz de terras altas a *Pratylenchus brachyurus*. Tese (Doutora em Agronomia), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.
- Rodrigues, K. M. Variabilidade espacial de atributos químicos, físicos e biológicos em voçoroca vegetada no município de Pinheiral, RJ. Dissertação – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Soropédica,. 60p. 2010.
- Silva, F. C. Levantamento de fitonematoides presentes no município de Jataí-GO. Dissertação - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2007
- Siqueira G. M.; Silva, J. S.; Bezerra, J. M.; Silva, Ê. F.F.; Dafonte, J. D.; Melo, R.F. Estacionariedade do conteúdo de água de um Espodossolo Humilúvico. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.19, n.5, p.439–448, 2015.
- Siqueira, G.M.; Vieira, S.R.; Ceddia, M.B. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. *Bragantia*, v.67, p.203-211, 2008.
- Souza, L.S. Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo. Porto Alegre. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 162p.1992
- Soares, M. M.; Oliveira, G. L.; Soriano, P. E.; Sekita, M. C.; Sediyaama, T. Performance of soybean plants as function of seed size: II. Nutritional stress. *Journal of Seed Science*, v.35, n.4, p.419-427, 2013.

- Vieira, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R.F., Alvarez, V.H., Schaefer, G.R. (ed.) Tópicos em Ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p. 1-54, 2000.
- 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, 1980.
- Zanão Júnior, L. A.; Lana, R. M. Q.; Guimarães, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidade em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. Ciência Rural, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007.