

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE *Pratylenchus brachyurus* EM  
SOJA NO LESTE DO MARANHÃO**

**José Roberto Brito Freitas**

Engenheiro Agrônomo

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE *Pratylenchus brachyurus* EM  
SOJA NO LESTE DO MARANHÃO**

**José Roberto Brito Freitas**

**Orientador: Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira**

**Coorientador: Prof. Dr. Pedro Luiz Martins Soares**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

**2013**

F866d Freitas, José Roberto Brito  
Distribuição espacial de *Pratylenchus brachyurus* em soja no leste do Maranhão/José Roberto Brito Freitas. - - Jaboticabal, 2013

xii, 72 p. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013

Orientador: Gener Tadeu Pereira

Banca examinadora: Jaime Maia dos Santos, Antônio Goes, Bruno Flávio Figueiredo Barbosa, Marineide Rosa Vieira

Bibliografia

1. Geoestatística. 2. *Pratylenchus brachyurus*. 3. Anisotropia. 4. Krigagem. 5. Química do solo. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 632.6:633.34

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
CAMPUS DE JABOTICABAL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE *Pratylenchus brachyurus* EM SOJA  
NO LESTE DO MARANHÃO

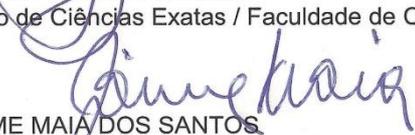
**AUTOR:** JOSÉ ROBERTO BRITO FREITAS

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. GENE TADEU PEREIRA

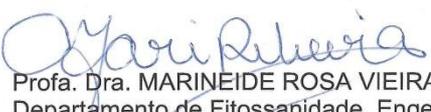
**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. PEDRO LUIZ MARTINS SOARES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA  
(CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. GENE TADEU PEREIRA  
Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof. Dr. JAIME MAIA DOS SANTOS  
Departamento de Fitossanidade / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof. Dr. ANTONIO DE GOES  
Departamento de Fitossanidade / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Profa. Dra. MARINEIDE ROSA VIEIRA  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha  
Solteira

  
Prof. Dr. BRUNO FLÁVIO FIGUEIREDO BARBOSA  
Centro Universitário de Rio Preto / São José do Rio Preto/SP

Data da realização: 12 de dezembro de 2013.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**José Roberto Brito Freitas** – nascido em 11 de fevereiro de 1976 em Brejo–MA. Em 1982 iniciou os estudos na Escola Estadual Monsenhor Matheus, no município de Campo Maior-PI. Em 1983 foi para o Patronato Nossa Senhora de Lourdes, onde fez todo ensino fundamental e médio. Em março de 1996, ingressou no curso de Agronomia no Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Piauí–PI. Obteve o título de Engenheiro Agrônomo em setembro de 2002. Em abril de 2004, iniciou o Curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias, Câmpus de Teresina–PI na Universidade Federal de Piauí, e foi bolsista da CAPES. Obteve o título de Mestre em agosto de 2006. Em abril de 2008, foi nomeado, em caráter efetivo, como professor na Universidade Federal do Maranhão, Câmpus de Chapadinha–MA, em regime de dedicação exclusiva. Iniciou, no ano de 2011, o Curso de Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal–Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Programa DINTER-UFMA/IFMA/UNESP–FCAV.

*“A amizade desenvolve a felicidade e reduz o sofrimento, duplicando a nossa alegria e dividindo a nossa dor.”*

**Joseph Addison**

## DEDICATÓRIAS

À DEUS, pelo dom da vida e por conceder-me força para vencer mais um desafio.

À MARIA, mãe de JESUS, por ser companhia constante em todos os momentos da minha vida.

À minha esposa Auricélia, o amor da minha vida, e por ser a mãe dos meus filhos, por estar sempre comigo, em todos os momentos, sempre me encorajando e torcendo por essa vitória.

Aos meus filhos, Lucas Emanuel, Rafael Azafe e Daniel Caleb, que são o motivo maior da minha vida e que me dão coragem e força para enfrentar as batalhas, pelo amor incondicional, que eles me dedicam.

À “Mãezinha” (Amália Brito), pelo amor, pelas orientações, por ser a pessoa responsável pelos meus estudos.

Aos meus pais, Cândido José e Maria de Nazaré, pelo apoio, incentivo, amor e carinho.

Aos meus irmãos, Esméria Freitas e Nazareno Freitas, por serem presença constantes em todos os momentos.

Aos sogros, Antônio Celestino e Luzia Silva pelo apoio, incentivo.

Aos meus sobrinhos, Arthur, Gildá, Mateus e sobrinhas, Larisa, Camila, Luana e Nayra, pelo carinho.

À todos os meus familiares.

***DEDICO***

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por esta bênção que é a vida e me deu a coragem para sonhar, e força para realizar e vencer mais esta etapa de minha vida.

À minha esposa e meus filhos, pelo amor que eles me dedicam.

Aos meus pais e irmãos, que sempre apoiaram minhas decisões e incentivaram-me ao crescimento constante.

Aos Professores, Gener Tadeu Pereira e Pedro Luiz Martins Soares, pela oportunidade, orientação, ensinamentos e paciência durante a realização deste trabalho.

Ao Professor, Jaime Maia dos Santos, pelos ensinamentos transmitidos em nematologia e um exemplo como profissional, sempre com o seu bom humor.

Aos Professores, Jaime Maia dos Santos, Rita de Cássia Panizzi, Bruno Flávio Barbosa e Lívia Arantes Camargo pela participação na banca do exame geral de qualificação; e aos Professores Antonio de Goes, Jaime Maia, Marineide Rosa e Bruno Flávio pela participação na banca de defesa, cujas sugestões contribuíram para a melhoria deste trabalho.

Aos meus amigos, João Fernandes, Mara Regina Moitinho, Angélica Bahia, Daniel De Bortoli, Diego Siqueira e Lívia Arantes que estiveram presentes em todos os momentos e que sempre, com palavras de incentivo, foram fundamentais nesta caminhada. Muito obrigado pela amizade, respeito, apoio, consideração e pela constante colaboração prestada durante a realização deste trabalho.

Ao amigo Daniel De Bortoli, pelos ensinamentos em geoestatística, as correções dos artigos, e pelos momentos bons de convivência.

Aos amigos Carlos Magno e Marcelino, por todo o apoio na elaboração dos artigos, pela amizade e pelo respeito que construímos juntos durante este período transcorrido.

À Paulo Bezerra e Carlota Joaquina, pelas palavras de incentivo que me encorajavam nas horas mais difíceis e pelos momentos de alegria compartilhados.

Aos amigos, James Azevedo, Ariston Santos, Rogério Abreu, Frede, Cristiane, Isumy e Jeane pelo incentivo, pela amizade e agradável convívio.

Aos amigos e funcionários do Departamento de Ciências Exatas, Zezé, Shirley, Norival e Adriana. Obrigado pelo acolhimento.

À Universidade Federal do Maranhão, pela liberação para a realização do Curso de Doutorado.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, FCAV–Câmpus de Jaboticabal pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior–CAPES, pelo financiamento deste trabalho.

E a todos que, direta e indiretamente, ajudaram na realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	<b>1</b>
1.1 Introdução.....	1
1.2 Revisão de Literatura.....	3
1.2.1 O nematoide das lesões radiculares .....	3
1.2.2 Manejo do solo e alterações na variabilidade espacial dos atributos dos solos e nematofauna .....	7
1.2.3 Geoestatística e análise da variabilidade espacial da nematofauna em relação aos atributos do solo.....	9
1.2.4 Cultura da soja no Maranhão .....	12
1.2.5 Tabuleiros de Chapadinha–MA .....	14
1.3 Referências.....	16
<b>CAPÍTULO 2 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE <i>Pratylenchus brachyurus</i> EM SOJA NO LESTE DO MARANHÃO</b> .....	<b>24</b>
Resumo.....	24
Abstract.....	25
2.1 Introdução.....	26
2.2 Material e Métodos .....	27
2.3 Resultados e Discussão .....	31
2.4 Conclusões .....	41
2.5 Referências.....	41
<b>CAPÍTULO 3 – VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM <i>Pratylenchus brachyurus</i> EM SOJA</b> .....	<b>46</b>
Resumo.....	46
Abstract.....	47
3.1 Introdução.....	48
3.2 Material e Métodos .....	50
3.3 Resultados e Discussão .....	55
3.4 Conclusões .....	66
3.5 Referências.....	66

## DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE *Pratylenchus brachyurus* EM SOJA NO LESTE DO MARANHÃO

**RESUMO** – O nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) é autóctone da região dos cerrados do Brasil. Os danos econômicos do fitopatógeno para sojicultura brasileira tem aumentado nos últimos anos devido à expansão da área de produção desta cultura para solos arenosos associada à utilização de cultivares muito susceptíveis ao nematoide. Como endoparasitas migradores, os nematoides destroem tecidos das raízes, causando rompimento superficial e destruição interna, predispondo-os a infecções secundárias de fungos e bactérias. O objetivo foi analisar a distribuição espacial dos nematoides das lesões radiculares em área de cultivo de soja e sua relação com a variabilidade de produtividade e atributos químicos do solo. A área pesquisada localiza-se na Fazenda Condor, situada no município de Brejo, região Leste do Estado do Maranhão. Foram marcados e georreferenciados com GPS, 142 pontos amostrais espaçados de 20 em 20 m em uma área de 180x180 m, em lavoura de soja. Foram coletadas 6 plantas com respectivas raízes juntamente com solo ao redor do ponto de amostra para quantificação dos nematoides e atributos químicos da área. As amostras de solo foram processadas pela técnica de Jenkins (1964) e os nematoides e ovos presentes nas raízes pelo método de Coolen & D'Herde (1972). Os nematoides extraídos foram contados com auxílio de lâminas de Peters, sob microscópio fotônico. A dependência espacial foi analisada por meio de técnicas geoestatísticas com estimativas de semivariogramas experimentais e ajustes de modelos permissíveis. Para as variáveis de produção e população dos nematoides foram usados semivariogramas anisotrópicos. O modelo exponencial foi ajustado para todas as variáveis de produção e população de nematoides, com presença de anisotropia e alcances maiores na direção de 135°, devido ao preparo do solo e direção do plantio e variogramas isotrópicos para os atributos químicos do solo. Concluiu-se que o aumento da população de nematoides está relacionado com a presença de raízes da planta hospedeira no solo. Na escala de estudo as variáveis número de nematoides no solo, número de nematoides na raiz, número de ovos na raiz e soma do número de nematoides na raiz e ovos apresentaram forte dependência espacial. Os demais atributos químicos apresentaram valores com moderada dependência espacial. A direção do preparo do solo e plantio da cultura influenciou na distribuição dos nematoides na área com presença de anisotropia. O número maior de nematoides nas raízes em zonas com menores teores de Mg e Ca no solo pode estar associado aos menores valores de pH. Em locais com baixo potencial de fertilidade, especialmente em relação aos nutrientes P, K e Ca, as plantas de soja podem se tornarem naturalmente mais susceptíveis ao ataque de nematoides. A variabilidade dos atributos S, Ca, Mg, K, SB, V% e CTC está alinhada ao sentido de escoamento da água no ambiente, indicando influência da topografia no padrão de distribuição espacial dessas variáveis, mesmo em região com pouca variação do relevo.

**Palavras-chave:** anisotropia, geoestatística, krigagem, *Pratylenchus brachyurus*, química do solo

## SPATIAL DISTRIBUTION OF *Pratylenchus brachyurus* IN SOYBEANS IN EASTERN MARANHÃO

**ABSTRACT** – The nematodes of root lesions (*Pratylenchus brachyurus*) is indigenous to the Cerrado region of Brazil. The economic damage from the pathogen for Brazilian soybean production has increased in recent years due to the expansion of the production area of this crop for sandy soils associated with the use of cultivars very susceptible to nematodes. As migratory endoparasites, the nematodes destroy tissues of roots, causing surface disruption and destruction internal, predisposing them to secondary infections by fungi and bacteria. The objective was to analyze the spatial distribution of nematodes in root lesions on soybean cultivation area and its relation to the variability of productivity and soil chemistry. The studied area is located in the Condor Farm, located in the city of Heath, East of Maranhão region. Were marked and georeferenced with GPS 142 sampling points spaced 20 to 20 m in an area of 180x180 m in soybean crop. 6 plants with their roots with soil around the sample point for quantification of nematode and chemical attributes of the area were collected. Soil samples were processed by the technique Jenkins (1964) and nematodes and eggs roots by the method of Coolen & D'Herde (1972). The extracted nematodes were counted with the aid of slides Peters under photonic microscope. Spatial dependence was analyzed using geostatistical techniques with experimental semivariogram estimates and adjustments of allowable models. For the variables of production and nematode population anisotropic semivariograms were used. The exponential model was adjusted for all variables of production and population of nematodes, with the presence of anisotropy and higher reaches in the direction of 135°, due to tillage and planting direction and isotropic variograms for soil chemical properties. It was concluded that nematode population increase is related to the presence of roots of the host plant in the soil. Range of the study variables Number of Nematodes in Soil Nematodes in the number of root, number of eggs and the Root Sum of Number of Nematodes on Root and eggs showed a strong spatial dependence. Other chemical attributes had values with moderate spatial dependence. The direction of tillage and planting culture influenced the distribution of nematodes in the area with the presence of anisotropy. The greatest number of nematodes in the roots in areas with lower levels of Mg and Ca in the soil may be associated with lower pH values. Sites with low fertility potential, especially in relation to the nutrients P, K and Ca soybean plants, may become naturally more susceptible to attack by nematodes. The variability of S, Ca, Mg, K, SB, V% and CTC attribute is aligned to the direction of flow of water in the environment, indicating the influence of topography on spatial distribution of these variables, even in regions with little variation in relief.

**Keywords:** anisotropy, geostatistics, kriging, *Pratylenchus brachyurus*, soil chemistry

## CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

### 1.1 Introdução

A cultura da soja é uma das principais commodities de exportação. O Brasil, em poucas décadas, passou a ser um grande produtor de soja, com 81 milhões de toneladas na safra 2012/2013, correspondendo a 30% da produção mundial. Grandes áreas de cerrado do Brasil Central, que apresentam baixa fertilidade natural, mas com uma topografia ideal para a agricultura mecanizada, têm sido incorporadas às grandes lavouras de milho, sorgo, girassol, algodão e principalmente soja.

A ocupação dos cerrados da região Centro-Oeste para o cultivo de grãos levou a uma busca por novas áreas com terras, mais baratas. Diante desse contexto, a frente de ocupação seguiu para as regiões Norte e Nordeste, principalmente no Maranhão, Piauí, Bahia e Tocantins, dando origem a uma região chamada pelos produtores de MAPITOBA. No Maranhão a Região Sul do estado foi onde primeiro a cultura da soja se estabeleceu, seguindo para região Leste por apresentar também condições similares de plantio, passando a se configurar como um novo polo de produção de soja nos últimos anos.

Assim como em outras regiões do cerrado do Brasil, em que o nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus* Godfrey) ocorre naturalmente, a população desse fitoparasita vem aumentando nas novas áreas de plantio, causando grandes perdas de produtividade na cultura e, por consequência, prejuízos econômicos aos produtores. *P. brachyurus* está se beneficiando das condições de textura arenosa dos solos dessas regiões, por ser um organismo endoparasita migrador, aliado à implantação do plantio direto e à falta de rotação de culturas com espécies de plantas não hospedeiras desse nematoide.

Algumas práticas, como a rotação de culturas e uso de alqueive podem ser eficazes no controle desse nematoide, resultando em maiores produções e renda para o agricultor, sem grandes danos ambientais.

O uso de plantas antagonistas em esquemas de rotação/sucessão ou plantio consorciado tem se mostrado uma alternativa bastante atrativa. Algumas delas, como *Crotalaria* spp, são capazes de fixar nitrogênio da atmosfera e fornecem expressivos volumes de matéria orgânica, aumentando a atividade de fungos antagonistas e melhorando as características gerais do solo.

Os nematoides das lesões radiculares apresentam-se distribuídos na rizosfera de maneira agregada, causando sintomas que se apresentam em áreas delimitadas, conhecidas como reboleiras, quando em altas populações (BARKER, 1985). Portanto, para obter informações sobre o comportamento desses organismos, são requeridos processos adequados de amostragem, determinação e análise dos dados. Os métodos estatísticos normalmente utilizados não são adequados para descrever dados correlacionados espacialmente (CLARK, 1979). Nesse contexto, a geoestatística é uma ferramenta adequada para a análise de dados que estão correlacionados espacialmente (PINHEIRO et al., 2008). Com ela, é possível caracterizar a estrutura da dependência espacial entre os parâmetros que definem a distribuição espacial dos nematoides no solo. Uma vez detectada a dependência espacial entre as amostragens, o processo de “krigagem” permite estimar valores em locais não amostrados. Assim, o mapeamento possibilita a visualização espacial dos nematoides na área de interesse (ANTONIO et al., 2012; WILCKEN et al., 2013), o que constitui aspecto de inquestionável importância como ferramenta de apoio às decisões para o manejo de populações desses fitoparasitas (CLARK, 1979; FARIAS, 1999).

Diante do exposto, objetivou-se analisar a distribuição espacial de *P. brachyurus* em área de cultivo de soja, sua relação com a produtividade da cultura e o comportamento do mesmo em relação aos atributos químicos do solo.

## 1.2 Revisão de Literatura

### 1.2.1 O nematoide das lesões radiculares

O nematoide das lesões radiculares *P. brachyurus* apresenta uma ampla gama de hospedeiros e distribuição generalizada em diferentes regiões de clima tropical, subtropical e temperado. É um parasita biotrófico obrigatório, habitante do solo, encontrado em todas as regiões agrícolas do mundo. Em solos sob vegetação nativa, *Pratylenchus* spp. são mais frequentemente encontrados do que nematoides de galha (*Meloidogyne* spp.) ou de cistos (*Heterodera* spp.), porém, muitas vezes os níveis populacionais são muito baixos ou até mesmo não-detectáveis (GOEDE; BONGERS, 1998; GOULART; FERRAZ, 2003; GOULART et al., 2003).

*Pratylenchus* spp. constitui um grupo de nematoides polípagos que podem parasitar um grande número de espécies vegetais, porém, existem muitas diferenças de preferências de hospedeiros entre as espécies do gênero. São endoparasitas migradores e provocam severos danos em raízes de várias culturas, por sua alimentação, movimentação ativa e liberação de enzimas e toxinas no córtex (parênquima) radicular. A penetração na planta hospedeira e a migração dentro das raízes são favorecidas por uma combinação de ações mecânica (uso do estilete e movimentação de todo o corpo) e tóxica (degradação enzimática das paredes celulares vegetais) (GOULART, 2008; HAEGEMAN et al., 2012).

O ciclo de vida de *Pratylenchus* spp. é relativamente simples e rápido, e em condições favoráveis à cultura hospedeira pode multiplicar várias gerações em uma única safra. Populações elevadas podem ser encontradas nas raízes infectadas (FALEIRO et al., 2012), logo no início do ciclo da cultura, mas essas populações podem diminuir, especialmente na falta da cultura hospedeira (LOOF, 1991).

Os ovos são depositados pela fêmea no interior das raízes, ou no solo próximo à elas ocorrendo postura isolada, sem formação de massa de ovos. As fêmeas produzem em média de 80 a 150 ovos durante seu ciclo de vida. São necessárias de 3 a 4 semanas para completar seu ciclo de vida, porém esse período

é muito variável, dependendo principalmente da temperatura, da umidade, da espécie da planta hospedeira e da espécie de *Pratylenchus* (FERRAZ; MONTEIRO, 1995; TIHOHOD, 1997; CASTILLO; VOVLAS, 2007).

O espécie *P. brachyurus* possui nematoides móveis no solo e no interior das raízes da planta hospedeira, devido ao hábito migrador. No solo, possuem a capacidade de se movimentar próximo à rizosfera da planta que coloniza, sendo sua dispersão favorecida pelas operações agrícolas, especialmente aquelas que envolvem trânsito de máquinas e veículos na área de plantio. A migração ocorre quando há umidade combinada à textura arenosa e a temperatura de média a elevada (WALLACE, 1973; CASTILLO; VOVLAS, 2007; DIAS et al., 2010).

Os nematoides das lesões radiculares danificam os tecidos das raízes, causando lesões superficiais e destruição interna das células, predispondo-as a infecções secundárias por fungos e bactérias (FERRAZ; MONTEIRO, 1995). Os sintomas não são específicos e podem ser facilmente confundidos com sintomatologia causada por outros patógenos, estresse hídrico ou deficiências nutricionais. Os efeitos de *Pratylenchus* spp. sobre o crescimento e, conseqüentemente, sobre a produção vegetal, são resultantes de desordem e mal funcionamento dos processos de crescimento de raízes e exploração do solo para obtenção de água e nutrientes resultantes das lesões causadas por essas pragas (LOOF, 1991; HAEGEMAN et al., 2012).

Estudos de patogenicidade sugerem que, até mesmo com populações extremamente altas no solo, geralmente os nematoides em desse gênero não chegam a matar a planta hospedeira. Porém, os níveis de danos são muito variáveis, dependendo da combinação das espécies de *Pratylenchus* e da planta hospedeira, variando entre 0,05 nematoides cm<sup>-3</sup> a 30 nematoides cm<sup>-3</sup> de solo (CASTILLO; VOVLAS, 2007).

Os sintomas das plantas hospedeiras à *Pratylenchus* spp. podem ser intensificados pela interação com outros patógenos, como fungos habitantes de solo. As interações mais frequentemente observadas são com fungos causadores de murchas pertencentes aos gêneros *Fusarium* e *Verticillium*. Essas interações são consideradas sinérgicas, ou seja, a associação entre os dois patógenos resulta em

danos maiores do que a soma dos danos de cada patógeno isolado (BACK et al., 2002; CASTILLO; VOVLAS, 2007).

A nutrição da planta hospedeira e os fatores edáficos podem influenciar a patogenicidade de *Pratylenchus* spp. (FRANCHINI et al., 2011). Nesse sentido, alguns aspectos podem ser ressaltados, como: o número de exemplares de *Pratylenchus* spp. nas raízes geralmente é menor em condições de deficiência nutricional da planta hospedeira; melhor nutrição da planta geralmente aumenta a tolerância ao ataque de *Pratylenchus*; o parasitismo pelo fitopatógeno reduz a absorção de água e nutrientes pelas raízes (MELAKEBERHAN et al., 1997).

Na região dos cerrados, o nematoide-das-lesões-radiculares (*P. brachyurus*) ocorre naturalmente. Porém, as perdas ocorridas na sojicultura brasileira têm aumentado nos últimos anos, devido à expansão da área de produção desta cultura em solos arenosos e com pH ácidos (FRANCHINI et al., 2011), associada à utilização de cultivares muito suscetíveis ao nematoide, e à semeadura de milho ou algodão na entressafra (DIAS et al., 2010).

Os nematoides-das-lesões-radiculares (*Pratylenchus* spp.) ocupam o segundo lugar em relação aos impactos econômicos mundiais e nacionais, referentes a várias culturas agrícolas, sendo superados apenas pelos nematoides-de-galha (gênero *Meloidogyne* spp.), conforme vários autores (TIHOHOD, 1997; FERRAZ, 1999; CARVALHO et al., 2013).

Na cultura da soja, foram demonstradas perdas de até 30 % na produção em condições experimentais de campo nos Estados Unidos (SCHMITT; BARKER, 1981), e reduções significativas de crescimento de plantas em condições de casa de vegetação no Brasil (FERRAZ, 1995). Em condições de campo no estado de Mato Grosso, Antonio et al. (2012) encontraram na soja no estágio R3, uma redução de 1 saca ha<sup>-1</sup>, quando a lavoura estava infestada com nível de 82 nematoides g<sup>-1</sup> de raiz, causando uma perda média estimada em 21% na produtividade da cultura para essa população de *P. brachyurus*.

Os métodos culturais como rotação de culturas e emprego de plantas antagônicas têm tido destaque dentre as novas alternativas recomendadas para o controle de fitonematoides (MOURA et al., 1997; INOMOTO et al., 2006; MENDES et al., 2012). O emprego de plantas com efeito antagônico a fitonematoides, utilizadas

em plantio intercalado, consorciado ou em rotação, constitui um dos métodos mais promissores no controle desses organismos (DEBIASE et al., 2011). O efeito de tais plantas é exercido pelos exsudatos radiculares tóxicos e/ou por mecanismos de resistência, que impedem o desenvolvimento e reprodução do nematoide no sistema radicular (PEACOCK, 1959; FERRAZ; VALLE, 1997). Além disso, a decomposição da matéria orgânica incorporada favorece a proliferação de inimigos naturais, além de liberar substâncias com efeito nematicida (BADRA et al., 1979; VILLAR; ZAVALETA-MEJIA, 1990).

Rotação e sucessão com culturas não hospedeiras são os métodos mais promissores de manejo de *P. brachyurus*. Os efeitos de diferentes espécies vegetais sobre a população desse nematoide tem sido estudados em casa de vegetação (MACHADO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2007). No entanto, trabalhos desta natureza em condições de campo são raros. Dentre as espécies vegetais utilizadas nas práticas mencionadas, *Crotalaria* spp. têm promovido bons resultados no controle do nematoide.

O nome *Crotalaria* é uma referência ao gênero *Crotalus* das cascavéis, referindo-se ao barulho feito por suas sementes quando se balança a vagem seca. Há mais de 350 espécies descritas no gênero, localizadas nos trópicos e subtropicais de ambos os hemisférios (COOK; WHITE, 1996). A espécie mais estudada com relação ao controle de nematoides é *Crotalaria spectabilis*. Contudo, o cultivo desta espécie no Brasil ainda apresenta alguns problemas: dificuldade de obtenção de sementes pelo agricultor; não se desenvolve bem em algumas regiões, florindo precocemente e paralisando o crescimento, toxicidade para os animais.

Debiasi et al. (2011) estudaram alternativas culturais para controle do nematoide das lesões radiculares durante a entressafra da soja no Mato Grosso e constataram que o alqueive mecânico e o cultivo de *C. spectabilis* e *Crotalaria ochroleuca*, durante a entressafra, reduzem a densidade populacional de *P. brachyurus* e que independente dos tratamentos, a produtividade foi baixa. Este pode ser um indicativo de que a utilização de medidas culturais para controle de *P. brachyurus* somente na entressafra, em áreas arenosas e com elevada população do nematoide, não é suficiente para a obtenção de produtividades elevadas.

Outra prática com potencial para o controle de *P. brachyurus*, mas que vem sendo pouco estudada, é o alqueive, que consiste em manter o solo por certo período de tempo sem qualquer vegetação, de preferência também com revolvimento por meio de aração e/ou gradagem. Dessa forma, os nematoides morrem por inanição, por dessecação e pela ação da luz (INOMOTO, 2008). Porém, o alqueive pode ter implicações negativas em termos de conservação e qualidade do solo no sistema plantio direto (MENDES et al., 2012).

### **1.2.2 Manejo do solo e alterações na variabilidade espacial dos atributos dos solos e nematofauna**

As atividades humanas alteram de forma significativa os atributos dos solos, em geral aqueles que naturalmente são mais instáveis, e essas pedoperturbações podem afetar a distribuição de organismos da fauna edáfica, como os nematoides. A esse respeito, Araújo et al. (2012) afirmaram que os atributos químicos, biológicos e alguns atributos físicos podem ser modificados permanentemente pelo homem, interferindo nos ecossistemas agrícolas, em especial na composição e distribuição da fauna edáfica.

A agricultura e as diferentes formas de manejo do solo afetam a variabilidade de seus atributos (OLIVEIRA et al., 2013) que naturalmente já se evidencia em função dos fatores ambientais. Essas variações interferem principalmente no acúmulo de material orgânico, na modificação do pH, teores de macro e micronutrientes e menos intensamente em atributos como a textura (STEFANOSKI et al., 2012) e resultam em modificações no padrão de distribuição de organismos do solo, como a nematofauna.

Gubiani et al. (2012) afirmam que, em escala de campo, é grande o desafio de quantificar o efeito dos fatores físicoquímicos do solo, em mecanismos que alteram processos biológicos fundamentais, tanto das plantas quanto dos outros organismos presentes nos agroecossistemas.

As alterações promovidas nos atributos dos solos também podem promover alterações na distribuição de determinados organismos no ambiente edáfico, a exemplo dos nematoides. Organismos que vivem no filme de água ou entre as partículas de solo, possuem tamanho que permite a movimentação pelos poros, entre partículas e ou agregados, sem atividade de construção de túnel (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2009).

A distribuição espacial de nematoides no campo é frequentemente descrita como agregada (ORTIZ et al., 2010), o que significa que não há dependência espacial entre as populações nos pontos amostrados (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2009). Assim, para a correta análise da distribuição desses organismos no solo e na cultura, é necessário a realização de uma amostragem bem representativa, com altos custos, o que para Ortiz et al. (2010) dificulta a estimativa precisa de sua distribuição espacial, levando a uma eficácia reduzida de qualquer estratégia de manejo do fitopatógeno.

A correta compreensão da distribuição desses organismos no solo é importante porque os nematoides são responsáveis por fortes danos às culturas, resultando em prejuízos na produtividade. Debiasi et al. (2011), apontam que o nematoide *P. brachyurus* têm ocasionado perdas de até 30% na produtividade da soja.

A nematofauna em agroecossistemas compreende as espécies nativas que sobreviveram ao manejo agrícola, as que podem ter sido introduzidas pela atividade humana e as espécies que chegaram através da dispersão natural (ARIEIRA, 2012). As populações desses organismos no ambiente variam em função do potencial biótico de cada espécie e das condições adversas, físicas e bióticas, que o ambiente impõe.

A variabilidade na distribuição desses organismos tem relação direta com a textura do solo, podendo haver outros fatores bióticos e abióticos associados à reprodução do nematoide, movimento e distribuição dentro dos campos agrícolas (ORTIZ et al., 2013). Para Yeates e Bongers (1999), outras variáveis que estão associadas à distribuição dos nematoides nos solos são: posição dos nutrientes no solo, pH ou poluição.

Arieira (2012) afirma que dois componentes são definidos no padrão de distribuição espacial de nematoides: um macro, que ocorre em escala generalizada de campo e que é afetado por variáveis ambientais e outro micro, que ocorre em escala menor, na forma de reboleiras, sendo relacionado ao ciclo de vida e estratégia de alimentação.

Desse modo, a geoestatística se apresenta como a ferramenta mais adequada para o estudo destas populações, uma vez que detecta a dependência espacial entre as amostras coletadas em campo e quantificadas, que são usadas para construir mapas de krigagen (ARIEIRA, 2012).

### **1.2.3 Geoestatística e análise da variabilidade espacial da nematofauna em relação aos atributos do solo**

Dinardo-Miranda e Fracasso (2009) informam que não há estudos sobre a distribuição espacial de nematoides em diversas culturas e esses estudos são essenciais para o desenvolvimento de planos de amostragem, visando aplicação de programas de manejo integrado de pragas.

Para Liu et al. (2013), as estatísticas tradicionais, em combinação com a geoestatística, têm sido amplamente utilizadas para avaliar a variabilidade espacial de atributos do solo e suas relações com fatores ambientais, especialmente aqueles associados com o uso do solo.

A quantificação da variabilidade de alguns atributos e fenômenos que ocorrem no solo requer amostragem perturbadora, muitas vezes julgada impraticável, sendo necessária a utilização de técnicas que reduzam as amostragens (HILTBRUNNER et al., 2012). O mesmo ocorre com a análise da distribuição da nematofauna e dos seus efeitos sobre a produtividade das culturas (ARIEIRA, 2012).

A geoestatística, que busca resolver problemas de estimativa de uma variável regionalizada (MATHERON, 1971), se apresenta como uma técnica bastante útil para a avaliação da variabilidade espacial de diversos atributos e fenômenos ambientais.

A difusão do uso da referida técnica se deu porque, embora a amostragem direta forneça a melhor informação acerca dos atributos do solo, a densidade de amostras é raramente adequada para descrever a variação horizontal e vertical das referidas propriedades (BENEDETTO et al., 2012), necessitando que valores de pontos não amostrados sejam estimados.

A geoestatística, cujos pressupostos básicos tiveram origem nos trabalhos de Krige, em 1951, foi desenvolvida a partir dos trabalhos de Matheron a partir do ano de 1962 (YAMAMOTO; LANDIM, 2013) mediante a formulação da *teoria das variáveis regionalizadas*. Desde então, tem demonstrado ser uma ferramenta valiosa na ciência, tendo por objetivo caracterizar espacialmente uma variável por meio de sua distribuição e variabilidade espaciais, com a determinação das incertezas associadas (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

O foco principal da análise de dados geoestatísticos é compreender e descrever os padrões espaciais das variáveis e um parâmetro chave que distingue estimativa geoestatística de outros tipos de estimativas, tais como a distância de interpolação inversa, é um modelo de correlação ajustado ao semivariograma que controla os pesos atribuídos aos dados nas proximidades (SRIVASTAVA, 2013).

A simulação geoestatística se diferencia de outros métodos para a construção de modelos de uso da terra porque ela visa retratar corretamente a variação espacial, que outros métodos não o fazem (SRIVASTAVA, 2013). Essa correlação pode ser isotrópica: quando a função variograma não varia com a direção, e anisotrópicas: quando a função variograma muda com a direção (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). A anisotropia é uma característica muito frequente nos elementos da natureza, isto é, a variabilidade ou distribuição espacial de tais elementos ocorre mais intensamente numa direção e menos em outra direção.

A distribuição de nematoides pode ter uma tendência anisotrópica, pois a mecanização pode induzir ou forçar a movimentação dos organismos ao longo do plantio por meio de trânsito de máquinas e implementos agrícolas. Para Rossoni e Lima (2012), quando o fenômeno em estudo revela diferentes padrões de dependência espacial, ou seja, apresenta uma variabilidade que não é a mesma em todas as direções, o fenômeno em estudo é chamado de anisotrópico.

A determinação do modelo de correlação espacial da variável regionalizada é feita pelo cálculo experimental dessa correlação (semivariograma), utilizando-se os dados dos pontos amostrados e ajustando-se posteriormente um modelo teórico. Isso se dá, porque não se pode definir inicialmente a covariância ou a variância para variáveis regionalizadas que tem a possibilidade infinita de dispersão. Os modelos teóricos para ajuste do semivariograma experimental podem ser esférico, exponencial, gaussiano, cúbico, pentaesférico e efeito pepita puro (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Para Srivastava (2013), o cálculo de um semivariograma requer pelo menos várias dezenas de dados coletados em pontos com localização conhecida, os quais, quando combinados uns com os outros, criam várias centenas de pares de dados com diferentes espaçamentos. O semivariograma corresponde, na prática, à metade da diferença da variância de pares de pontos separados por uma distância  $h$  (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Após cálculo do semivariograma é feito o ajuste do melhor modelo teórico, que deve levar em consideração a menor soma residual dos quadrados (SQR) e o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), cujo valor ideal é 1, dos quais derivam outros parâmetros como: efeito pepita ( $C_0$ ), causado pela variância aleatória em função da escala de amostragem e/ou variabilidade do fenômeno e cujo valor ideal é zero; patamar ( $C + C_0$ ), em que  $C$  é a variância espacial; o alcance ( $a$ ) representa: a distância máxima em que as variáveis mostram dependência espacial; e grau de dependência espacial (GDE), dado por  $C_0/(C_0+C)$ , que podem identificar a estrutura espacial das variáveis em uma escala dada (LIU et al., 2013).

O extremo da aleatoriedade é chamado efeito pepita puro (EPP) (YAMAMOTO; LANDIM, 2013), e quanto menor for a distância entre pontos amostrados, maior será a dependência entre os pontos (SOARES, 2006). Uma vez obtidos esses dados, a adoção do melhor modelo passa por um processo de validação. O grau de dependência espacial (GDE) das variáveis em estudo foi avaliado segundo a classificação de Cambardella et al. (1994), calculado por  $C_0/(C_0+C)$ . Na referida classificação, valores inferiores a 25% indicam dependência espacial forte, entre 25% e 75%, dependência moderada, e maiores que 75%, dependência espacial fraca.

As estimativas geoestatísticas só podem ser feitas após cálculo do semivariograma e ajuste ao modelo ideal. O processo geoestatístico que tem sido mais comumente utilizado é o da krigagem, que estima os valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou no tempo (modelagem) com base nos valores adjacentes quando considerados interdependentes pela análise variográfica (dependência de distância, efeito pepita, da amplitude e da presença de anisotropia).

A difusão do uso do referido processo se justifica porque ele possui um mecanismo de atenuação que considera pontos distantes (fora do alcance) como vizinhos (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). A krigagem pode ser ordinária (quando se utiliza os dados originais, sem transformação), multigaussiana, lognormal e indicadora, quando os dados são transformados por função gaussiana, lognormal e indicadora, respectivamente (YAMAMOTO et al., 2012).

Antes de se fazer uso da krigagem para elaboração dos mapas de distribuição espacial da variável analisada, é necessário que se faça a validação do modelo e do procedimentos geoestatísticos adotados. Isso é possível por meio de validação cruzada, em que se tem como parâmetro decisório o coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados obtidos pela validação cruzada (YAMAMOTO et al., 2012), que deve ser igual a 1, idealmente.

#### **1.2.4 Cultura da soja no Maranhão**

A expansão da cultura da soja enquanto lavoura de larga escala no Maranhão é uma atividade recente. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o primeiro indicador de produção de soja no Maranhão a constar nas estatísticas da Produção Agrícola Municipal é do ano de 1978. Foi nos anos de 1990 que a produção de soja ganhou impulso definitivo, concentrando-se inicialmente na Mesorregião Sul, mais precisamente nos municípios de Balsas, Riachão, Tasso Fragoso, São Raimundo das Mangabeiras e Sambaíba. A produção de soja nos últimos anos da década de 1990 se consolidou no Sul do Maranhão e

avançou para outras regiões do estado, principalmente para o Centro e o Leste maranhenses (Figura 1).

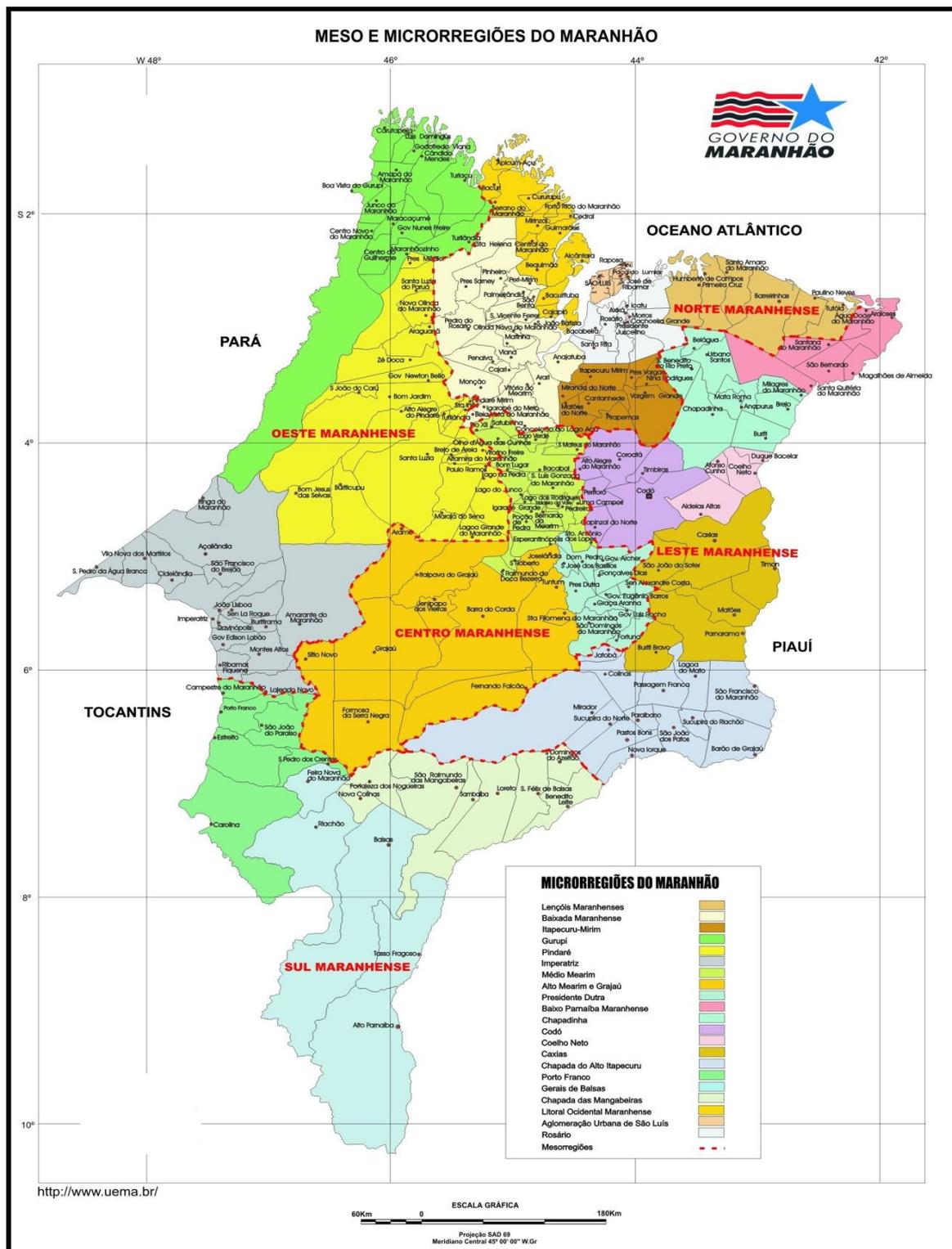


Figura 1 – Mapa do estado do Maranhão com meso e microrregiões homogêneas (UEMA, 2004).

A expansão da sojicultura para o Leste Maranhense começou na década de 1990, mas só se consolidou no início do ano 2000. A expansão recente da lavoura da soja fez com que em 2006 essa mesorregião fosse responsável por 10% do total plantado no Maranhão, sendo essa região considerada a nova fronteira da produção de soja no Brasil (CONAB, 2006).

A microrregião homogênea de Chapadinha possui um potencial de cerca de duzentos mil hectares para a produção mecanizada de grãos (soja, milho, arroz), espalhados pelos seguintes municípios: Chapadinha, Buriti, Anapurus, Mata Roma, Brejo, Santa Quitéria, Milagres, São Bernardo, Magalhães de Almeida, Urbano Santos, São Benedito do Rio Preto e Água Doce do Maranhão (SCHLESINGER et al., 2008).

Entre os municípios que possuem a maior área plantada com soja no Leste Maranhense, destacam-se seis municípios que integram a Microrregião de Chapadinha (Anapurus, Brejo, Buriti, Chapadinha, Mata Roma e Milagres do Maranhão) e o município de Magalhães de Almeida, que faz parte da Microrregião homogênea do Baixo Parnaíba (IBGE, 2010).

A expansão da soja no Leste Maranhense teve um fator importante, na sua consolidação, que foi a construção, pela mineradora Vale, de uma estrutura para armazenamento e exportação de soja pelo porto de Itaqui, uma vez que a região possui uma localização privilegiada, distando apenas 250 quilômetros do porto e contando com uma rodovia (BR-222) para o transporte da produção de grãos (SCHLESINGER et al., 2008).

### **1.2.5 Tabuleiros de Chapadinha–MA**

Os solos sob a formação dos Tabuleiros Costeiros estão restritos à zona úmida costeira do litoral oriental das regiões norte, nordeste e sudeste do Brasil sob climas de estações secas e úmidas bem definidas (JACOMINE, 2001; GIAROLA; SILVA, 2002). Nos solos dessas regiões, a presença dos horizontes coesos se deve

às condições climáticas, aliadas ao relevo e ao material de origem, constituído por sedimentos detríticos da Formação Barreiras que favorecem a formação dos referido horizontes (JACOMINE et al., 1986).

Os Tabuleiros de Chapadinha, denominados Tabuleiros Sublitorâneos (IBGE, 2011c), ocupam extensa superfície tabular não dissecada a sul dos vastos campos de dunas fixas dos Lençóis Maranhenses. Esses tabuleiros são sustentados por sedimentos do Grupo Barreiras, possuindo, frequentemente, coberturas detrítico-lateríticas bem elaboradas (IBGE, 2011b).

A Formação Barreiras representa uma cobertura sedimentar terrígena continental, de idade pliocênica, depositada por sistemas fluviais entrelaçados, associados a leques aluviais. A fácies de sistemas fluviais entrelaçados apresentam depósitos de granulometria variada, com cascalhos e areias grossas e finas, de coloração creme-amarelada, com intercalações de microclastos de argila sílica, indicativo de ambiente de sedimentação calmo, como, por exemplo, de planície aluvial. A fácies de leques é constituída por conglomerados polimíticos de coloração creme-avermelhada, com seixos e grânulos subangulosos de quartzo com blocos de argila retrabalhada, em corpos tabulares e lenticulares de até um metro de espessura, intercalados com camada síltico-argilosa menos espessa (ALHEIROS et al., 1988).

Os Tabuleiros de Chapadinha são delimitados: a norte, pelos Lençóis Maranhenses; a leste, pelo baixo vale do rio Parnaíba; a sul e oeste, pelas Superfícies Tabulares da Bacia dos Rios Munim e Itapecuru. São representados por extensa superfície planáltica, conservada e demarcada por curtos rebordos erosivos, com caimento muito suave de sul para norte, apresentando baixíssima densidade de drenagem (R2b1), todavia, ligeiramente mais elevada que as superfícies dissecadas circunjacentes (R2b2). Essa vasta superfície tabular registra, portanto, cotas baixas, que variam entre 80 e 120 m (BANDEIRA, 2013).

Sobre esses baixos platôs não dissecados desenvolvem-se solos muito profundos (>2.0 m), bem drenados e de baixa fertilidade natural, predominando, nas planuras dos topos dos baixos platôs, Latossolos Amarelos distróficos, e, nas áreas levemente dissecadas, Plintossolos Pétricos concrecionários argissólicos e Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos petroplínticos (IBGE, 2011a). A ocorrência

de solos concrecionários sugere que houve alternância de períodos de encharcamento e secagem no passado, estando hoje esse processo superado, sendo os solos permeáveis. Dentre as principais localidades que se situam nessa unidade, destacam-se: Chapadinha (posicionada no limite ocidental dos tabuleiros), Anapurus e Mata Roma. A leste, voltado para o vale do rio Parnaíba, os municípios de Brejo e Buriti (BANDEIRA, 2013).

### 1.3 Referências

ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F.; MONTEIRO, F. A. J.; OLIVEIRA FILHO, J. S. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 2, p. 753-760.

ANTONIO, S. F.; MENDES, F. L.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, 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. CD-ROM.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012. doi: 10.5777/PAeT.V5.N1.12.

ARIEIRA, G. de O. **Diversidade de nematoides em sistemas de culturas e manejo do solo**. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em).

BACK, M. A.; HAYDOCK, P. P. J.; JENKINSON, P. Nematodes and soilborne pathogens disease complexes involving plant parasitic nematodes and soil borne pathogens. **Plant Pathology**, London, v. 51, p. 683-697, 2002.

BADRA, T.; SALEH, M. A.; OTEIFA, B. A. Nematicidal activity and composition of some organic fertilizers and amendments. **Revue Nématologie**, Marseille, v. 2, n. 1, p. 29-36, 1979.

BANDEIRA, I. C. N. **Geodiversidade do estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013. p. 42.

BENEDETTO, D. de; CASTRIGNANO, A.; SOLLITTO, D.; MODUGNO, F.; BETTAFUOCO, G.; PAPA, G. Integrating geophysical and geostatistical techniques to map the spatial variation of clay. **Geoderma**, Amsterdam, v. 171-172, p. 53-63, 2012. doi:10.1016/j.geoderma.2011.05.005

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, C. de; FERNANDES, D. C.; 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.

CASTILLO, P.; VOVLAS, N. ***Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): diagnosis, biology, pathogenicity and management**. Leiden: Brill, 2007. 529 p. (Nematology Monographs and Perspectives, 6).

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, décimo segundo levantamento, setembro 2006**. Brasília, DF, 2006. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/ploads/arquivos/7e05515f8222082610088f5a2376c6af.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2013.

COOK, C. G.; WHITE, G. A. *Crotalaria juncea*: a potencial multi-purpose fiber crop. In: COOK, C. G.; WHITE, G. A. (Ed.). **Progress in new crops**. Arlington: ASHS Press, 1996. p. 389-394.

COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. **A method for the quantitative extraction of nematodos from plant tissue**. Ghent: State Agricultural Research Center, 1972. 77 p.

DEBIASI, H.; MORAES, M. T.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; SILVA, J. F. V.; RIBAS, L. N. Monitoramento da fertilidade do solo e da ocorrência do nematoide das lesões radiculares em soja no Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais eletrônicos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. 1 CD-ROM.

DIAS, W. P.; ASMUS, G. L.; SILVA, J. F. V.; GARCIA, A.; CARNEIRO, G. E. S. Nematóides. In: ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S. (Ed.). **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações como manejo do solo e da cultura**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. p. 173-206.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. Spatial distribution of plant-parasitic nematodes in sugarcane fields. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 2, p. 188-194, 2009.

FALEIRO, V. O.; FARIAS NETO, A. L.; BORGES, D. C.; SILVA, J. F. V.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; SILVA NETO, S. P. Reação de cultivares de Soja a *Pratylenchus brachyurus*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6., 2012, Cuiabá. **Anais eletrônicos...** Londrina: Embrapa Soja, 2012. 1 CD-ROM.

FARIAS, P. R. S.; SÁNCHEZ VILA, X.; BARBOSA, J. C.; VIEIRA, S. R.; FERRAZ, L. C. C. B.; SOLIS-DELFIN, J. Using geostatistical analysis to evaluate the presence of *Rotylenchulus reniformis* in cotton crops in Brazil: economic implications. **Journal of Nematology**, Orlando, v. 34, n. 3, p. 232-238, 2002.

FERRAZ, L. C. C. B. Gênero *Pratylenchus* os nematóides das lesões radiculares. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 7, p. 157-195, 1999.

FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R. Nematóides. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Ceres, 1995. V. 1, p. 168-201.

FERRAZ, L. C. C. B. Patogenicidade de *Pratylenchus brachyurus* a três cultivares de soja. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 19, p. 1-8, 1995.

FERRAZ, S.; VALLE, L. A. C. Utilização de plantas antagônicas no controle de fitonematóides. In: OLIVEIRA, J. R. (Ed.). **II Encontro de Fitopatologia**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 1997. p. 42-55.

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 BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais eletrônicos...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. 1 CD-ROM.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. Conceitos sobre solos coesos e hardsetting. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 613-620, 2002.

GOEDE, R. G. M. de; BONGERS, T. **Nematode communities of northern temperate grassland ecosystems**. Giessen: Focus Verlag, 1998. 388 p.

GOULART, A. M. C. **Aspectos gerais sobre nematóides-das-lesões-radiculares (gênero *Pratylenchus*)**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 27 p.

GOULART, A. M. C.; FERRAZ, L. C. C. B. Comunidades de nematóides em Cerrado com vegetação original preservada ou substituída por culturas. 1. Diversidade trófica. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 27, n. 2, p. 123-128, 2003.

GOULART, A. M. C.; FERRAZ, L. C. C. B. Comunidades de nematóides em Cerrado com vegetação original preservada ou substituída por culturas. 2. Diversidade trófica. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 27, n. 2, p. 129-137, 2003.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO. **Atlas do Maranhão**. São Luís: GEPLAN, 2004. Escala 1: 400.000.

GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 1, p. 1-10, 2012.

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.

HILTBRUNNER, D.; SHULZE, S.; HAGEDORN, F.; SCHMIDT, W. I.; ZIMMERMANN, S. Cattle trampling alters soil properties and changes soil microbial communities in a Swiss sub-alpine pasture. **Geoderma**, Amsterdam, v. 170, n. 15, p. 369–377, 2012.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Geologia**: mapa geológico do estado do Maranhão. Rio de Janeiro, 2011b. Escala 1:400.000.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Geomorfologia**: mapa geomorfológico do estado do Maranhão. Rio de Janeiro, 2011c. Escala 1:400.000.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Pedologia**: mapa exploratório de solos do estado do Maranhão. Rio de Janeiro, 2011a. Escala 1:400.000.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro, 2010. v. 37. 91 p.

INOMOTO, M. M. Importância e manejo de *Pratylenchus brachyurus*. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 108, p. 4-9, 2008.

INOMOTO, M. M.; MOTTA, L. C.; BELUTI, D. B.; MACHADO, A. C. Z. Reação de seis adubos verdes a *Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 30, n. 1, p. 39-44, 2006.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; PESSÔA, S. C. P.; BURGOS, N.; MEDEIROS, L. A. R.; LOPES, O. F.; MÉLO FILHO, H. F. R. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão**. Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS/SUDENE-DRN, 1986. 964 p. (Boletim de Pesquisa, 35).

JENKINS, W. R. A. A rapid centrifugal – flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, St. Paul, v. 48, p. 692, 1964.

LIMA, J. A. G.; MENDES, A. M. S.; DUDA, G. P.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de características físico-hídricas de um cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 2, p. 192-199, 2006.

LIU, L.; YAN, Z.; TANG, L.; CAO, W.; WANG, E. Impacts of climate changes, soil nutrients, variety types and management practices on rice yield in East China: a case study in the Taihu region. **Field Crops Research**, Amsterdam, v 149, n. 1, p. 40–48, 2013a. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2013.04.022>

LOOF, P. A. A. The family Pratylenchidae Thorne, 1949. In: NICKLE, W. R. (Ed.). **Manual of agricultural nematology**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 363-421.

MACHADO, A. C. Z.; MOTTA, L. C. C.; SIQUEIRA, K. M. S.; FERRAZ, L. C. C. B.; INOMOTO, M. M. Host status of green manures for two isolates of *Pratylenchus brachyurus* in Brazil. **Nematology**, Leiden, v. 9, n. 6, p. 799-805, 2007.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its application**. Paris: Paris School of Mines Publications, 1971. (Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, 51).

MELAKEBERHAN, H.; BIRD, G. W.; GORE, R. Impact of plant nutrition on *Pratylenchus penetrans* infection of *Prunus avium* rootstocks. **Journal of Nematology**, St. Paul, v. 29, n. 3, p. 381-388, 1997.

MENDES, F. L.; ANTONIO, S. F.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; SILVA, J. F. V. Manejo cultural do nematoide das lesões radiculares durante a entressafra da soja no Mato Grosso. Reação de cultivares de Soja a *Pratylenchus brachyurus*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6., 2012, Cuiabá. **Anais eletrônicos...** Londrina: Embrapa Soja, 2012. CD-ROM.

MOURA, R. M.; MOURA, A. M.; MACEDO, M. E. A.; SILVA, E. G. Influência de três combinações de culturas sobre populações de nematoides associados a cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 21, n. 2, p. 75-83. 1997.

OLIVEIRA, I. A. de; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E. de; MARQUES JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, E. P. do. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 4, p. 1103-1112, 2013.

ORTIZ, B. V.; GOOVAERTS, P.; VELLIDIS, G.; SULLIVAN, D. Geostatistical modeling of the spatial variability and risk areas of southern root-knot nematodes in relation to soil properties. **Geoderma**, Amsterdam, v. 156, n. 3-4, p. 243-252, 2010. Doi:10.1016/j.geoderma.2010.02.024.

PEACOCK, F. C. The development of a technique for studying the host-parasite relationships of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* under controlled conditions. **Nematologica**, Leiden, v. 4, p. 43-55, 1959.

PINHEIRO, J. B.; POZZA, E. A.; ALEXANDRE POZZA, A. A.; MOREIRA, A. S.; ALVES, M. C.; CAMPOS, V. P. Influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematóide de cisto da soja. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 32, n. 4, p. 270-278, 2008.

RIBEIRO, N. R.; DIAS, W. P.; HOMECHIN, M.; SILVA, J. F. V.; FRANCISCO, A.; LOPES, I. O. N. Reação de algumas espécies vegetais a *Pratylenchus brachyurus*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 27., 2007, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: EA/UFG, 2007. p. 58.

ROSSONI, D. F.; LIMA, R. R. A importância da correção da anisotropia em análises geoestatísticas. **Revista da Estatística da UFOP**, Ouro Preto, v. 2, p. 217-221, 2012.

SCHLESINGER, S.; NUNES, S. P.; CARNEIRO, M. S. **Agricultura familiar da soja na região sul e o monocultivo no Maranhão**: duas faces do cultivo da soja no Brasil. Rio de Janeiro: Fase, 2008. p. 148.

SCHMITT, D. P.; BARKER, K. R. Damage and reproductive potentials of *Pratylenchus brachyurus* and *P. penetrans* on soybean. **Journal of Nematology**, St. Paul, v. 13, n. 3, p. 327- 332, 1981.

SOARES, A. **Geoestatística para as ciências da terra e ambiente**. 2. ed. Lisboa: IST Press, 2006.

SRIVASTAVA, R. M. Geostatistics: a toolkit for data analysis, spatial prediction and risk management in the coal industry. **International Journal of Coal Geology**, v.112, n. 1, p. 213, 2013. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2013.01.011>.

TIHOHOD, D. **Guia prático de identificação de fitonematóides**. Jaboticabal: FCAV: FAPESP, 1997. 246 p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. (Ed.). **Tópicos em ciências do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54.

VILLAR, E. M. J.; ZAVALA-MEJÍA, E. Effect of *Crotolaria longirostrata* Hook y Arnott on rootgalling nematodes (*Meloidogyne* spp). **Revista Mexicana de Fitopatologia**, Sonora, v. 8, n. 2, p. 166-172, 1990.

WALLACE, H. R. **Nematode ecology and plant disease**. London: Edward Arnold, 1973. 228 p.

WILCKEN, S. R. S.; GABIA, A. A.; SILVA, M. F. A.; JOAZ DORNELES JÚNIOR, J. D.; ZIMBACK, C. R. L. Distribuição horizontal de *Pratylenchus zae* em milho. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 3., 2013, Botucatu. **Anais eletrônicos...** Botucatu: FCA, 2013. CD-ROM.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

YAMAMOTO, J. K.; MAO, X. M.; CROSTA, K. K. A. P.; LANDIM, P. M. B.; HU, H. Z.; WANG, C. Y.; YAO, L. Q. Mapping an uncertainty zone between interpolated types of a categorical variable. **Computers and Geosciences**, Kidlington, v. 40, p. 146-152, 2012.

YEATES, G. W.; BONGERS, T. Nematode diversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 74, n. 1-3, p. 113-135, 1999.

## **CAPÍTULO 2 – Distribuição espacial de *Pratylenchus brachyurus* em soja no Leste do Maranhão**

**Resumo** – O nematoide das lesões radiculares *Pratylenchus brachyurus* é autóctone da região dos cerrados do Brasil. Com o objetivo de avaliar a distribuição espacial do referido organismo e sua influência na produtividade da cultura da soja no Leste do Maranhão, a presente pesquisa foi desenvolvida mediante amostragem em 142 pontos georreferenciados distribuídos em uma área de 180×180 m. As amostras de solo e de raízes foram coletadas na camada arável, e os nematoides extraídos foram contados com auxílio de lâminas de Peters, sob microscópio fotônico. Os resultados foram analisados por meio do ajuste de semivariogramas anisotrópicos e mapas de krigagem. O modelo exponencial foi ajustado para todas as variáveis estudadas, com presença de anisotropia, com alcances maiores na direção de 135°, devido ao preparo do solo e plantio. Concluiu-se que o aumento da população de nematoides está relacionado com a presença de raízes da planta hospedeira no solo. Na escala de estudo, as variáveis número de nematoides no solo, número de nematoides na raiz, número de ovos na raiz e soma do número de nematoides na raiz e ovos apresentaram forte dependência espacial. A direção do preparo do solo e plantio da cultura influenciou na distribuição dos nematoides na área com presença de anisotropia.

**Palavras-chave:** anisotropia, geoestatística, *Pratylenchus brachyurus*

## **Spatial distribution of *Pratylenchus brachyurus* in soybean in Eastern Maranhão**

**Abstract** – The nematode *Pratylenchus brachyurus* of root lesions is indigenous to the Cerrado region of Brazil. In order to assess the spatial distribution of the organism and its influence on productivity of soybean in eastern Maranhão, this research was conducted by sampling 142 georeferenced points spread over an area of 180×180 m. The samples of soil and roots were collected from the plow layer, and the extracted nematodes were counted with the aid of slides Peters under photonic microscope. The results were analyzed by tuning the anisotropic semivariograms and kriging maps. The exponential model was adjusted for all variables, with the presence of anisotropy, with higher ranges in the direction of 135°, due to tillage and planting. It was concluded that nematode population increase is related to the presence of roots of the host plant in the soil. Range of the study variables Number of Nematodes in Soil Nematodes in the number of root, number of eggs and the Root Sum of Number of Nematodes on Root and eggs showed a strong spatial dependence. The direction of tillage and planting culture influenced the distribution of nematodes in the area with the presence of anisotropy.

**Keywords:** anisotropy, geostatistics, *Pratylenchus brachyurus*

## 2.1 Introdução

O nematoide das lesões radiculares *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey) é autóctone dos Cerrados do Brasil (Goulart et al. 2003; Machado et al. 2007). Espécies de *Pratylenchus* (Castillo & Vovlas 2007) provocam necrose nas raízes, principalmente nas radículas, reduzindo a absorção de água e nutrientes pela planta. O mau desenvolvimento radicular é refletido no baixo desenvolvimento da parte aérea da planta, resultando em redução na produtividade da cultura. A sintomatologia visual do ataque é feita através de observações a campo de “manchas” ou “reboleiras” de plantas com raízes necrosadas, deficientes nutricionalmente (folhas cloróticas), entre outras plantas maiores e que não apresentam sintomas visuais de deficiência de nutrientes (Barbosa & Santos 2009).

Os danos econômicos do organismo supracitado para a soja brasileira têm aumentado nos últimos anos, devido à expansão da área de produção desta cultura para locais com solos arenosos (Jordaan et al. 1989; Antônio et al. 2012), associados à utilização de cultivares muito suscetíveis ao nematoide (Ferraz 1995; Dias et al. 2010). Ao longo do tempo, o patógeno foi beneficiado, também, por mudanças no sistema de produção, com destaque para a implantação do plantio direto e incorporação de áreas degradadas de pastagem ao sistema produtivo (Ribeiro et al. 2007).

O estado do Maranhão apresenta cerca de 660 mil ha cultivado com soja. Embora não seja o estado brasileiro com maior área plantada com a cultura, esse estado destaca-se por apresentar a maior taxa de crescimento anual (13%) de áreas de plantio desta cultura (CONAB 2013). Na região leste do estado, área de franca expansão da sojicultura, os cultivos já apresentam sintomas de infestação de *P. brachyurus* e perdas significativas de produtividade.

A teoria da variável regionalizada, conhecida como geoestatística, é uma metodologia adequada para a análise de dados que estão correlacionados espacialmente (Goovaerts 1997). Por meio da geoestatística, é possível caracterizar a estrutura da dependência espacial entre os parâmetros que definem a distribuição espacial dos nematoides no solo. Uma vez detectada a dependência espacial entre

as observações, o processo de “krigagem” permite estimar valores em locais não amostrados (Vieira 2000). A técnica consiste em estimar valores médios e também uma medida de acuracidade dessa estimativa. Seus pesos são calculados com base na distância entre a amostra e o ponto estimado; na continuidade espacial e no arranjo geométrico do conjunto (Bettini 2007). O mapeamento possibilita a visualização espacial das reboleiras nas áreas infestadas, o que constitui aspecto de inquestionável importância como ferramenta de apoio às decisões para o manejo de populações desses patógenos (Pinheiro et al. 2008).

Diante do exposto, objetivou-se modelar a distribuição espacial de *P. brachyurus* em área de cultivo de soja, no leste do estado do Maranhão, bem como determinar sua relação com a produtividade da cultura.

## 2.2 Material e Métodos

O presente trabalho foi desenvolvido em maio de 2013 na Fazenda Condor, situada no município de Brejo, região Leste do estado do Maranhão (Figura 1) com coordenadas geográficas centrais de -73.2734° longitude e -95.93378° latitude.

O solo no local foi caracterizado como Argissolo Amarelo distrocoeso típico, textura arenosa (Dantas 2013), apresentando sequência de horizontes A1-AB-BA-Bt2 e Bt3, com profundidades superiores a 1,40 m. A granulometria da camada superficial é de 350 g kg<sup>-1</sup> de areia fina, 450 de areia grossa, 40 de silte e 160 g kg<sup>-1</sup> de argila.

A área foi selecionada em função da presença de *P. brachyurus*, confirmada pelas extensas reboleiras de plantas com nanismo e também pela observação de raízes de soja com sintomas de lesões, características do ataque do nematoide. A metodologia de coleta adotada, não gerou qualquer modificação nos trabalhos normais do produtor quanto ao preparo e à adubação do solo, plantio, condução, tratamentos fitossanitários e colheita.

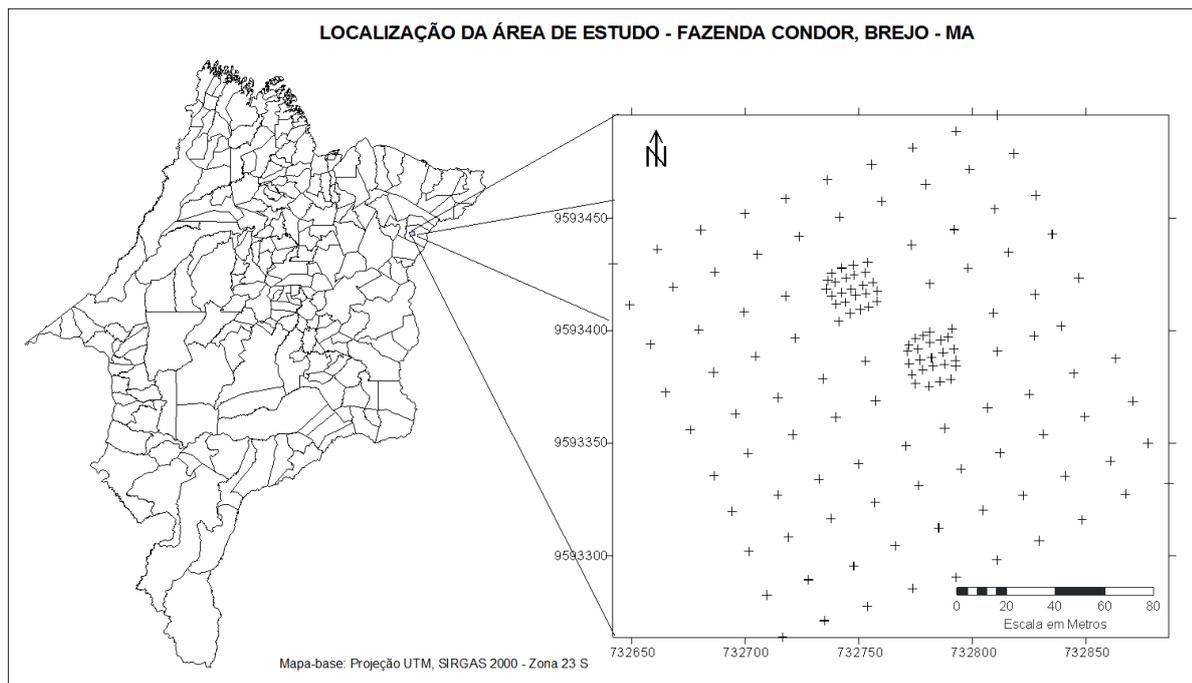


Figura 1 – Localização da área de estudo, com adensamento dos pontos de coleta (Brejo–MA, 2013).

Em 01 de maio de 2013, quando a soja (cultivar BRS Tracajá) se encontrava no estágio R7.3 (mais de 76% de folhas e vagens amarelas), foram marcados e georreferenciados 142 pontos amostrais equidistantes 20 m em uma área de 180×180 m, totalizando 3,2 ha. Nesta mesma área foram selecionados aleatoriamente dois quadrantes de 20×20 m nos quais foram feitos adensamentos de 5×5 m (Figura 1), com a finalidade de captar melhor a estrutura de dependência espacial em escala menor e captando a subida do variograma. Em cada ponto foram coletadas amostras de plantas e solo. Cada amostra foi obtida a partir de seis amostras simples de solo e raízes, tomadas ao redor do respectivo ponto georreferenciado, que foram misturadas homogeneamente para obtenção de cada amostra composta, para identificação e quantificação dos nematoides. No mesmo dia foram colhidas as vagens de 1 m<sup>2</sup> de cada ponto da malha para determinação da produtividade no ponto amostral.

A fração do solo de cada amostra foi processada pela técnica da flotação centrífuga em solução de sacarose, conforme descrito por Jenkins (1964). Uma alíquota de 100 cm<sup>3</sup> de solo foi colocada em um recipiente contendo 2 L de água. Os torrões foram desmanchados e a suspensão, após a homogeneização, permaneceu

em repouso por 15 segundos. Após esse período, a suspensão foi vertida em peneiras com orifícios de 0,85 e 0,025 mm (20 e 500 mesh) sobrepostas respectivamente. O material retido na peneira de 0.025 mm foi recolhido em suspensão aquosa e distribuído em tubos de centrífuga.

As amostras foram centrifugadas à rotação de 1750 rpm, durante cinco minutos. Após a centrifugação, o sobrenadante foi descartado e adicionou-se ao resíduo uma solução de sacarose (454 g de açúcar. L<sup>-1</sup> de água). O conteúdo foi agitado com auxílio de um bastão de vidro e os tubos foram centrifugados novamente na mesma rotação, durante 60 segundos. O sobrenadante foi vertido na peneira de 0,025 mm. Os nematoides retidos nessa peneira foram recuperados em suspensão aquosa, com auxílio de jatos de água aplicados com pisseta. As suspensões de nematoides foram acondicionadas em tubos de plástico do tipo falcon de 20 mL e mantidos em refrigerador, em torno de 4 °C.

A extração dos nematoides e ovos presentes nas raízes de soja foi realizada pelo método de Coolen & D'Herde (1972).

O número de nematoides no solo e nas raízes foi estimado com auxílio da câmara de contagem de Peters (Southey 1970), ao microscópio fotônico.

Inicialmente, a variabilidade da população de nematoides e a produtividade da soja foram avaliadas por meio da estatística descritiva, calculando-se média, mediana, variância e coeficientes de variação, assimetria e curtose. A dependência espacial foi analisada por meio de técnicas geoestatística, com estimativas de semivariogramas experimentais e ajustes de modelos permissíveis.

Sob a pressuposição da hipótese intrínseca, o semivariograma foi estimado pela Equação 1, proposta por Burrough & McDonnell (2006):

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

Em que:  $N(h)$  significa o número de pares experimentais de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i+h)$  separados por uma distância  $h$ . O semivariograma é representado pelo gráfico de  $\hat{\gamma}(h)$  versus  $h$ .

A partir do ajuste de um modelo matemático aos valores de  $\hat{\gamma}(h)$ , foram estimados os parâmetros do modelo teórico do semivariograma (o efeito pepita,  $C_0$ ; patamar,  $C_0 + C_1$ ; e o alcance,  $a$ ). A razão entre o efeito pepita e o patamar ( $C_0/(C_0 + C_1)$ ), expressa em porcentagem, foi utilizada para classificar a dependência espacial das variáveis estudadas, que, de acordo com Cambardella et al. (1994), é classificada como: forte ( $(C_0/(C_0 + C_1)) \leq 0,25$ ), moderada ( $0,25 < (C_0/(C_0 + C_1)) < 0,75$ ) ou fraca ( $(C_0/(C_0 + C_1)) \geq 0,75$ ).

Variogramas anisotrópicos foram considerados neste estudo, com a seleção de direções dos vetores  $h$  associada aos pares  $Z(x_i) - Z(x_i+h)$ . A escolha do melhor ajuste ao semivariograma experimental baseou-se na menor soma do quadrado do resíduo (SQR), maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e na validação cruzada (Vieira 2000). O processo de validação cruzada consiste na remoção de cada observação pertencente ao conjunto de dados com subsequente estimativa do seu valor por meio do método de interpolação da krigagem ordinária (KO) (Isaaks & Srivastava 1989).

A estimativa da krigagem no ponto  $x_0$  não amostrado é dada pela Equação 2:

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (2)$$

Em que:  $\hat{z}(x_0)$  a estimativa de krigagem no ponto  $x_0$ ,  $z(x_i)$  os valores vizinhos nos locais  $x_i, i = 1, 2, \dots, n$  e  $\lambda_i$  os pesos das observações associados aos valores vizinhos. Estes são calculados com base no semivariograma ajustado.

Para o atributo número de nematoides na raiz (NNR) foi usado o método da krigagem indicativa, considerando o valor de corte de 82 nematoides  $g^{-1}$  de raiz (Antônio et al. 2012).

Foi feita a codificação da função aleatória  $z(x)$  em um vetor de indicadores  $I(x_\alpha; z_k)$ , transformando os valores que estão acima de um determinado nível de corte,  $z_k$ , em zero (0) e os que estão abaixo em um (1), segundo a Equação 3:

$$I(x_\alpha; z_k) = \begin{cases} 1 & \text{se } z(x_\alpha) \leq z_k \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}, k = 1, \dots, K \quad \alpha = 1, \dots, n \quad (3)$$

A estimativa da função de distribuição acumulada  $f(da)$ , fornecida pela KI, para um determinado corte é dada pela Equação 4:

$$\hat{I}(x_\alpha; z_k) = E[\hat{I}(x_0; z_k) | (n)] = P[\hat{Z}(x_0) \leq z_k | (n)] \quad (4)$$

em que:  $n$  representa o condicionamento das informações disponíveis nas vizinhanças da posição  $x_0$ , na qual será realizada a estimativa.

A análise variográfica foi realizada no Software GS+ 9.0 (Gamma Design Software 2008). Para a construção dos mapas espaciais foi utilizado o software Surfer versão 11 (Golden Software Inc. 2012).

### 2.3 Resultados e Discussão

A média para número de nematoides no solo (NNS) (499 indivíduos) encontrada na pesquisa (Tabela 1) é semelhante àquela detectada por Silva (2007) em Jataí, no Estado de Goiás, ao avaliar 309 amostras de áreas com cultivo de soja e milho, em fase de desenvolvimento, sendo que em 77,3% das amostras foram constatadas a presença de *P. brachyurus*, com uma população média de 314 indivíduos por 150 cm<sup>3</sup> de solo. No presente trabalho a amostragem foi realizada no final do ciclo da cultura, fase em que a tendência é a redução do *P. brachyurus* nas raízes por conta no número maior de espécimes que elas são capazes de suportar,

ou seja, devido à competição entre eles, muitos morrem por inanição (Barbosa et al. 2013).

As análises de raízes revelaram maior média populacional de *P. brachyurus* (23.121 nematoides por 10 g raízes) em relação a média das análises de solo. Com efeito por se tratar de um endoparasita migrador, usualmente, havendo hospedeiro em crescimento no solo, a densidade da população de praga nas raízes será mais alta que no solo, conforme relatos de Mendes et al. (2012), Wilcken et al. (2013), Carvalho et al. (2013).

O número de espécimes de *Pratylenchus* spp. no solo, quando a cultura hospedeira está em fase de desenvolvimento no campo, geralmente é menor que nas raízes (Barbosa et al. 2013). Este comportamento foi constatado também no final do ciclo, com média populacional maior nas raízes de soja (Tabela 1) devido ao hábito endoparasita migrador desses nematoides. Quando as raízes morrem, os nematoides que as parasitavam migram para a raiz sadia mais próxima (Carvalho et al. 2013; Barbosa et al. 2013).

Tabela 1 – Estatística descritiva da população de *Pratylenchus brachyurus* e produtividade de soja em Brejo–MA, 2013.

Estatística descritiva	10 g de raízes				Kg ha <sup>-1</sup>
	NNS	NNR	NOR	SNOR	
Média	499,00	23121,00	11892,00	33449,00	2399,80
Mediana	360,00	15840,00	9040,00	23960,00	2433,70
DP	511,80	23773,00	11377,00	32003,00	793,90
Variância	261954,00	5,65E+08	1,29E+08	1,02E+09	630335,80
CV	102,49	102,82	95,67	95,68	33,08
Mínimo	0	0	0	0	398,30
Máximo	2560,00	111680,00	57120,00	145440,00	3950,50
Assimetria	1,91	1,43	1,58	1,36	-0,26
Curtose	4,56	1,77	2,91	1,74	-0,29

(N=142); DP: desvio padrão; CV: Coeficiente de variação; Número de Nematoides no Solo (NNS), Número de Nematoides nas Raízes (NNR), Número de Ovos nas Raízes (NOR) e a Soma do Número de Nematoides e Ovos nas Raízes (SNOR) e Produtividade da Soja (PROD).

A área em que a amostragem foi realizada está inserida numa região de domínio do bioma cerrado onde *P. brachyurus* já ocorre no solo sob a vegetação nativa, porém muitas vezes em níveis populacionais baixos ou até mesmo não detectáveis (Goulart & Ferraz 2003; Goulart et al. 2003). Entretanto, com a implantação da monocultura da soja na região Leste do estado do Maranhão a

população de *P. brachyurus* vem aumentando muito no solo e causando perdas significativas de produtividade na cultura.

Os altos valores da média de NOR e SNOR (Tabela 1) indicam o grande potencial desse organismo em atingir altas populações ao final do ciclo da cultura e do elevado número de ovos que ficam latentes no solo, tornando-se fonte de inóculo para a próxima safra (Mendes et al. 2012; Barbosa et al. 2013).

Os valores da média e da mediana não são próximos, entre si indicando uma distribuição assimétrica positiva da população de *P. brachyurus* na área (Tabela 1). Isso ocorre em virtude da variabilidade dos dados, e da distribuição desuniforme, em forma de reboleiras, desses organismos no solo (Carvalho et al. 2013). Os valores elevados de CV, principalmente com relação à população de *P. brachyurus* indicam a heterogeneidade dos dados.

Na análise da variabilidade espacial dos dados (Tabela 2) verifica-se que as variáveis relacionadas ao componente nematoide (NNS, NNR, NOR e SNOR) apresentaram alta dependência espacial com valores de 9%, 22%, 17% e 14% de aleatoriedade das amostras. Com relação a produtividade da soja o valor de 42% indica uma moderada dependência espacial (Cambardella et al. 1994).

Com base nas semivariâncias experimentais, ajustou-se o modelo exponencial para todas as variáveis estudadas, com presença de anisotropia, isto é, os semivariogramas não foram iguais em todas as direções, com alcances maiores na direção de 135° (Tabela 2). Os maiores alcances nessa direção devem-se, principalmente, às operações de preparo do solo e plantio, e a presença das plantas e suas raízes no final do ciclo, nesta direção.

*Pratylenchus* possuem a capacidade de se movimentarem próximo da rizosfera da planta que colonizam, porém em muitas operações agrícolas, especialmente aquelas que envolvem trânsito de máquinas e veículos, há a dispersão mais acentuada dos referidos nematoides no campo (Goulart 2008).

Tabela 2 – Parâmetros dos semivariogramas anisotrópicos experimentais obtidos para as variáveis analisadas em área de soja infestada com o *Pratylenchus brachyurus*.

Parâmetros do semivariograma	NES	NER	NO	SNRO	PROD
Modelo	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial	Exponencial
C <sub>0</sub>	60286	162764014	16862275	178889423	301114
C <sub>1</sub>	620384	565886328	80649857	1,076E+09	412764
a <sub>max</sub>	99	104	47	81	56
Fa	0,34	0,45	0,68	0,66	0,42
θ	135°	135°	135°	135°	135°
C <sub>0</sub> /(C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub> )	9	22	17	14	42
R <sup>2</sup>	56	52	70	68	21
SQR	1,04E+12	9,89E+17	3,07E+16	1,90E+18	9,07E-11
VC	135+0,778x	762+0,98x	2660 + 0,778x	339 + 0,999x	-186 + 1,067x
(n)	(16)	(45)	(30)	(30)	(64)

NNS - Número de Nematoides no Solo, NNR - Número de Nematoides nas Raízes, NOR - Número de Ovos nas Raízes; SNOR - Soma do Número de Nematoides e Ovos nas Raízes e Produtividade da Soja PROD; C<sub>0</sub> = efeito pepita; C<sub>0</sub> + C<sub>1</sub> = patamar; a<sub>max</sub> = alcance de maior continuidade (m); fa = fator de anisotropia; θ = ângulo de maior continuidade; C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub> + C<sub>1</sub>) = grau de aleatoriedade espacial (%); R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação do ajuste (%); SQR = soma dos quadrados dos resíduos; 9 - Parâmetros da validação cruzada; (n) Número máximo de vizinhos usados para a interpolação.

O modelo exponencial foi ajustado para as variáveis relacionadas ao NNS, NNR, NOR e SNOR. A distribuição espacial de *Pratylenchus zae* na cultura do milho foi avaliada por Wilcken et al. (2013) os quais encontraram alta dependência espacial do nematoide no solo, cujo variograma mostrou um alcance de 18,3 m, ajustando-se ao modelo exponencial.

Em muitos conjuntos de dados os valores são mais contínuos em determinadas direções, como é o caso da distribuição dos nematoides no campo (Clark 1979). Mediante a escolha do padrão de continuidade espacial identificou a direção 135°, como a direção de maior continuidade. Ao serem ajustados os semivariogramas anisotrópicos nesta direção, faz-se com que os pontos que estejam nesta direção recebam um peso maior no procedimento de krigagem, por ficarem na direção da máxima continuidade (Goovaerts 1997).

Os valores do alcance máximo (a<sub>max</sub>) indicam a maior continuidade do NNS, NNR, NOR, SNOR e PROD. Assim, multiplicando-se o a<sub>max</sub> pelo fator de anisotropia (fa) encontra-se o valor do alcance na menor continuidade. Os parâmetros que apresentaram uma anisotropia mais forte foram NNS e NNR, com fa de 0,34 e 0,45

respectivamente, indicando que para cada metro na direção de 135°, percorre-se 0,34 e 0,45 m no ângulo perpendicular à direção da anisotropia.

Chen & Bird (1992) avaliaram a distribuição espacial de *Pratylenchus penetrans* na cultura da batata e observaram presença de anisotropia na direção de 45°, atribuindo esta anisotropia ao preparo do solo.

A textura do solo é um dos principais fatores que influenciam a distribuição de espécies de *Pratylenchus* em solos arenosos ou de textura média (Endo 1959). Estudos realizados por Dantas (2013) na mesma região e com o mesmo tipo de solo, avaliando a relação solo paisagem concluiu que a pedofoma convexa, presente na área de estudo deste trabalho, apresentou maior macroporosidade, menor densidade e resistência do solo à penetração, características que facilitam a migração do *P. brachyurus* no solo (Jordaan et al. 1989).

Avaliando níveis populacionais em cana-de-açúcar, Barbosa et al. (2013) observaram que a partir do nível com 10.000 espécimes por planta, até a alta infestação de 100.000 nematoides planta<sup>-1</sup>, ocorreu acirrada competição entre os espécimes de *P. zaeae* por raízes. Consequentemente, houve morte de maior número de raízes e nematoides inoculados por inanição, resultando na redução da infestação nos primeiros 60 dias.

De acordo com o esquema apresentado na Figura 2 mostra que no momento do plantio, no local onde existe maior população de nematoides no solo, as primeiras raízes emitidas são severamente atacadas por eles, causando morte das plantas no local (Figura 2; A1). Com o passar do tempo, nesse local, a população de *P. brachyurus* decresce, pois faltam raízes (alimento) para serem parasitadas (Figura 2; A2 e A3). No local onde a população no momento do plantio era menor (Figuras 2; B1), as plantas de soja se desenvolveram e a população de *P. brachyurus* também aumentou, devido à existência da maior quantidade de raízes (Figura 2; B2 e B3).

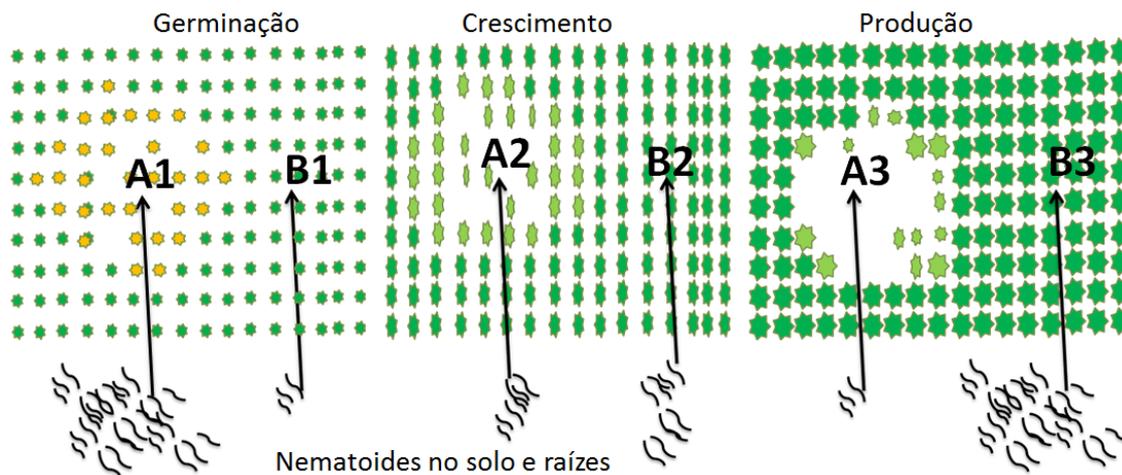


Figura 2 – Esquema da flutuação populacional de *Pratylenchus brachyurus*, com desenvolvimento da cultura no campo. A1, A2 e A3 = população < com o tempo; B1, B2 e B3 = população > com o tempo.

Altas densidades de nematoides podem ser detectadas nas raízes infectadas, logo no início do ciclo da cultura (Figura 2; A1), porém, essas populações podem se tornar extremamente baixas no solo, especialmente na ausência da cultura hospedeira (Figura 2; A3).

Mendes et al. (2012) observaram que as diferenças nas populações de *P. brachyurus* entre os tratamentos diminuíram ao longo do ciclo da soja indicando que o aumento populacional, dos 45 aos 90 dias após a semeadura, que foi maior nos tratamentos com menor população inicial de *P. brachyurus*. Barbosa et al. (2013) detectaram que a primeira resposta das plantas de cana-de-açúcar após a quebra da dominância apical das raízes provocada pelo ataque da praga em baixos níveis de população (10 e 100 espécimes planta<sup>-1</sup>), deu-se mediante emissão de raízes laterais, com reflexo no desenvolvimento inicial da planta. No entanto, com o aumento da infestação, a planta não conseguiu compensar os danos, passando a apresentar retardamento em seu desenvolvimento. Almeida et al. (2011) estudaram o efeito de níveis crescentes de *Meloidogyne enterolobii* (Young & Eisenback) em goiabeira e verificaram que no maior nível inicial utilizado (10.000 ovos e juvenis planta<sup>-1</sup>) houve competição entre os espécimes, reduzindo-se a população dos nematoides no solo e raízes.

A produtividade da soja na área experimental (Tabela 1) variou de 398 a 3.950, com valor médio de 2.429 kg ha<sup>-1</sup>, mostrando uma grande flutuação populacional dos nematoides dentro da área em estudo durante o ciclo da cultura. Houve correlação linear significativa entre a produtividade e a população de nematoides no final do ciclo da cultura (Figura 3), indicando uma maior multiplicação nos locais com melhor desenvolvimento das raízes.

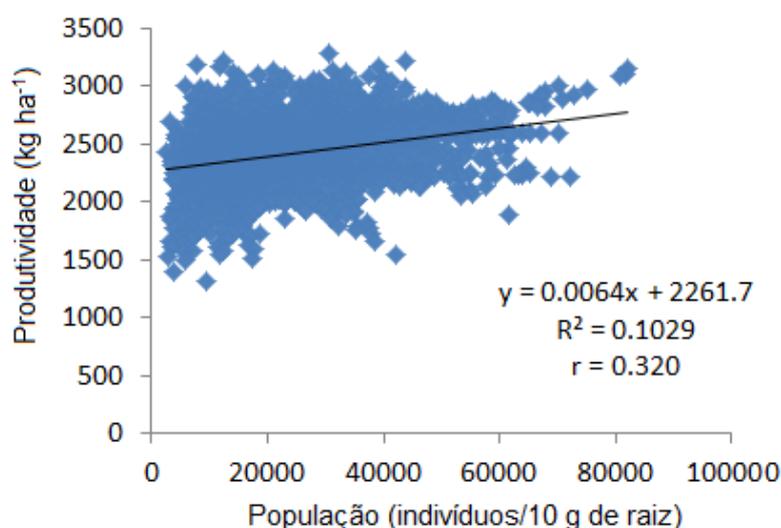


Figura 3 - Correlação linear entre os valores krigados da população de nematoides e a produtividade da soja.

Resultados semelhantes foram encontrados por Mendes et al. (2012), os quais avaliaram diferentes tipos de manejo na entressafra da soja e observaram aumento de 300% na população de *P. brachyurus* dos 45 aos 90 dias. As diferenças nas populações nos tratamentos diminuíram ao longo do ciclo da cultura, indicando que o aumento da população de nematoides, dos 45 aos 90 dias, foi maior nos tratamentos com menor população inicial de *P. brachyurus*.

A produtividade média da soja do norte/nordeste na safra 2012/2013, segundo a CONAB (2013) foi de 3.200 kg ha<sup>-1</sup>; na área em estudo a produtividade média foi 2.429 kg ha<sup>-1</sup>. Comparando as duas médias, houve uma perda de 24%, aproximadamente. Na cultura da soja, foram demonstradas perdas de até 30% na produção em condições experimentais de campo nos Estados Unidos (Schmitt & Barker 1981).

O mapa da krigagem indicadora (Figura 4) mostra uma área de 3,05 ha com uma probabilidade de 80% de apresentarem valores acima de 82 nematoides  $\text{g raiz}^{-1}$  nível no qual, segundo Antonio et al. (2012), as perdas de produtividade são de 1 saca de soja  $\text{ha}^{-1}$ .

No Brasil, Antônio et al. (2012) constataram no estágio R3 da soja, que a cada 82 indivíduos/g de raiz ocorre uma redução de 1 saca/ha, sendo uma perda média estimada em 21% na produtividade da soja para essa população de *P. brachyurus*. Ferraz (1995) observou reduções significativas de crescimento de plantas de soja em condições de casa de vegetação. Os efeitos de *Pratylenchus* spp. sobre o crescimento e, conseqüentemente, sobre a produção vegetal, são resultantes de desordem e mal funcionamento dos processos de crescimento de raízes e exploração do solo para obtenção de água e nutrientes (Loof 1991; Haegeman et al. 2012).

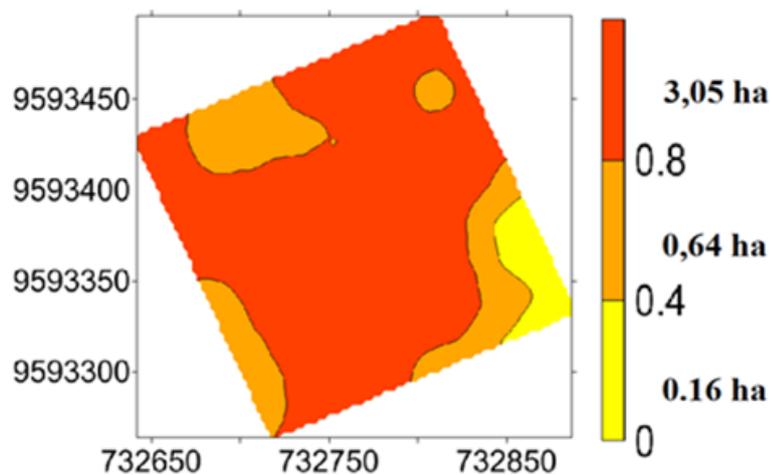


Figura 4 – Mapa de probabilidade da krigagem indicadora, com valor de corte de 82 nematoides  $\text{g}^{-1}$  de raiz em área infestada com *Pratylenchus brachyurus*.

O mapa obtido para representar a distribuição espacial de *P. brachyurus* no solo no estágio R7 da soja (Figura 5; A) mostrou a presença de um agrupamento principal, com população acima 3.200 nematoides em  $100 \text{ cm}^{-3}$  de solo, localizado mais ao norte, acompanhando as linhas de plantio, e onde ainda se encontrava a maior parte das plantas que conseguiram terminar o ciclo. Isto se deve ao fato desse

local apresentar menor população no momento do plantio, possibilitando aos nematoides multiplicarem-se, nessas raízes.

Os mapas da Figura 5, mostraram que a área possui alto nível de infestação com vários focos do nematoide (NNR), com mais de 60.000 nematoides 10 g raiz<sup>-1</sup>. É possível verificar uma elevada população deste nematoide distribuída em uma maior extensão da área, o que não é detectado com os mapas de NNS (Figura 5 A e B). As amostras de raízes, são a forma mais eficiente na detecção desse nematoide, fato também observado por Wilcker et al. (2013). Castillo & Vovlas (2007) observaram que sob cultivo de milho a população de *P. brachyurus* no solo exibiu flutuação populacional com declínio durante o período de crescimento da cultura, provavelmente causado pela migração dos nematoides do solo para as raízes.

Os parâmetros ajustados dos semivariogramas foram utilizados para a krigagem dos dados e elaboração dos mapas. O mapa de krigagem mostra maior número de ovos no local onde as plantas se desenvolveram melhor e onde a população no momento do plantio era menor (Figura 5; C).

Analisando-se o mapa de krigagem da produtividade (PROD) (Figura 5; E) e comparando com os outros mapas, percebe-se que as maiores produtividades ocorreram justamente nos locais com maior população de *P. brachyurus* no solo e nas raízes, indicando que este local apresentava população menor no momento do plantio.

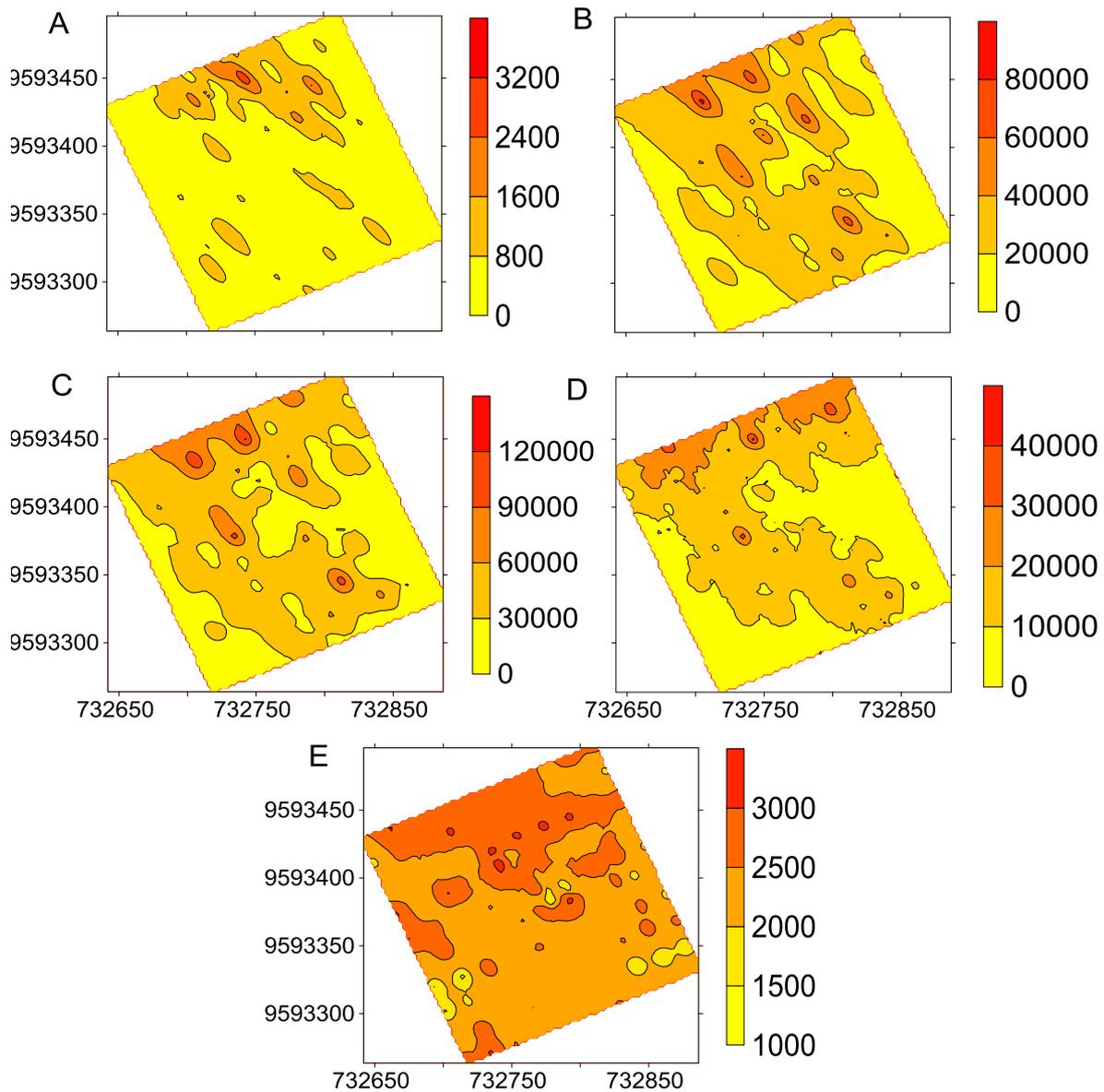


Figura 5 – Mapas da distribuição espacial da população de *Pratylenchus brachyurus* em cultivo de soja e produtividade da cultura: A – Número de Nematoides no Solo ( $100\text{ cm}^{-3}$ ); B – Número de Nematoides na Raiz ( $10\text{ g}^{-1}$  raízes); C – Número de Ovos na Raiz ( $10\text{ g}^{-1}$  raízes); D – Soma do Número de Nematoides na Raiz e Ovos ( $10\text{ g}^{-1}$  raízes); E – Produtividade de Soja em ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

## 2.4 Conclusões

- O aumento da população de nematoides está relacionado com a presença de raízes da planta hospedeira no solo.
- Na escala de estudo as variáveis Número de Nematoides no Solo, Número de Nematoides na Raiz, Número de Ovos na Raiz e Soma do Número de Nematoides e Ovos nas Raízes e apresentaram forte dependência espacial.
- A direção do preparo do solo e plantio da cultura influenciaram na distribuição espacial dos nematoides na área.

## 2.5 Referências

ALMEIDA, E. J. de; ALVES, G. C. S.; SANTOS, J. M.; RUAS, A. R. Patogenicidade de *Meloidogyne mayaguensis* em goiabeira 'Paluma' em condições de microparcelas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 774-783, 2011.

ANTONIO, S. F.; MENDES, F. L.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, 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. CD-ROM.

BARBOSA, B. F. F.; SANTOS, J. M.; BARBOSA, J. C.; SOARES, P. L. M. Aggressiveness of *Pratylenchus brachyurus* to the sugarcane, compared with key nematode *P. zaei*. **Nematropica**, Auburn, v. 43, n. 1, p. 119-130, 2013.

BARBOSA, B. F. F.; SANTOS, J. M. Study of the hostpathogen relationships of *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood, *M. javanica* (Treub) Chitwood and *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey) Filipjev & Schuurmans Stekhoven in sugar cane. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 33, n. 4, p. 304-305, 2009.

BETTINI, C. Conceitos básicos de geoestatística. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. (Ed.). **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília: Embrapa, 2007. Cap. 4, p. 193-234.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographical systems**. New York: Oxford University Press, 2006. p. 333.

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, 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.

CASTILLO, P.; VOVLAS, N. ***Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): diagnosis, biology, pathogenicity and management**. Leiden: Brill, 2007. 529 p. (Nematology Monographs and Perspectives, 6).

CHEN, J.; BIRD, G. W. Geostatistical studies of a geo-referenced *Pratylenchus penetrans* - *Solanum tuberosum* continuum. **Journal of Nematology**, Marceline, v. 24, n. 4, p. 586, 1992. Abstract.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. Essex: Applied Science Publishers, 1979.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). Acompanhamento de safra brasileira: grãos, safra 2013/2014, terceiro levantamento. Brasília, 2013. v. 1, n. 3, p. 58. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/upl ads/arquivos/13\\_12\\_10\\_16\\_06\\_56\\_boletim\\_portugues\\_dezembro\\_2013.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/upl ads/arquivos/13_12_10_16_06_56_boletim_portugues_dezembro_2013.pdf)>. Acesso em: 12 out. 2013.

COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. **A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue**. Ghent: State Agricultural Research Center, 1972. 77 p.

DANTAS, J. S. **Relação solo-paisagem e erodibilidade de solos no leste do estado do Maranhão**. 2013. 84 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

DIAS, W. P.; ASMUS, G. L.; SILVA, J. F. V.; GARCIA, A.; CARNEIRO, G. E. S. Nematóides. In: ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S. (Ed.). **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações como manejo do solo e da cultura**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. p. 173-206.

ENDO, B. Y. Responses of root-lesion nematodes, *Pratylenchus brachyurus* and *P. zaeae*, to various plants and soil types. **Phytopathology**, St. Paul, v. 49, p. 417-421, 1959.

FERRAZ, L. C. C. B. Patogenicidade de *Pratylenchus brachyurus* a três cultivares de soja. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 19, p. 1-8, 1995.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. **GS+ Geostatistics for the Environmental Sciences**. Versão 9.0. Plainwell, MI, 2008.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for Windows: surface mapping system**. Versão 11. Golden, 2012.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University Press, 483 p, 1997.

GOULART, A. M. C. **Aspectos gerais sobre nematóides-das-lesões-radiculares (gênero *Pratylenchus*)**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 27 p.

GOULART, A. M. C.; FERRAZ, L. C. C. B. Comunidades de nematóides em Cerrado com vegetação original preservada ou substituída por culturas. 1. Diversidade trófica. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 27, n. 2, p. 123-128, 2003.

GOULART, A. M. C.; FERRAZ, L. C. C. B. Comunidades de nematóides em Cerrado com vegetação original preservada ou substituída por culturas. 2. Diversidade trófica. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 27, n. 2, p. 129-137, 2003.

HAEGEMAN, A.; MANTELIN, S.; JONES, J. T.; GHEYSEN, G. Functional roles effects of plant-parasitic nematodes. **Gene**, Amsterdam, v. 492, n. 1, p. 19-31, 2012.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. Nova York: Oxford University Press, 1989.

JENKINS, W. R. A. A rapid centrifugal – flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, St. Paul, v. 48, p. 692, 1964.

JORDAAN, E. M.; DE WAELE, D.; Van ROOYEN, P. J. Endoparasitic nematodes in maizw roots in the western Transvaal as related to soil texture and rainfall. **Journal of Nematology**, Loudonville, OH, v. 21, n. 3, p. 356-360, 1989.

LOOF, P. A. A. The family Pratylenchidae Thorne, 1949. In: NICKLE, W. R. (Ed.). **Manual of agricultural nematology**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 363-421.

MACHADO, A. C. Z.; MOTTA, L. C. C.; SIQUEIRA, K. M. S.; FERRAZ, L. C. C. B.; INOMOTO, M. M. Host status of green manures for two isolates of *Pratylenchus brachyurus* in Brazil. **Nematology**, Leiden, v. 9, n. 6, p. 799-805, 2007.

MENDES, F. L.; ANTONIO, S. F.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; SILVA, J. F. V. Manejo cultural do nematoide das lesões radiculares durante a entressafra da soja no Mato Grosso. Reação de cultivares de Soja a *Pratylenchus brachyurus*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6., 2012, Cuiabá. **Anais eletrônicos...** Londrina: Embrapa Soja, 2012. CD-ROM.

PINHEIRO, J. B.; POZZA, E. A.; ALEXANDRE POZZA, A. A.; MOREIRA, A. S.; ALVES, M. C.; CAMPOS, V. P. Influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematóide de cisto da soja. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 32, n. 4, p. 270-278, 2008.

RIBEIRO, N. R.; DIAS, W. P.; HOMECHIN, M.; SILVA, J. F. V.; FRANCISCO, A.; LOPES, I. O. N. Reação de algumas espécies vegetais a *Pratylenchus brachyurus*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 27., 2007, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: EA/UFG, 2007. p. 58.

SCHMITT, D. P.; BARKER, K. R. Damage and reproductive potentials of *Pratylenchus brachyurus* and *P. penetrans* on soybean. **Journal of Nematology**, St. Paul, v. 13, n. 3, p. 327- 332, 1981.

SILVA, F. G. **Levantamento de fitonematoides nas culturas de soja e milho**. 2007. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SOUTHEY, J. F. (Ed). **Laboratory methods for work with plant and soil nematodes**. London: Minist. Agric. Fisch. Fd., 1970. 148 p. (Bulletin, 2).

SUMMER, D. R.; MINTON, N. A. Interaction of Fusarium wilt and nematodes in Cobb soybean. **Plant Disease**, St. Paul., v. 71, n. 1, p. 20-23, 1987.

TIHOHOD, D. **Guia prático de identificação de fitonematoides**. Jaboticabal: FCAV/ FAPESP, 1997. 246 p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. (Ed.). **Tópicos em ciências do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54.

WILCKEN, S. R. S.; GABIA, A. A.; SILVA, M. F. A.; JOAZ DORNELES JÚNIOR, J. D.; ZIMBACK, C. R. L. Distribuição horizontal de *Pratylenchus zae* em milho. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 3., 2013, Botucatu. **Anais eletrônicos...** Botucatu: FCA, 2013. CD-ROM.

### **CAPÍTULO 3 – Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e sua relação com *Pratylenchus brachyurus* em soja**

**Resumo** – O nematoide das lesões radiculares *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey) tem causado danos econômicos em várias culturas, em especial à soja. Como endoparasitas migradores, esses nematoides destroem os tecidos das raízes. Este trabalho objetivou verificar a distribuição espacial desse nematoide em área de cultivo de soja e sua relação com a variabilidade de atributos químicos do solo. A pesquisa foi desenvolvida mediante amostragem de 142 pontos georreferenciados, distribuídos em uma área de 180x180 m. As amostras de solo e de raiz foram coletadas na profundidade de 0 a 0,20 m e os nematoides extraídos foram contados com auxílio de lâmina de Peters, sob microscópio fotônico. Os resultados foram analisados por meio do ajuste de semivariogramas isotrópicos e mapas de krigagem. Os semivariogramas do NNR, P, S, Ca, Mg, SB, CTC e V% ajustaram-se ao modelo esférico e para o pH e MO, o melhor modelo foi o exponencial. O número maior de nematoides nas raízes em zonas com menores teores de Mg e Ca no solo pode estar associado aos menores valores de pH. Locais com baixo potencial de fertilidade, especialmente em relação aos nutrientes P, K e Ca, as plantas de soja podem se tornarem naturalmente mais susceptíveis ao ataque de nematoides. A variabilidade dos atributos S, Ca, Mg, K, SB, V% e CTC estão alinhadas ao sentido de escoamento da água no ambiente, indicando influência da topografia no padrão de distribuição espacial dessas variáveis, mesmo em região com pouca variação do relevo.

**Palavras-chave:** geoestatística, krigagem, *Pratylenchus brachyurus*

## **Spatial variability of soil chemical properties and its relation to *Pratylenchus brachyurus* in soybean**

**Abstract** – The nematode *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey) of root lesions has caused economic damage in many crops, especially soybeans. As migratory endoparasites, these nematodes destroy the tissues of roots. This study aimed to determine the spatial distribution of this nematode in soybean cultivation area and its relation to the variability of soil attributes. The research was conducted by sampling 142 georeferenced points, spread over an area of 180×180 m. The soil and root were collected at a depth from 0 to 0.20 m extracted nematodes were counted with the aid of slide Peters under photonic microscope. The results were analyzed by fitting the isotropic semivariograms and kriging maps. The semivariogram of the NNR, P, S, Ca, Mg, SB, CEC and V% set the spherical model and the pH and SOM, the best model was exponential. The greatest number of nematodes in the roots in areas with lower levels of Mg and Ca in the soil may be associated with lower pH values. Sites with low fertility potential, especially in relation to the nutrients P, K and Ca soybean plants, may become naturally more susceptible to attack by nematodes. The variability of S, Ca, Mg, K, SB, V% and CTC attributes are aligned to the direction of flow of water in the environment, indicating the influence of topography on spatial distribution of these variables, even in regions with little variation in relief.

**Keywords:** geostatistics, kriging, *Pratylenchus brachyurus*

### 3.1 Introdução

O estado do Maranhão possui, atualmente, cerca de 660 mil ha com soja e, embora não seja o estado brasileiro com maior área plantada, destaca-se por apresentar a maior taxa de crescimento anual (13%) de áreas de plantio desta cultura (CONAB 2013). Paralelamente à expansão sojícola tem ocorrido o surgimento de pragas, sendo que na região Sul do estado, Rodacki et al. (2006) identificaram a presença de *Pratylenchus brachyurus* em áreas de cultivo. Em adição, na região Leste do estado, os cultivos começam a apresentar sintomas de parasitismo de nematoides perdas significativas de produtividade.

O manejo do *P. brachyurus*, assim como o de outras espécies de fitonematoides, é particularmente difícil, principalmente por terem dimensões microscópicas e por habitarem a rizosfera. Assim, o produtor desconhece quais áreas da propriedade estão infestadas ou isentas desses organismos (Santos Júnior 2002). Além da difícil visualização destes patógenos, os solos dos cerrados apresentam baixa fertilidade natural, agravado às vezes com desequilíbrios nutricionais geralmente causados por formulações inadequadas de adubo e, principalmente, por calagem excessiva na superfície.

Embora os fertilizantes sejam largamente utilizados na agricultura, a ação destes insumos na redução do estresse causado por *P. brachyurus* e por outros patógenos recebe pouca atenção. Como o estado nutricional da planta de soja influi também no número de nematoides que dela se alimenta, o monitoramento da população de nematoides e da fertilidade do solo é de fundamental importância para orientar as práticas de manejo e as técnicas de recuperação de áreas infestadas (Yorinori 1994).

Rotação e sucessão com culturas não hospedeiras são os métodos mais promissores de manejo (Mendes et al. 2012), existindo poucas opções de culturas para essa finalidade, uma vez que espécies de *Pratylenchus* possuem ampla gama de hospedeiros (Castillo & Vovlas 2007; Goulart 2008). Ao longo do tempo, o patógeno tem sido beneficiado também por mudanças no sistema de produção, com destaque para a implantação do plantio direto (Mendes et al. 2012) e incorporação

de áreas de pastagem degradadas (Ribeiro et al. 2007).

Como endoparasitas migradores, os nematoides das lesões radiculares destroem tecidos das raízes, causando rompimento superficial e destruição interna, predispondo-os às infecções secundárias de fungos e bactérias (Back et al. 2002; Castillo & Vovlas 2007). Os sintomas não são específicos e podem facilmente passar despercebidos ou serem confundidos com sintomas causados por outros patógenos, deficiências nutricionais ou estresse hídrico (Sumer & Minton 1987; Riedel et al. 2002).

Os nematoides fitoparasitas de um modo geral apresentam-se distribuídos horizontalmente na superfície do solo de maneira agregada, causando sintomas que se apresentam em áreas delimitadas, conhecidas popularmente como reboleiras, quando em altas populações (Barker 1985). Portanto, para se obter informações sobre o comportamento desses organismos, são requeridos processos adequados de amostragem, determinação e análise dos dados. Os métodos estatísticos normalmente utilizados geralmente não são apropriados para descrever dados correlacionados espacialmente (Clark 1979).

Desse modo, a geoestatística, uma ferramenta adequada para a análise de dados que estão correlacionados espacialmente (Pinheiro et al. 2008), apresenta-se como alternativa. Por meio da geoestatística, é possível caracterizar a estrutura da dependência espacial entre os parâmetros que definem a distribuição espacial dos nematoides no solo. Uma vez detectada a dependência espacial entre as observações, o processo de krigagem permite estimar valores em locais não amostrados. Assim, o mapeamento possibilita a visualização espacial dos nematoides na área de interesse (Antonio et al. 2012; Wilcken et al. 2013), o que constitui aspecto de inquestionável importância como ferramenta de apoio às decisões para o manejo de populações desses patógenos (Clark 1979; Farias 1999).

Diante do exposto objetivou-se avaliar a distribuição espacial de *Pratylenchus brachyurus* em área de cultivo de soja em relação aos atributos químicos do solo.

### 3.2 Material e Métodos

O Trabalho foi desenvolvido na Fazenda Condor, situada no município de Brejo, região leste do estado do Maranhão (Figura 1), com coordenadas geográficas centrais de 42°46'7.68" O e 3°40'52.15" S. O clima, segundo a classificação de Thornthwaite (1948), é do tipo subúmido, com grande deficiência hídrica no verão (C<sub>2</sub>S<sub>2</sub>A'a'), com temperatura média anual superior a 27°C e precipitação pluviométrica média anual de 1.835 mm. As chuvas encontram-se distribuídas entre os meses de janeiro e junho e o período de seca de julho a dezembro a umidade relativa do ar anual fica entre 73% e 79% (Governo do Estado do Maranhão 2002). A área de estudo possui relevo suave, com altitudes variando entre 113 a 127 m.

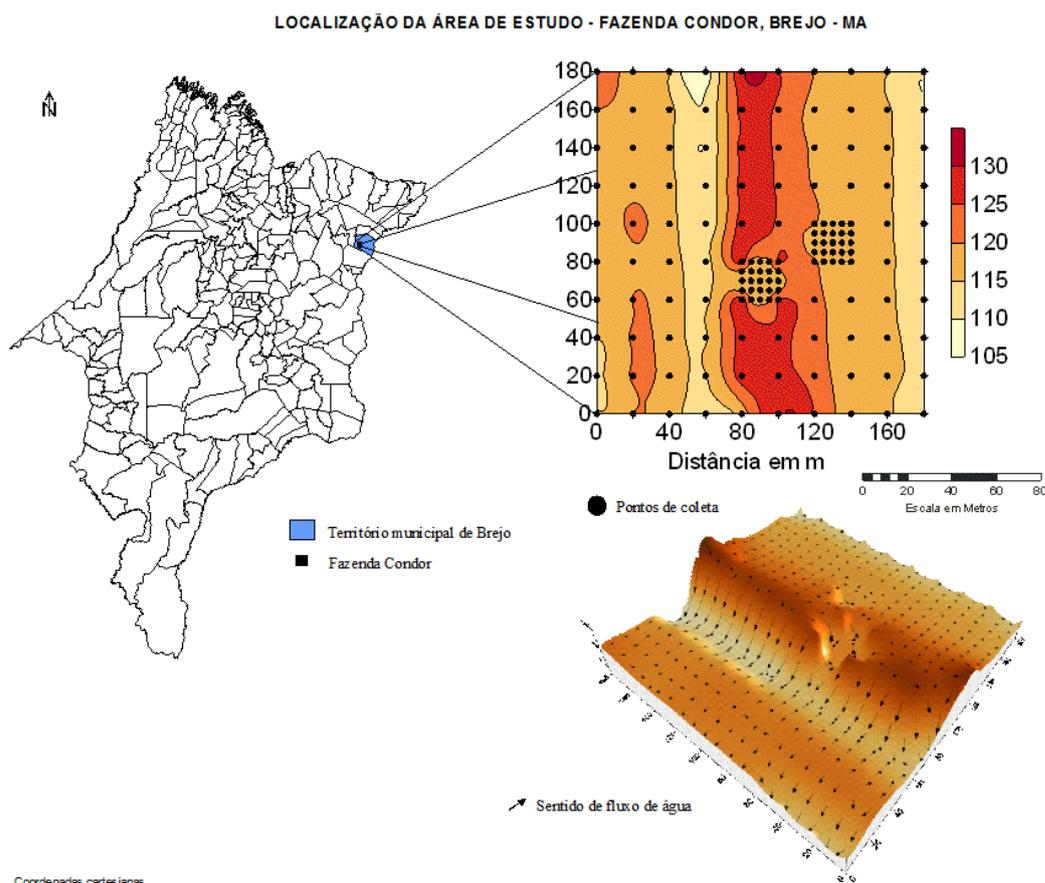


Figura 1 – Representação geográfica da área de estudo, com pontos de coleta e altimetria em Brejo, MA, 2013.

O solo no local foi caracterizado como Argissolo Amarelo distrocoeso típico, textura arenosa (Dantas 2013), apresentando sequência de horizontes  $A_p$ -AB-BA- $B_{t2}$  e  $B_{t3}$ , com profundidades superiores a 1,40 m. A granulometria da camada superficial é de 350, 450, 40 e 160 g  $kg^{-1}$  de areia fina, areia grossa, silte e argila, respectivamente.

A área foi selecionada em função da presença de *P. brachyurus*, confirmada pelas extensas reboleiras de plantas com nanismo e também pela observação de raízes de soja com presença de lesões, características do ataque do nematoide. A metodologia de coleta adotada, não se efetuou qualquer modificação nos trabalhos normais do produtor quanto ao preparo e a adubação do solo, plantio, tratamentos fitossanitários e colheita.

Em 1º de maio de 2013, quando a soja (cultivar BRS Tracajá) se encontrava no estágio R7.3, foram marcados e georreferenciados com receptor de GPS 142 pontos espaçados de 20 em 20 m em uma área de 180×180 m, totalizando 3,2 ha. Nesta mesma área foram selecionados aleatoriamente dois quadrantes de 20×20 m nos quais foram feitos adensamentos de 5×5 m (Figura 1) nos pontos de coleta, com a finalidade de captar melhor a estrutura de dependência espacial em área menor, e captando melhor a subida do variograma. Em cada ponto foram coletadas amostras de plantas e solo. A amostragem foi composta por seis plantas com suas respectivas raízes, juntamente com solo, tomadas ao redor do ponto georreferenciado, para quantificação dos nematoides. No mesmo dia, foram colhidas vagens das plantas de 1 m<sup>2</sup> delimitado sobre cada ponto da malha para determinação da produtividade da soja.

Nas análises químicas do solo foram determinados os teores de cálcio ( $Ca^{2+}$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ), potássio ( $K^+$ ), e de fósforo ( $P_{disponível}$ ), sendo extraídos através do método da resina trocadora de íons. A acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) e a acidez potencial ( $H + Al$ ) foram obtidas seguindo a metodologia de Raij et al. (2001). Foram determinados os teores de carbono orgânico por oxidação, segundo a Embrapa (1997), e o de matéria orgânica, multiplicando-se o teor de carbono orgânico pelo fator 1.724. O pH foi determinado utilizando-se da relação 1:2,5 de solo: em água e em KCl (Embrapa 1997). Com base nos resultados das análises químicas foram

calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC), a saturação por bases (V%) e a saturação por alumínio (m%).

Cada amostra de solo foi processada pela técnica da flotação centrífuga em solução de sacarose, conforme descrito por Jenkins (1964). Uma alíquota de 100 cm<sup>3</sup> de solo foi colocada em um recipiente contendo 2 L de água. Os torrões foram desmanchados e a suspensão, após a homogeneização, permaneceu em repouso por 15 segundos. Após esse período, a suspensão foi vertida em peneiras sobrepostas de 0,85 e 0,025 mm. A suspensão de nematoides da peneira de 0,0025 mm foi recolhida e distribuída em tubos de centrífuga. As amostras foram centrifugadas à rotação de 1750 rpm durante 5 min. Após a centrifugação, o sobrenadante foi descartado e adicionou-se ao material uma solução de sacarose (454 g de açúcar L<sup>-1</sup> de água). Os tubos foram centrifugados novamente na mesma rotação, durante 60 segundos. O sobrenadante foi vertido na peneira de 0,025 mm. Os nematoides retidos nessa peneira foram recolhidos com auxílio de jatos de água de uma pisseta para tubos de plástico do tipo falcon de 20 mL e mantidos em refrigerador, em torno de 4 °C.

A extração dos nematoides e ovos presentes nas raízes de soja foi realizada pelo método de Coolen & D'Herde (1972). As raízes foram lavadas em água corrente e cortadas em pequenos pedaços. Foram recuperadas 10 g de raízes de cada amostra e em seguida foram trituradas em 250 mL de água em um liquidificador por 25 segundos. Posteriormente, o material foi vertido, passando-se por duas peneiras sobrepostas de 0,85 e 0,025 mm. A suspensão de nematoides da peneira de 0,025 mm foi recolhida e distribuída em tubos de centrífuga, onde foi adicionado à suspensão 2 g de caulim. Após esta etapa, foram seguidos igualmente todos os outros procedimentos feitos para extração de nematoides nas amostras de solo.

O número de nematoides no solo e nas raízes foi estimado com auxílio da câmara de contagem de Peters (Southey 1970) ao microscópio fotônico.

Inicialmente, a variabilidade da população de nematoides e produtividade da soja foram avaliadas por meio da estatística descritiva, calculando-se média, mediana, variância e coeficientes de variação, assimetria e curtose. A dependência espacial foi analisada por meio de técnicas geoestatística, com estimativas de semivariogramas experimentais e ajustes de modelos permissíveis. Sob a

pressuposição da hipótese intrínseca, o semivariograma foi estimado pela Equação 1, proposta por Burrough & McDonnell (2006):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \text{ em que,} \quad (1)$$

$N(h)$  o número de pares experimentais de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i+h)$  separados por uma distância  $h$ . O semivariograma é representado pelo gráfico de  $\hat{\gamma}(h)$  versus  $h$ .

A partir do ajuste de um modelo matemático aos valores de  $\hat{\gamma}(h)$ , foram estimados os parâmetros do modelo teórico do semivariograma (o efeito pepita,  $C_0$ ; patamar,  $C_0 + C_1$ ; e o alcance,  $a$ ). A razão entre o efeito pepita e o patamar ( $C_0 / (C_0 + C_1)$ ), expressa em porcentagem, foi utilizada para avaliar a dependência espacial das variáveis estudadas, classificada por Cambardella et al. (1994) como: forte ( $(C_0 / (C_0 + C_1)) \leq 0,25$ ), moderada ( $0,25 < (C_0 / (C_0 + C_1)) < 0,75$ ) ou fraca ( $(C_0 / (C_0 + C_1)) \geq 0,75$ ). Variogramas anisotrópicos foram considerados neste estudo, com a seleção de direções dos vetores  $h$  associada aos pares  $Z(x_i) - Z(x_i+h)$ . A escolha do melhor ajuste ao semivariograma experimental baseou-se na menor soma do quadrado do resíduo (SQR), maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e na validação cruzada (Vieira 2000).

O processo de validação cruzada consiste na remoção de cada observação pertencente ao conjunto de dados, com subsequente estimativa do seu valor por meio do método de interpolação da krigagem ordinária (KO). O modelo escolhido foi aquele que melhor estimou os valores observados, ou seja, aquele que produziu uma equação de regressão linear entre os valores observados, em função dos valores estimados, o mais próximo da bissetriz (intercepto e coeficiente angular próximos a 0 e 1, respectivamente) (Isaaks & Srivastava 1989).

A estimativa da krigagem no ponto  $x_0$  não amostrado é dada pela Equação 2.

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \text{ onde,} \quad (2)$$

$\hat{z}(x_0)$  - a estimativa de krigagem no ponto  $x_0$ ,  $z(x_i)$  os valores vizinhos nos locais  $x_i, i = 1, 2, \dots, n$  e  $\lambda_i$  os pesos das observações associados aos valores vizinhos. Estes são calculados com base no semivariograma ajustado.

A partir de uma matriz das variáveis: Produtividade (PROD) ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), pH, Matéria Orgânica (MO), Fósforo (P) ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), Enxofre (S), Potássio (K) ( $\text{mmolc dm}^{-3}$ ), Cálcio (Ca) ( $\text{mmolc dm}^{-3}$ ), Magnésio ( $\text{mmolc dm}^{-3}$ ), V% (%), Capacidade de troca catiônica (CTC) ( $\text{mmolc dm}^{-3}$ ) foram estabelecidos dois índices denominados componentes principais (Hair et al. 2005), a partir dos quais foram extraídos os autovalores superiores a um conforme Kaiser, 1958. O poder discriminatório das variáveis nos componentes principais foi medido pela correlação entre cada variável e um componente principal pela fórmula:

$$r_{xj}(cp_h) = \frac{a_{jh} \sqrt{\lambda_h}}{S_j}, \text{ sendo:}$$

$S_j$  = desvio padrão da variável  $j$ ;  $a_{jh}$  = coeficiente da variável  $j$  no  $h$ -ésimo componente principal;  $\lambda_h$  =  $h$ -ésima raiz característica (autovalor) da matriz de covariância.

Após a extração dos componentes foram avaliados a sua distribuição espacial junto com as variáveis químicas, para verificar possíveis relações (componentes principais x variáveis).

A análise variográfica foi realizada no Software GS+ 9.0 (Gamma Design Software 2008). Para a construção dos mapas espaciais foi utilizado o software Surfer versão 11 (Golden Software Inc 2012).

### 3.3 Resultados e Discussão

A população de *P. brachyurus* nas raízes da soja encontrava-se num nível elevado uma média elevada (23.121 nematoides por 10 g raiz<sup>1</sup>) (Tabela 1), demonstrando que a área possui alto nível de infestação (Mendes et al. 2012; Wilcken et al. 2013; Carvalho et al. 2013). O número de espécimes de *Pratylenchus* spp. na cultura hospedeira em fase de desenvolvimento no campo geralmente é maior nas raízes (Barbosa et al. 2013), o que está relacionado ao hábito endoparasita migrador desses nematoides, ou seja, quando as raízes morrem, os nematoides que as parasitavam migram para a raiz sadia mais próxima (Stirling 1991; Carvalho et al. 2013; Barbosa et al. 2013).

Neste trabalho apenas algumas variáveis que apresentaram maior relevância com relação à população de nematoides e aos atributos químicos foram abordadas para discussão (Tabela 1).

Tabela 1 – Estatística descritiva da população de *Pratylenchus brachyurus*, produtividade de soja e atributos do solo em Brejo – MA, 2013.

Atributos	Média	Mediana	DP	CV	Min	Max	ASS	CURT
PROD kg ha <sup>-1</sup>	2399,0	2433,70	793,9	33,1	398,3	3950,50	-0,3	-0,3
NNR 10 g raiz <sup>-1</sup>	23121,0	15840,0	23773	102,8	0,0	111680	1,4	1,7
NNS 10 g raiz <sup>-1</sup>	499,0	360,0	511,8	102,5	0,0	2560	1,9	4,5
NOR 10 g raiz <sup>-1</sup>	11892,0	9040,0	11377	95,6	0,0	57120	1,6	2,9
SNRO 10 g raiz <sup>-1</sup>	33449,0	23960,0	32003	95,6	0,0	145440	1,3	1,7
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5,4	5,4	0,3	6,4	4,6	6,3	-0,2	-0,1
MO g dm <sup>-3</sup>	17,0	17,0	3,2	18,5	12,0	28,0	0,7	0,7
P mg dm <sup>-3</sup>	21,5	20,0	9,2	42,6	9,0	58,0	1,5	2,5
S mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	10,1	9,0	4,4	43,8	3,0	21,0	0,5	-0,5
Ca mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	29,0	27,0	11,5	39,7	9,0	85,0	1,4	4,0
Mg mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	11,3	11,0	3,6	32,2	4,0	20,0	0,1	-0,4
K mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,3	1,2	0,4	34,1	0,5	2,4	0,7	-0,2
Al mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,5	1,0	0,5	69,6	0,0	1,0	0,1	1,5
SB mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	41,6	40,0	14,6	35,0	14,7	107,0	1,0	2,6
CTC mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	63,7	62,1	12,2	19,2	38,0	122,0	1,1	3,1
V% %	63,6	66,0	11,8	18,6	30,0	90,0	-0,5	0,1
m% %	2,0	2,0	1,6	83,8	0,0	9,0	0,9	1,8

DP: desvio padrão; CV: Coeficiente de variação; ASS: Assimetria; CURT: Curtose; NNR: Número de Nematoides na Raiz; PROD: Produtividade da Soja; SB: Soma de Bases; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; V%: Saturação por Bases; m% : Saturação por Alumínio.

O coeficiente de variação (CV%) oscilou entre de 6,46 (pH) a 102,82% (NNR) (Tabela 1). De acordo com a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), o valor de CV para pH foi classificado como baixo (CV < 12%). Por sua vez, valores

altos ( $CV > 60\%$ ) foram encontrados para as variáveis NNR e m%. As demais variáveis apresentaram valores de CV classificados como médios ( $12\% < CV < 60\%$ ). Valores elevados de CV podem ser considerados como os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados (Frogbrook et al. 2002). Segundo Silva & Chaves (2001), as variações dos atributos químicos do solo estão relacionadas às alterações provocadas pelas adubações e calagens sucessivas e irregulares.

O baixo CV observado para o pH coincide com os resultados encontrados por Cavalcante et al. (2007), Machado et al. (2007) e Souza et al. (2008). O valor do CV do pH pode ser atribuído ao fato desta variável ser mensurada em uma escala pequena de valores e ser uma função logarítmica (Neves Neto 2013).

Os valores médios dos atributos químicos do solo foram classificados, segundo Embrapa (2011) para a região dos cerrados do Brasil, como elevados para Ca ( $> 2 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$ ) e Mg ( $> 0,8 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$ ); médios para SB ( $40 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3} < SB < 60 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$ ), CTC ( $60 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3} < CTC < 90 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$ ) e V% ( $40\% < V\% < 60\%$ ) e; baixos para MO ( $< 15 \text{ g dm}^{-3}$ ), Al ( $< 3 \text{ mmol}_c\text{dm}^{-3}$ ) e m% ( $< 10\%$ ).

Com exceção das variáveis NNR, P e Ca, os valores da média e mediana, para todas as variáveis, estão próximos entre si, demonstrando distribuições simétricas, o que pode ser confirmado pelos valores de assimetria próximos de zero (Martins et al. 2005).

Os valores de assimetria positiva demonstram haver tendência de concentração dos valores abaixo da média observada, sendo tal tendência tanto mais expressiva quanto maior for o valor obtido. Todas as variáveis relacionadas com nematoides apresentaram um valor de coeficiente de assimetria entre 1 e 2 o que representa algum problema com valores "outliers". As variáveis P e Ca também apresentam valores de assimetria entre 1 e 1,5 o que pode ser atribuído a técnicas de adubação irregular. As variáveis com valores de coeficiente de assimetria negativo podem ser classificados como levemente assimétricos. Com exceção da PROD, pH, S, Mg e K, que apresentaram distribuição de frequência platicúrtica (curtose negativa), os demais parâmetros do solo tiveram distribuição de frequência leptocúrtica, mostrando, assim, que a maioria dos dados dos atributos de solo estão próximos do centro no gráfico de distribuição de frequência (Tabela 1).

Segundo Isaaks & Srivastava (1989), o coeficiente de assimetria (CA) é mais sensível à valores extremos do que à média e o desvio padrão, uma vez que um único valor pode influenciar fortemente o coeficiente de assimetria, pois os desvios entre cada valor e a média são elevados à terceira potência. De acordo com os valores do coeficiente de assimetria, foi observado a prevalência de assimetria concentrada à direita ( $CA > 0$ ), muito comum aos atributos químicos e físicos do solo, corroborando com os dados obtidos por Souza et al. (2008) em área de pastagem em um Argissolo Vermelho-Amarelo e por Zanão Júnior et al. (2007) em um Latossolo Vermelho, sob área de cultivos anuais.

A análise da variabilidade espacial dos dados (Tabela 2) indica que as variáveis MO e S apresentaram alta dependência espacial ( $C_0/(C_0+C_1) \leq 25\%$ ), com valores de 8% de aleatoriedade das amostras, respectivamente. Os demais atributos apresentaram valores com moderada dependência espacial ( $25\% < C_0/(C_0+C_1) \leq 75\%$ ) (Cambardella et al. 1994).

Os atributos Al e m% não apresentaram dependência espacial. O m% expressa o percentual da CTC efetiva ocupado pela acidez trocável ou Al trocável, que na área de estudo apresentou valores baixos, segundo Embrapa (2011). A falta de dependência é um indicativo de que o valor de semivariância é igual ao patamar, para qualquer valor de distância. A ausência total de dependência espacial é chamada efeito pepita puro. O efeito pepita puro indica que a distribuição espacial do atributo na área de estudo é aleatória, ou a menor distância entre os pontos da malha amostral utilizada não foi suficiente para detectar a dependência espacial. No presente estudo, a causa mais provável da aleatoriedade espacial observada para os atributos Al e m%, pode estar associada às práticas de manejo do solo e aplicação irregular de corretivos.

A modelagem da variabilidade espacial encontra-se expressa nos modelos ajustados aos semivariogramas experimentais (Tabela 2).

O modelo exponencial foi ajustado ao pH e MO, o modelo esférico foi ajustado aos atributos P, S, Ca, Mg, SB, CTC e V%, concordando com os resultados de várias pesquisas que indicam o modelo esférico como o de maior ocorrência para os atributos do solo e de plantas (Souza et al. 2004; Grego & Vieira 2005). Franchini et al. (2012) avaliaram os atributos químicos do solo com relação aos danos do

nematoide das lesões radiculares em soja, em que as variáveis MO, Ca e K ajustaram-se ao modelo esférico, P e Al ao modelo exponencial e pH, Mg, S, CTC e V% ao modelo gaussiano.

Tabela 2 – Parâmetros dos semivariogramas experimentais obtidos para as variáveis analisadas em área de soja infestada com nematoides das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) em Brejo-MA.

Variáveis	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>0</sub> /(C <sub>0</sub> + C <sub>1</sub> )	a	SQR	R <sup>2</sup>	VC	n
NNR	Esf.	1885,0	4614	29	32	2,87E+09	48	14044+0,5x	24
PROD	Exp.	287968	728106	28	14	4,84E+10	30	-159 +1,1 x	34
pH	Exp.	0,1	0,1	52	67,8	9,43E-04	76	2,58+0,524x	55
MO	Exp.	0,7	8,9	8	37,5	1,47E+00	93	4,51+0,741x	36
P	Esf.	30,8	66,0	32	14,2	4,96E+03	21	0,34+0,981x	64
S	Esf.	1,5	17,3	8	34,	5,78E+01	82	-0,43+1,036x	5
Ca	Esf.	0,1	0,1	33	73,4	2,22E-03	86	7,48+0,743x	45
Mg	Esf.	3,8	10,4	27	52,5	1,24E+01	91	2,5+0,772x	46
K	Esf.	0,1	0,1	53	26,6	4,37E-03	50	0,36+0.772x	49
Al	EPP	-	-	-	-	-	-	-	-
SB	Esf.	85,8	133,0	39	65,4	4,55E+03	88	11,94+0,711x	28
CTC	Esf.	53,3	103,10	34	57,0	1,20E+03	92	11,53+0,816x	50
V%	Esf.	47,0	101,0	31	73,0	3,08E+03	82	20,35+0,679x	60
m%	EPP	-	-	-	-	-	-	-	-

C<sub>0</sub> = efeito pepita; C<sub>0</sub> + C<sub>1</sub> = patamar; a = alcance (m); C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub> + C<sub>1</sub>) = grau de aleatoriedade espacial (%); R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação do ajuste (%); SQR = soma dos quadrados dos resíduos; VC – parâmetro da validação cruzada; n - Número máximo de vizinhos usados para a interpolação; NNR: Número de Nematoides na Raiz; PROD: Produtividade da Soja; SB: Soma de Bases; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; V%: Saturação por Bases; m%: Saturação por Alumínio.

Os valores do alcance estimados pelos semivariogramas têm uma importância considerável na determinação do limite da dependência espacial, podendo ser também um indicativo do intervalo entre unidades de mapeamento de solos (Grego & Vieira 2005). As variáveis apresentaram diferentes alcances de dependência espacial, sendo que o Ca apresentou o maior alcance (73,45 m) e o P apresentou o menor alcance (14,2 m). As variáveis pH, Mg e SB apresentaram alcances na ordem de 52 m a 67 m. As variáveis MO, P, S e K apresentaram valores baixos para o alcance, evidenciando a baixa continuidade dos atributos químicos do solo sob soja. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Franchini et al. (2012), que estudou os mesmos atributos do solo sob cultivo de soja. Quanto menor o alcance, menor a dependência entre amostras, uma vez que o alcance é a

distância limite da dependência espacial. A variabilidade extrínseca, relativa às práticas de manejo do solo, contribui para a redução do alcance (Corá et al. 2004).

Os valores do alcance do NNR, Mg, Ca, P, CTC, V% e PROD apresentaram valores, entre 27 e 34 m. Estes resultados podem indicar uma relação espacial entre estes atributos, o que pode ser visualizado nos mapas da Figura 2: a), D; f), D; g), D; j), D; l), D; m), D.

Estudando a influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematoide do cisto da soja, Pinheiro et al. (2008) verificaram para a variável número de juvenis de segundo estágio de *Heterodera glycines* (Ichinoe) em 100 cm<sup>-3</sup> de solo, forte estrutura de dependência espacial, de acordo com a relação Co/Co+C, com apenas 14% de aleatoriedade das amostras. As variáveis número de cistos viáveis e cistos não viáveis em 100 cm<sup>-3</sup> de solo e número de ovos por cisto apresentaram moderada dependência espacial com 27%, 47% e 41% de aleatoriedade das amostras, respectivamente, e para os teores de Ca, K e pH do solo, forte dependência espacial, com 0,06%, 3,10% e 0,14% de aleatoriedade. Ainda segundo este autor, o modelo esférico foi ajustado para o teor de K e o modelo gaussiano para os teores de Ca e o pH do solo, com alcances observados de 26,9 m, 28,1 m e 472,9 m, respectivamente.

Mendes et al. (2012) observaram que as diferenças nas populações de *P. brachyurus* entre os tratamentos diminuíram ao longo do ciclo da soja. Encontraram um aumento de 300% no número de nematoides, dos 45 aos 90 dias após a semeadura, sendo maior nos tratamentos com menor população inicial.

Na Tabela 3, a correlação linear simples entre a produtividade da soja, variáveis do nematoide e os atributos do solo é apresentada. Assim, o par NOR versus CTC apresentou correlação baixa e negativa, de elevada significância estatística ( $r = - 0,224$ ;  $p < 0,01$ ). Este resultado, apesar de sua baixa magnitude, evidenciou que o aumento de ovos de *P. brachyurus* nas raízes de soja no final do ciclo da cultura, coincide com a redução da CTC em zonas onde há mais plantas de soja (Figura 2). A CTC foi menor onde havia mais plantas porque a exploração do solo pelo sistema radicular se dá por meio da absorção de cátions básicos pelas plantas (Sandim 2012), tornando os solos mais ácidos e reduzindo a sua CTC.

Tabela 3 – Correlação linear simples entre população de nematoides, produtividade da soja e os atributos do solo em Brejo–MA.

Variáveis	PROD	NNS	NNR	NOR	SNRO
PROD	-	-0.116 <sup>ns</sup>	0.195 <sup>**</sup>	-0.06 <sup>ns</sup>	0.055 <sup>ns</sup>
pH	0.128 <sup>ns</sup>	0.035 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	-0.112 <sup>ns</sup>	0.014 <sup>ns</sup>
MO	0.199 <sup>**</sup>	-0.068 <sup>ns</sup>	-0.008 <sup>ns</sup>	-0.156 <sup>*</sup>	-0.032 <sup>ns</sup>
P	-0.034 <sup>ns</sup>	-0.152 <sup>*</sup>	0.000 <sup>ns</sup>	-0.116 <sup>ns</sup>	-0.024 <sup>ns</sup>
S	-0.075 <sup>ns</sup>	0.009 <sup>ns</sup>	-0.056 <sup>ns</sup>	0.117 <sup>ns</sup>	-0.060 <sup>ns</sup>
Ca	-0.037 <sup>ns</sup>	-0.095 <sup>ns</sup>	-0.080 <sup>ns</sup>	-0.149 <sup>ns</sup>	-0.142 <sup>ns</sup>
Mg	-0.022 <sup>ns</sup>	-0.050 <sup>ns</sup>	0.049 <sup>*</sup>	-0.152 <sup>*</sup>	-0.145 <sup>*</sup>
K	-0.052 <sup>ns</sup>	-0.087 <sup>ns</sup>	-0.088 <sup>ns</sup>	-0.007 <sup>ns</sup>	-0.017 <sup>ns</sup>
Al	-0.006 <sup>ns</sup>	-0.085 <sup>ns</sup>	-0.005 <sup>ns</sup>	0.132 <sup>ns</sup>	0.123 <sup>ns</sup>
SB	-0.036 <sup>ns</sup>	-0.091 <sup>ns</sup>	-0.054 <sup>ns</sup>	-0.156 <sup>*</sup>	-0.149 <sup>ns</sup>
CTC	-0.031 <sup>ns</sup>	-0.143 <sup>ns</sup>	-0.115 <sup>ns</sup>	-0.224 <sup>***</sup>	-0.188 <sup>**</sup>
V%	0.108 <sup>ns</sup>	0.061 <sup>ns</sup>	-0.051 <sup>ns</sup>	-0.156 <sup>*</sup>	-0.108 <sup>ns</sup>
m%	0.062 <sup>ns</sup>	-0.100 <sup>ns</sup>	0.032 <sup>ns</sup>	0.159 <sup>*</sup>	0.160 <sup>*</sup>

PROD: Produtividade da Soja; NNS: Número de Nematoides no Solo; NNR: Número de Nematoides na Raiz; NOR: Número de Ovos na Raiz; SNRO: Soma do Número de Nematoides na Raiz e Ovo; SB: Soma de Bases; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; V%: Saturação por Bases; m%: Saturação por Alumínio; (\*) significativo 0,10; (\*\*) significativo 0,05; (\*\*\*) significativo 0,01; (ns) não significativo.

Com relação à PROD e NNR, houve uma fraca correlação significativa positiva ( $r = 0,195$ ;  $p < 0,05$ ), indicando um aumento dos nematoides nas raízes das plantas, que tiveram uma infestação inicial menor e completaram seu ciclo de produção.

Os efeitos de *Pratylenchus* spp. sobre o crescimento e, conseqüentemente, sobre a produção vegetal, são resultantes de desordem e mal funcionamento dos processos de crescimento de raízes e exploração do solo para obtenção de água e nutrientes (Loof 1991; Haegeman et al. 2012).

A MO também mostrou correlação baixa positiva, mas significativa com a produtividade ( $r = 0.199$ ;  $p < 0,05$ ), mostrando que o aumento da MO no solo favorece um incremento na produtividade da soja (Figura 2; MO e PROD). Em relação aos demais atributos do solo comparados às variáveis do nematoide, houve baixa correlação significativa, sendo a maioria dos atributos não significativos.

Sologuren & Santos (1997), estudando as características químicas de solo em reboleiras de soja com *H. glycines*, também encontraram correlações positivas entre

as densidades de cistos viáveis e juvenis de segundo estágio (J2) com valores de pH, Ca, Mg e saturação de bases.

As correlações entre NNR *versus* Mg (0,049) e NOR *versus* Mg (-0,152) indicam que o número maior de NNR em zonas com maiores teores de Mg no solo pode estar associado a maiores valores para pH pela neutralização do Al em função da aplicação de corretivos agrícolas e maior disponibilidade de outros macronutrientes às plantas de soja que garantem maior crescimento e enraizamento destas, conforme constatação de Foy et al. (1993). Os resultados da Tabela 3 evidenciam pouca eficiência das estatísticas convencionais para estudar a associação entre desempenho das culturas e características locais em campos de produção (Martin et al. 2005). Embora inapropriada para este tipo de estudo, devido à multicolinearidade entre as variáveis exploratórias, a metodologia da análise de correlação e regressão múltipla são as mais comumente utilizadas.

Na Figura 2, são apresentados os mapas de distribuição espacial da fertilidade do solo e nematoides na raiz da soja. Observa-se que a maior extensão das classes de variabilidade dos atributos S, Ca, Mg, K, SB, V% e CTC estão alinhadas ao sentido de escoamento da água no ambiente. Os macronutrientes S, Ca, Mg, e K são solúveis em água. Por este motivo a distribuição espacial destes nutrientes no solo pode ser associada com o fluxo de água (Dalchiavon et al. 2012), mesmo em região com pouca variação do relevo, como é o caso da área em estudo (2% de declividade).

O comportamento da distribuição espacial de P está associado à maneira com que esse nutriente foi distribuído na área, realizada mecanicamente, à lanço. Esse tipo de adubação confere um padrão desuniforme à distribuição (Figura 2 d). Ademais, o P é pouco solúvel em água, diferente dos outros macronutrientes mencionados. E dessa maneira, o fluxo de água pouco interfere em sua distribuição, a não ser que promova a movimentação das argilas, onde grande parte do P está adsorvido (Malavolta 2006), o que ocorre quando uma área é cultivada mecanicamente.

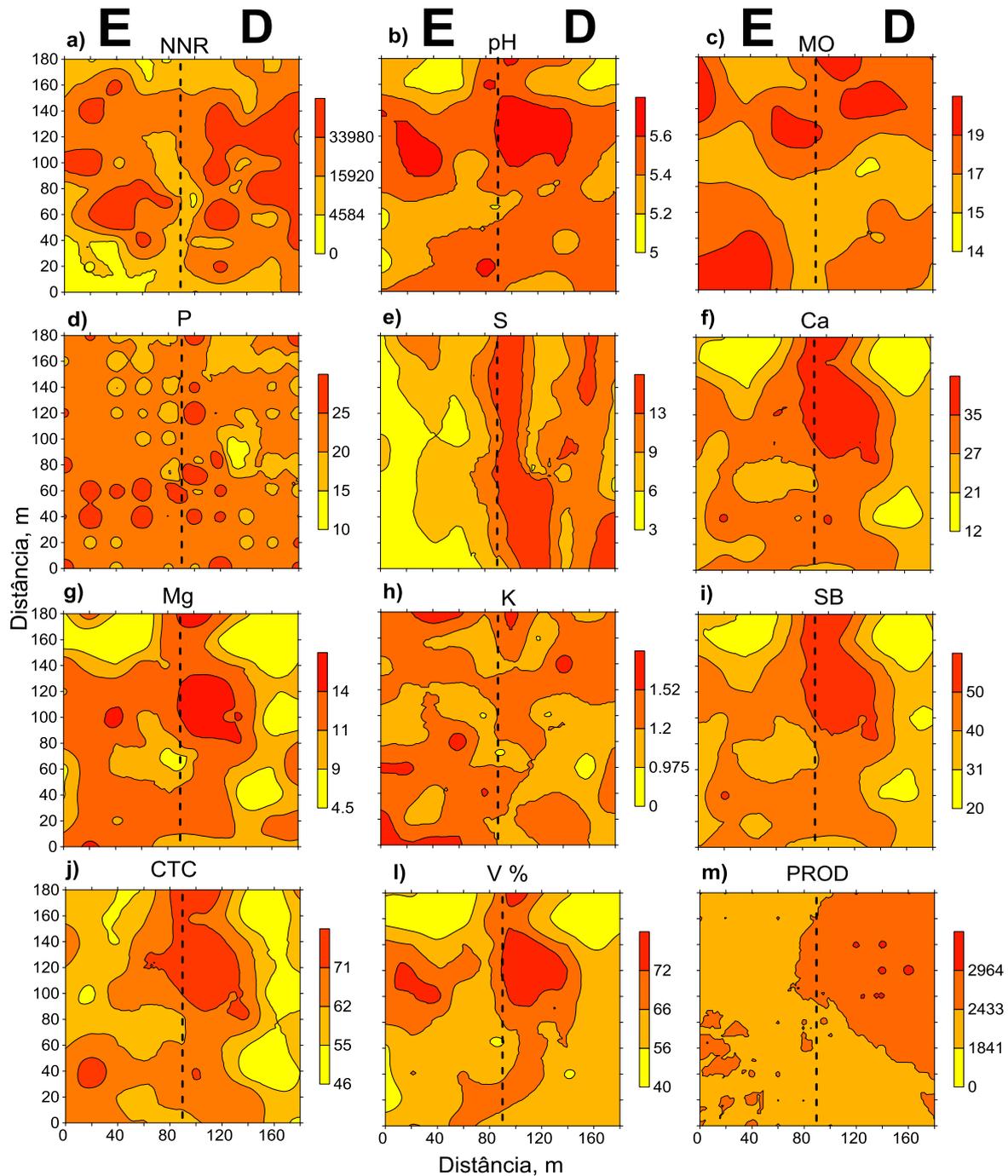


Figura 2 – Distribuição espacial da população do nematoide e dos atributos do solo: E: lado esquerdo; D: lado direito; NNR: Número de Nematoides na Raiz; pH: Acidez potencial; MO: Matéria Orgânica; P: Fósforo; S: Enxofre; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; K: Potássio; SB: Soma de Bases; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; V%: Saturação por Bases.

Observando os lados direito (D) e esquerdo (E) nos mapas da Figura 2 de distribuição espacial, nota-se que no lado direito, ocorrem os maiores valores para NNR, pH, S, Ca, Mg, SB, V%, CTC e produção. A maior produção no lado direito pode estar associada a dois fatores: o nutricional e a população inicial de nematoides no solo. O estado nutricional da planta está relacionado com a sua resistência ou susceptibilidade ao ataque de pragas e patógenos (Fragoso et al. 2007). O desequilíbrio nutricional resultante do desequilíbrio na quantidade de macro e micronutrientes na planta pode provocar mudanças em seu metabolismo, fazendo com que predomine o estado de proteólise nos tecidos (degradação de proteínas), no qual os parasitas encontram as substâncias solúveis necessárias para sua nutrição.

O nível inicial de nematoide no solo é uma informação importante para tomada de decisão, seja para iniciar o plantio da soja ou para adiá-lo e realizar o plantio de uma planta antagonista. O plantio de antagonistas é recomendado para baixar a população de nematoides no solo, a níveis que não comprometerão a produção agrícola na safra seguinte de soja. Quando determinado local possui baixo potencial de fertilidade, especialmente em relação à disponibilidade de P, macronutriente essencial para enraizamento de grande parte das culturas agrícolas (Pinheiro et al. 2008; Franchini et al. 2012; Mendes et al. 2012) e alta densidade da população de nematoides no solo, a produção poderá ser prejudicada.

Uma alternativa para melhor representar a relação de inter e intradependência das variáveis é a análise de componentes principais. Inicialmente o conjunto de dados foi classificado de acordo com os quartis da variável NNR da seguinte forma: Muito Baixa (MB),  $NNR \leq 4.584$ ; Baixa (B),  $4.584 < NNR \leq 15.920$ ; Moderado (MD),  $15.920 < NNR \leq 33.980$  e; Alto (A)  $NNR > 33.980$ . A classificação foi proposta com base no estágio de desenvolvimento da cultura e resultados obtidos para as condições detectadas em campo. Com base nesta classificação, calculou-se a média de todas as outras variáveis para cada nível de classificação, e a partir destes resultados foi realizado a análise de componentes principais

A Tabela 4 mostra que a partir de 2 componentes principais (CP): CP1, explicando 49,60% da variância dos grupos do número de nematoides nas raízes e o CP2, explicando 33,01%, totalizando 82,60% da variância. Tais resultados

condizem com o critério estabelecido por Sneath & Sokal (1973), em que o número de CP utilizado na interpretação deve ser tal que explique no mínimo 70% da variância total dos dados.

Tabela 4 – Resultados dos componentes principais CP1, CP2, das variáveis de produtividade e atributos do solo.

Variáveis	CP1	CP 2	Variância total explicada (%)	Ranking da porcentagem de explicação
Variância total explicada (%) <sup>1</sup>	49,46	33,01	82,47	-
pH	0,00	9,74	9,74	6°
MO	4,27	2,39	6,66	7°
P	12,16	0,10	<b>12,26</b>	<b>3°</b>
S	4,64	6,87	11,51	5°
Ca	8,90	2,87	<b>11,78</b>	<b>4°</b>
Mg	5,80	0,21	6,01	8°
K	12,24	0,09	<b>12,33</b>	<b>1°</b>
PROD	1,58	10,74	<b>12,32</b>	<b>2°</b>

1 – Variância explicada em relação aos grupos do número de nematoides nas raízes.

A soma das novas variáveis CP1 e CP2 mostra que as variáveis K, P e Ca, relacionadas à fertilidade do solo, explicam 36,37% da variância dos grupos de nematoides nas raízes. Pressupõe-se que, os maiores teores destes nutrientes no solo, resultam em maiores teores nas plantas (Malavolta 2006; Pinheiro et al. 2008; Embrapa 2011). Os nutrientes P e K, estão relacionados com o enraizamento da planta e o nutriente Ca, com a resistência da planta aos ataques de pragas (Mendes et al. 2012).

Estes resultados sugerem que em locais com baixo potencial de fertilidade, especialmente com os nutrientes como P, K e Ca, as plantas, podem ser naturalmente mais susceptíveis ao ataque de nematoides. De acordo com Camargo et al. 2013, solos cauliníticos possuem naturalmente maior potencial de adsorção de nutrientes em relação aos solos gibbsíticos, hematíticos e goethíticos. Essa característica é explicada pela maior capacidade de troca catiônica e pela predominância de cargas superficiais negativas do material caulinítico. Em contrapartida, os solos goethíticos possuem maior potencial de adsorção de P do que os outros solos mencionados. Nesse sentido, é possível inferir que solos cauliníticos e goethíticos podem disponibilizar menores quantidades de K e P,

essenciais ao enraizamento, deixando as plantas mais susceptíveis ao ataque de pragas. Essa pode ser uma das causas na área de estudo. Segundo Resende (2013) e Dantas (2013) os solos dos tabuleiros costeiros do Norte e Nordeste do Brasil especialmente os coesos, são ricos em caulinita e goethita.

Na Figura 3 estão ilustrados os resultados apresentados na Tabela 4. A posição do grupo com alta população de nematoides nas raízes ( $\text{NNR} > 33.980$ ) coincide com os maiores teores de K, Mg e PROD. A posição dos grupos moderado ( $15.920 < \text{NR} < 33.980$ ) e baixo ( $4.584 < \text{NR} < 15.920$ ), coincidem com os maiores teores de S, Ca, P e MO. Não foi encontrada relação entre as variáveis da Figura 3 e a população de NNR muito baixa ( $\text{MB} \leq 4.584$ ).

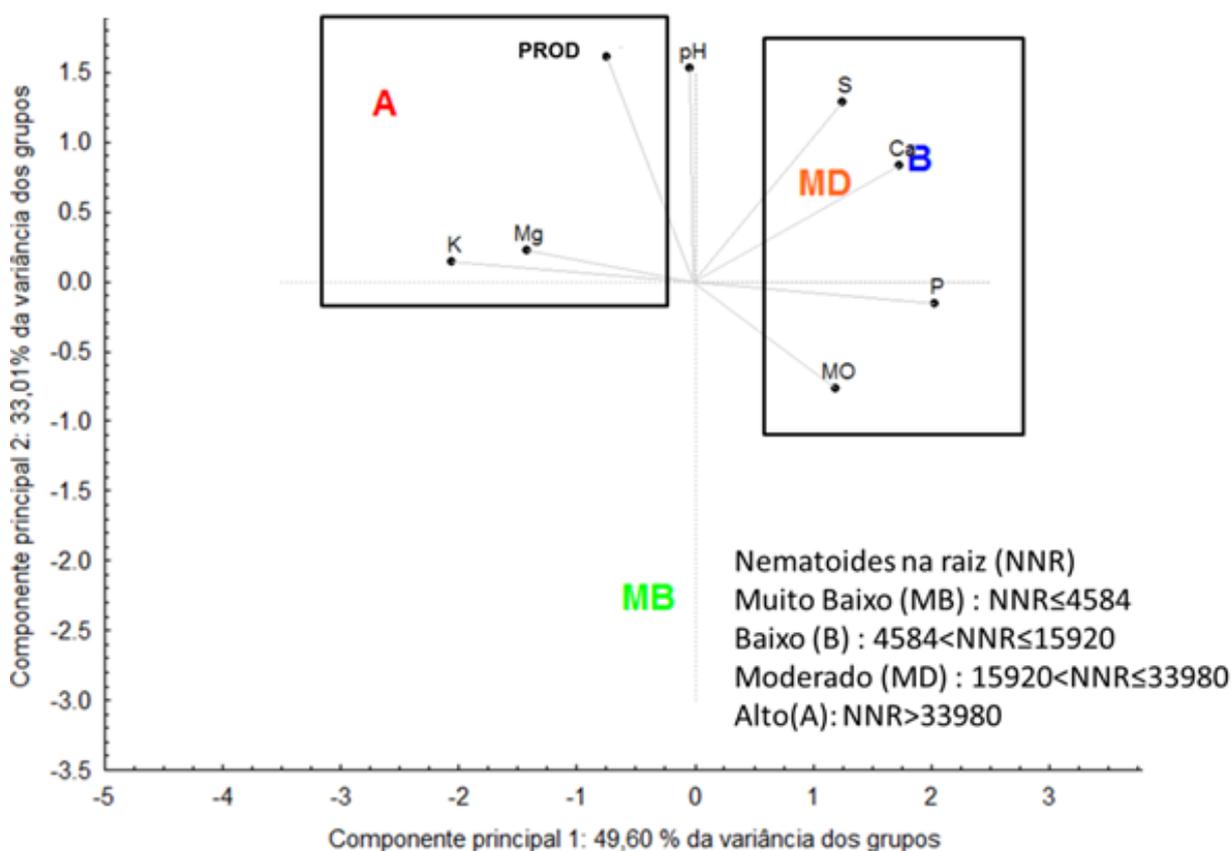


Figura 3 – Gráfico biplot com os componentes principais e a classificação da população de nematoides nas raízes de soja.

Estes resultados explicam melhor a associação entre NNR e os atributos de solo, juntamente com a distribuição espacial das variáveis, e a ocorrência dos

nematoides nas raízes (Figura 2). Nesse sentido, a simulação superficial do fluxo de água, bem como a utilização de ferramentas de análise como geoestatística e componentes principais podem ser eficazes para auxiliarem na visualização prévia de áreas com pequenas variações no relevo, e com diferentes potenciais de contaminação.

### 3.4 Conclusões

- O número maior de nematoides nas raízes em zonas com menores teores de Mg e Ca no solo pode estar associado a menores valores de pH;
- Locais com baixo potencial de fertilidade, especialmente em relação aos nutrientes P, K e Ca, as plantas de soja, podem se tornarem naturalmente mais susceptíveis ao ataque de nematoides;
- A variabilidade dos atributos S, Ca, Mg, K, SB, V% e CTC estão alinhadas ao sentido de escoamento da água no ambiente, indicando influência da topografia no padrão de distribuição espacial dessas variáveis, mesmo em região com pouca variação do relevo.

### 3.5 Referências

BACK, M. A.; HAYDOCK, P. P. J.; JENKINSON, P. Nematodes and soilborne pathogens disease complexes involving plant parasitic nematodes and soil borne pathogens. **Plant Pathology**, London, v. 51, p. 683-697, 2002.

BARBOSA, B. F. F.; SANTOS, J. M.; BARBOSA, J. C.; SOARES, P. L. M. Aggressiveness of *Pratylenchus brachyurus* to the sugarcane, compared with key nematode *P. zaei*. **Nematropica**, Auburn, v. 43, n. 1, p. 119-130, 2013.

BARKER, K. R. Sampling nematode communities. In: BAKER, K. R.; CARTER, C. C.; SASSER, J. N. (Ed.). **An advanced treatise on Meloidogyne**: II. Methodology. Raleigh: North Carolina State University/USAID, 1985. p. 3-17.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographical systems**. New York: Oxford University Press, 2006. p. 333.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, J. T.; ALLEONI, L. R. F. Spatial correlation between the composition of the clay fraction and contents of available phosphorus of an Oxisol at hillslope scale. **Catena**, Amsterdam, v. 100, p. 100-106, 2012.

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, C. de; FERNANDES, D. C.; SANTOS, M. J.; 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.

CASTILLO, P.; VOVLAS, N. ***Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): diagnosis, biology, pathogenicity and management**. Leiden: Brill, 2007. 529 p. (Nematology Monographs and Perspectives, 6).

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. de S.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. Essex: Applied Science Publishers, 1979.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, safra 2013/2014, terceiro levantamento**. Brasília, 2013. v. 1, n. 3, p. 58. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_12\\_10\\_16\\_06\\_56\\_boletim\\_portugues\\_dezembro\\_2013.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_12_10_16_06_56_boletim_portugues_dezembro_2013.pdf)>. Acesso em: 12 out. 2013.

COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. **A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue**. Ghent: State Agricultural Research Center, 1972. 77 p.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

DANTAS, J. S. **Relação solo-paisagem e erodibilidade de solos no leste do estado do Maranhão**. 2013. 84 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. de P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil, 2012 e 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. (Sistemas de Produção, 15). Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/download/SP15-VE.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2013.

FARIAS, P. R. S. **Distribuição espacial do nematóide reniforme com o uso da geoestatística, em um solo com rotação de culturas**. 1999. 109 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1999.

FRAGOSO, R. da R.; LOURENÇO, I. T.; VIANA, A. A. B.; SOUZA, D. dos S. de L.; ANRADE, R. V. de; MEHTA, A.; BRASILEIRO, A. C. M.; PINTO, E. R. de C.; LIMA, L. M. de; ROCHA, T. L.; SÁ, M. F. G. de. **Interação molecular planta-nematoide**. Plantaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 56 p. (Documentos, 198).

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 CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais eletrônicos...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. 1 CD-ROM.

FROGBROOK, Z. L.; OLIVER, M. A.; SALAHI, M.; ELLIS, R. H. Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. **Soil Use and Management**, West Sussex, v. 18, n. 1, p. 01-09, 2002.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. **GS+ Geostatistics for the Environmental Sciences**. Versão 9.0. Plainwell, MI, 2008.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for Windows**: surface mapping system. Versão 11. Golden, 2012.

GOULART, A. M. C. **Aspectos gerais sobre nematóides-das-lesões-radiculares (gênero *Pratylenchus*)**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 27 p.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: [UFU], 2004. Disponível em: <<http://www.famat.ufu.br/prof/ednaldo/geoest/apgeo1.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2013.

HAEGEMAN, A.; MANTELIN, S.; JONES, J. T.; GHEYSEN, G. Functional roles effectons of plant-parasitic nematodes. **Gene**, Amsterdam, v. 492, n. 1, p. 19-31, 2012.

HAIR, J. F. J. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2005.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. Nova York: Oxford University Press, 1989.

JENKINS, W. R. A. A rapid centrifugal – flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, St. Paul, v. 48, p. 692, 1964.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, New York, v. 23, n. 3, p. 187-200, 1958.

LOOF, P. A. A. The family Pratylenchidae Thorne, 1949. In: NICKLE, W. R. (Ed.). **Manual of agricultural nematology**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 363-421.

MACHADO, L. de O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, N. 3, p. 591-599, 2007.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARTIN, N. F.; BOLLERO, G.; BULLOCK, D. G. Associations between field characteristics and soybean plant performance using canonical correlation analysis. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 273, n. 1-2, p. 39 -55, 2005.

MENDES, F. L.; ANTONIO, S. F.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; SILVA, J. F. V. Manejo cultural do nematoide das lesões radiculares durante a entressafra da soja no Mato Grosso. Reação de cultivares de Soja a *Pratylenchus brachyurus*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6., 2012, Cuiabá. **Anais eletrônicos...** Londrina: Embrapa Soja, 2012. CD-ROM.

NEVES NETO, D. N.; SANTOS, A. C.; SANTOS, P. M.; MELO, J. C.; SANTOS, J. S. Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 9, p. 995-1004, 2013.

PINHEIRO, J. B.; POZZA, E. A.; ALEXANDRE POZZA, A. A.; MOREIRA, A. S.; ALVES, M. C.; CAMPOS, V. P. Influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematóide de cisto da soja. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 32, n. 4, p. 270-278, 2008.

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001, p. 285.

RESENDE, J. M. do. A. **Caracterização pedométrica de atributos de argissolos coesos do leste maranhense**. 2012. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

RIBEIRO, N. R.; DIAS, W. P.; HOMECHIN, M.; SILVA, J. F. V.; FRANCISCO, A. Avaliação da reação de espécies vegetais ao nematoide das lesões radiculares. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 29., 2007, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande: Embrapa Soja, 2007.

RIEDEL, R. M.; ROWE, R. C.; MARTIN, M. J. Differential interactions of *Pratylenchus crenatus*, *P. penetrans*, and *P. scribneri* with *Verticillium dahliae* in potato early dying disease. **Phytopathology**, Santana Paulista, v. 75, n. 4, p. 419-422, 1985.

RODACKI, M. E. P.; MAIA, G. L.; SILVA, G. S.; MEYER, M. C. Ocorrência de *Pratylenchus brachyurus* em soja no sul do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 4., 2006, Londrina. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2006.

SANDIM, A. da S. **Disponibilidade de fósforo em função da aplicação de calcário e silicatos em solos oxídicos**. 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

SANTOS JÚNIOR, R. F. **Resposta espectral de plantas de soja cv. BRS133 infectadas por *Heterodera glycines* ou *Meloidogyne javanica***. 2002. 53 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal SP, 2002.

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 431-436, 2001.

SNEATH, P. H. A.; SOKAL, R. R. **Numerical taxonomy**. Sao Francisco: Freeman and Co., 1973. 573 p.

SOLOGUREN, L. J.; SANTOS, M. A. Estudo de características químicas de solo em reboleiras de soja com *Heterodera glycines*. **Fitopatologia Brasileira**, Piracicaba, v. 22, p. 329-335, 1997. Suplemento.

SOUTHEY, J. F. (Ed). **Laboratory methods for work with plant and soil nematodes**. London: Minist. Agric. Fisch. Fd., 1970. 148 p. (Bulletin, 2).

SOUZA, G. S. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 589-596, 2008.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1763-1771, 2004.

STIRLING, G. R. **Biological control of plant-parasitic nematodes**. Wallingford: CAB International, 1991. 282 p.

SUMMER, D. R.; MINTON, N. A. Interaction of Fusarium wilt and nematodes in Cobb soybean. **Plant Disease**, St. Paul., v. 71, n. 1, p. 20-23, 1987.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, Hoboken, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO. **Atlas do Maranhão**. São Luís: GEPLAN, 2004. atlas. Escala.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. (Ed.). **Tópicos em ciências do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54.

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.

WILCKEN, S. R. S.; GABIA, A. A.; SILVA, M. F. A.; JOAZ DORNELES JÚNIOR, J. D.; ZIMBACK, C. R. L. Distribuição horizontal de *Pratylenchus zae* em milho. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 3., 2013, Botucatu. **Anais eletrônicos...** Botucatu: FCA, 2013. CD-ROM.

YORINORI, J. T. Cultivares de soja resistentes a podridão vermelha da raiz causada por *Fusarium solani*. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 22., 1994, Cruz Alta. **Resumos**. Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 1994. p. 61.

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.