

**PATRÍCIA ÂNGELO DE BARROS**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO  
SOLO SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Recife-PE

Dezembro, 2010

**PATRÍCIA ÂNGELO DE BARROS**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO  
SOLO SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elvira Maria Régis Pedrosa - orientadora

Prof<sup>o</sup>. Dr. Abelardo A. A. Montenegro – co-orientador

Prof<sup>o</sup>. Dr. Mário Monteiro Rolim – co-orientador

Recife-PE

Dezembro, 2010

Ficha catalográfica

B277v      Barros, Patrícia Ângelo de  
             Variabilidade espacial de atributos químicos e biológicos  
             do solo sob cultivo de cana-de-açúcar / Patrícia Ângelo de  
             Barros. -- 2010.  
             80 f.:il.

             Orientadora: Elvira Maria Régis Pedrosa.  
             Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola /  
             Engenharia Água e Solo) – Universidade Federal Rural de  
             Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Recife,  
             2010.

             Referências.

             1. Geoestatística 2. Nematóide 3. Vinhaça I. Pedrosa,  
             Elvira Maria Régis, orientadora II. Título

CDD 631.4

**PATRÍCIA ÂNGELO DE BARROS**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO  
SOLO SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora em: 17/12/2010

**ORIENTADORA:**

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Elvira Maria Régis Pedrosa (UFRPE)

**EXAMINADORES:**

---

Prof. Dr. Abelardo Antônio A. Montenegro (UFRPE)

---

Dr<sup>a</sup>. Sandra Roberta Vaz Lira Maranhão (UFRPE)

---

Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza (UNICAMP)

Recife-PE

Dezembro, 2010

“Entrega o teu caminho ao SENHOR; confia nele, e ele o fará.”  
(Salmos 37:5)

## **DEDICO**

Aos meus pais, **Diógenes e Maria**, pelo exemplo de vida, amor, carinho, conselhos, força e dedicação, em todos os momentos da minha vida, os quais foram imprescindíveis nas horas difíceis.

## **OFEREÇO**

Ao meu querido tio, **Luiz Ângelo de Farias** (*in memoriam*), e aos meus irmãos **Luiz e Janaína** pelo incentivo e exemplo.

## AGRADECIMENTOS

A **Deus** em primeiro lugar, por ter realizado mais uma conquista em mais uma etapa da minha, a Ele toda honra e glória.

À **Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)**, através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de cursar o Mestrado;

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes/Reuni)**, pela concessão da bolsa de estudos e ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)** pelo fomento do presente trabalho;

A professora **Dra. Elvira Maria Régis Pedrosa**, pela presente orientação, atenção, conselho, compreensão, amizade, paciência, sempre muito atenciosa nas horas que precisei de ajuda. A ela a minha admiração.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em especial ao Prof.<sup>o</sup> **Dr. Abelardo A. A. Montenegro** e ao Prof.<sup>o</sup> **Dr. Mário Monteiro Rolim**, pelos conselhos e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os **amigos** que conquistei na Pós-graduação, Irenilson, Cléoma, Marcela, Adriana, Taciana, Sonivagno, Lúcio Veimrober, Matheus Quintela, Robertson, Raquele **em especial** Caetano e Francimar.

Aos **amigos especiais** da graduação que ingressaram comigo, Marcelo, Liliane, Uilka e Thaís.

Aos **amigos** do laboratório de Fitonematologia, Ana Karina Oliveira, Mônica, Cícero Costa, Diego Leitão, Jeane Medeiros, Jefferson, Larissa Caixeta, Natália Ribeiro, Elenilson, Dafanni e Carmem Virginia pela amizade e agradável convívio nos momentos alegres e difíceis.

A **Daniela Salgues** e **Lílian Guimarães**, pelo apoio e colaboração na realização desse trabalho.

Ao Secretário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, **Eduardo Chaves**, pela amizade e carinho em todos os momentos dessa longa jornada.



## SUMÁRIO

	<b>Pág.</b>
<b>LISTA DETABELAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO I – Introdução Geral</b> .....	<b>15</b>
Cana-de-açúcar.....	<b>16</b>
Vinhaça.....	<b>17</b>
Fitonematóides.....	<b>20</b>
Geostatística e variabilidade espacial.....	<b>23</b>
Referências.....	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO II – Efeitos da colheita da cana-de-açúcar e aplicação de vinhaça na variabilidade espacial de nematóides em tabuleiro costeiro</b> .....	<b>37</b>
Resumo.....	<b>38</b>
Abstract.....	<b>39</b>
Introdução.....	<b>40</b>
Material e Métodos.....	<b>42</b>
Resultados e Discussão.....	<b>46</b>
Conclusões.....	<b>53</b>
Referências.....	<b>54</b>
<b>CAPÍTULO III – Variabilidade espacial de nematóides e atributos químicos do solo sob cultivo da cana-de-açúcar</b> .....	<b>59</b>
Resumo.....	<b>60</b>
Abstract.....	<b>61</b>
Introdução.....	<b>62</b>
Material e Métodos.....	<b>63</b>
Resultados e Discussão.....	<b>67</b>
Conclusões.....	<b>75</b>
Referências.....	<b>76</b>

**LISTA DE TABELAS**

	<b>Pág.</b>
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Tabela 1.</b> Caracterização física do solo, dos três períodos do cultivo da cana-de-açúcar em áreas de tabuleiro.....	<b>44</b>
<b>Tabela 2.</b> Resumo estatístico dos nematóides nos períodos amostrados.....	<b>47</b>
<b>Tabela 3.</b> Parâmetros dos semivariogramas isotrópicos experimentais obtidos para os diferentes períodos de amostragem.....	<b>48</b>
<b>Capítulo 3</b>	
<b>Tabela 1.</b> Caracterização física do solo, dos três períodos do cultivo da cana-de-açúcar em áreas de tabuleiro.....	<b>65</b>
<b>Tabela 2.</b> Resumo estatístico dos nematóides e das variáveis, cálcio, capacidade de troca catiônica, matéria orgânica, pH, soma de bases e saturação por bases das amostras coletadas nos pontos da malha de amostragem.....	<b>68</b>
<b>Tabela 3.</b> Parâmetros dos semivariogramas experimentais obtidos para as diferentes variáveis de amostragem.....	<b>70</b>
<b>Tabela 4.</b> Coeficiente de correlação de Pearson entre nematóides e atributos químicos do solo.....	<b>72</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Figura 1.</b> Localização da Usina Santa Tereza no município de Goiânia-PE.....	<b>42</b>
<b>Figura 2.</b> Croqui do <i>grid</i> de amostragem, apresentando as coordenadas cartesianas locais.....	<b>43</b>
<b>Figura 3.</b> Semivariogramas para as populações de nematóides 30 dias antes do corte da cana (A), 10 dias após o corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça) (B), e 50 dias após o corte da cana (dez dias após a aplicação da vinhaça) (C).....	<b>51</b>
<b>Figura 4.</b> Mapas de krigagem mostrando a distribuição espacial dos nematóides 30 dias antes do corte da cana (A), 10 dias após o corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça) (B) e, 50 dias após o corte da cana (dez dias após a aplicação da vinhaça) (C).....	<b>52</b>
<b>Capítulo 3</b>	
<b>Figura 1.</b> Localização da Usina Santa Tereza no município de Goiânia-PE.....	<b>64</b>
<b>Figura 2.</b> Croqui do <i>grid</i> de amostragem, apresentando as coordenadas cartesianas locais.....	<b>64</b>
<b>Figura 3.</b> Semivariogramas experimentais obtidos para as diferentes variáveis de amostragem.....	<b>71</b>
<b>Figura 4.</b> Mapas de krigagem das variáveis em estudo.....	<b>73</b>

## RESUMO

### VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar desempenha importante papel sócio-econômico para região nordeste, estando sua produtividade associada a diversos fatores agrícolas e ambientais. As operações de colheita da cana-de-açúcar e a fertirrigação com vinhaça afetam a diversidade e distribuição da biota do solo. Por outro lado, em sistemas agrícolas a presença de altas populações de fitonematóides é indicação de ecossistema frágil. Considerando que existem poucos trabalhos sobre a biodinâmica decorrente do manejo de agroecossistemas, o presente estudo teve como objetivos: i) caracterizar a estrutura e a dependência espacial de nematóides (*Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus zaeae*) na Mata Norte de Pernambuco em três períodos: 30 dias antes do corte da cana-de-açúcar; 10 dias após o corte (30 dias antes da aplicação da vinhaça) e 50 dias após o corte da cana (10 dias após aplicação da vinhaça) e ii) caracterizar a estrutura e a magnitude da dependência espacial desses nematóides e dos atributos químicos do solo e suas correlações, na Mata Norte de Pernambuco, 30 dias antes do corte da cana-de-açúcar. Para alcançar o primeiro objetivo utilizou-se sistema de amostragem em malha regular de 60×50 m, com espaçamento de 10 m, coletando amostras na profundidade de 0-0,5 m. A distribuição espacial dos nematóides foi avaliada por meio de ajustes de semivariogramas e realizada interpolação por krigagem ordinária para mapeamento das populações encontradas nos períodos amostrados. Para o segundo objetivo, utilizou-se o mesmo sistema de amostragem, coletando-se amostras na profundidade de 0,20 - 0,30 m. A distribuição espacial das variáveis Ca, CTC, MO, pH, SB, V% e nematóides foi avaliada por meio de ajustes de semivariogramas e realizada interpolação por krigagem

ordinária para mapeamento. Todas as variáveis estudadas apresentaram dependência espacial. A distribuição da MO, V% e nematóides (*Meloidogyne* spp. + *P. zae*) obedeceu a modelo esférico, CTC e SB a modelo exponencial e Ca e pH a modelo gaussiano. Os dados indicaram que a estatística clássica poderá ser aplicada para coleta de amostras de *Meloidogyne* spp. + *P. zae* em distâncias superiores a 17 m. A aplicação de vinhaça reduziu o número de agregados e a densidade populacional do nematóide. Ao contrário da MO, aumento nas concentrações de Ca, CTC, SB, V% e pH favoreceram incrementos nas densidades populacionais dos nematóides. Os mapas permitiram visualizar o padrão de variabilidade dos nematóides, constituindo-se em útil ferramenta para a definição de estratégias de manejo e recuperação de áreas infestadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geoestatística, manejo de agroecossistema, nematóide, vinhaça

## ABSTRACT

### SPACIAL VARIABILITY OF SOIL CHEMICAL AND BIOLOGICAL ATTRIBUTES UNDER SUGARCANE CULTIVATION

Sugarcane cropping plays an important economic and social role in Northeastern Brazil, being productivity associated to many agricultural and environment factors. The sugarcane harvest operations and stillage application affect diversity and soil biota distribution. On the other hand, high populations of plant parasitic nematodes present additional indication of poor ecosystem health. Considering there is little information on biodynamic under agroecosystem management, this study aimed to i) characterize the structure and spatial dependence of nematodes (*Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus zae*) in North Mata of Pernambuco, for three periods: 30 days before the sugarcane cut, 10 days after cutting (30 days before stillage application) and 50 days after cutting (10 days after stillage application) and ii) characterize the structure and magnitude of spatial dependence these nematodes and soil chemical properties under sugarcane cultivation 30 days before crop cutting. To meet the first objective it was used a regular sampling design in 60×50 m-grid, with points 10-m spaced, collecting samples at 0-0.5 m-depth. The spatial distribution of nematodes was evaluated using semivariograms and ordinary kriging for mapping nematode density in the sampling periods. For the second objective it was used the same sampling design collecting samples at 0,20 – 0,30 m depth. Spatial distribution of the variables Ca, CTC, MO, pH, SB, V% and nematodes was evaluated using semivariograms and adjustments by ordinary Kriging interpolation for mapping. All variables evaluated presented spatial dependency. The MO, V% and nematodes (*Meloidogyne* spp. + *P. zae*) adjusted to spherical model, CTC and SB to exponential model, and Ca and pH to gaussian model. Data indicated that

classical statistic can be used to analyze *Meloidogyne* spp. + *P. zeae* samples collected far than 17 m. Stillage application decreased the number of aggregates and the nematode population density. In contrast to OM, increases on Ca, CTC, SB, V% and pH favored increments on nematode population density. The maps allowed visualizing the nematode variability pattern constituting an useful tool for defining management strategies and recovery of infested areas.

**KEYWORDS:** Agroecosystem management, geostatistics, nematode, stillage

# **CAPÍTULO 1**

---

## **INTRODUÇÃO GERAL**



## INTRODUÇÃO GERAL

### 1. Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar destaca-se, entre as plantas cultivadas, na produção de recursos energéticos de uso alimentar humano (açúcar, melado, garapa, etc.) e animal (volumoso para ração, matéria fresca, etc.) (PIRES; FERREIRA, 2008). Dentre as gramíneas forrageiras, se destaca por dois aspectos: alta produção de matéria seca por hectare e capacidade de manutenção do potencial energético durante o período seco (THIAGO; VIEIRA, 2002). É a principal matéria-prima para a fabricação do açúcar e álcool (etanol). Considerada fonte de alimentação animal, produz álcool de vários tipos, a exemplo do etanol, usado como biocombustível, bebidas como a cachaça, licor, rum e vodka e gera eletricidade a partir do bagaço via indústria alcoolquímica (RODRIGUES, 2010). Da cana-de-açúcar aproveita-se tudo: bagaço, méis, torta e resíduos de colheita (MARANHÃO, 2008).

É uma planta que pertence ao gênero *Saccharum* L, foi descrita por Linneu, em 1753, como *Saccharum officinarum* e *Saccharum spicatum*. Na classificação atual, além de pertencer à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, ordem Cyperales, família Poaceae (LUCCHESI ;CASTRO; KLUGER, 2001), há pelo menos seis espécies do gênero, sendo a cana-de-açúcar cultivada um híbrido multiespecífico, recebendo a designação *Saccharum* spp. A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma cultura bastante difundida no Brasil (FARIA, 1993), industrialmente utilizada para produção de açúcar e álcool (SANTOS et al, 2006).

As espécies são provenientes do Sudeste Asiático, que foi trazida para o Brasil pelos portugueses na primeira década do século XVI e desenvolveu-se com sucesso no nordeste brasileiro, sendo que o Brasil tornou-se o principal produtor e exportador de açúcar nos séculos XVI e XVII. A cultura de cana-de-açúcar continua em expansão no Brasil ocorrendo

maiores índices de aumento de área no estado de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais (CONAB, 2010).

Historicamente a cana-de-açúcar é um dos principais produtos agrícolas do Brasil, sendo cultivada desde a época da colonização. Atualmente, assume grande importância econômica, social e ambiental, pelas grandes áreas plantadas, por gerar matéria prima como base para as agroindústrias do açúcar e álcool, além de representar fonte de grande geração de empregos e renda no meio rural (CARDOSO, 2010). Favorecida pela crise do petróleo, a cana-de-açúcar vem sendo utilizada na produção de álcool combustível, denominado de combustível renovável, substituindo em parte os derivados de petróleo (PIRES; FERREIRA, 2008).

## **2. Vinhaça**

Do processo de produção do álcool, resulta a vinhaça, um subproduto do processo de fabricação de etanol a partir da destilação do caldo fermentado da cana-de-açúcar. É rica em potássio (K) e matéria orgânica (MO) e contém quantidades menores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (FREITAS JUNIOR et al., 2007). Também conhecida como vinhoto, restilo, caldo ou garapão, variando de região, a vinhaça é uma água residuária que possui alto poder poluente e alto valor fertilizante.

Os mesmos elementos que lhe conferem o poder poluente lhe dão as características de um bom fertilizante: a matéria orgânica e teores significativos dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio tornado-o, comparativamente, com um potencial poluidor de cerca de cem vezes a do esgoto doméstico e um substituto altamente vantajoso economicamente dos fertilizantes químicos (CALHEIROS, 2010).

Segundo Silva; Griebeler e Borges et al. (2007), o poder poluente da vinhaça, decorre da sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices

de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), além de elevada temperatura na saída dos destiladores. É considerada altamente nociva à fauna, flora, microfauna e microflora das águas doces, além de afugentar a fauna marinha que vem às costas brasileiras para procriação (FREIRE ; CORTEZ, 2000).

Segundo Pires e Ferreira (2008), o uso direto da vinhaça como fertilizante é vantajoso devido a riqueza de matéria orgânica, potássio e enxofre. Já Leite (1999) diz que a grande vantagem no emprego da vinhaça é que ela pode substituir em grande parte os nutrientes da adubação mineral. O benefício imediato decorrente do uso racional desse resíduo nas lavouras canavieiras, aumentando a produtividade, que ocorre com mais intensidade em solos com menor disponibilidade de nutrientes e em regiões mais secas, incluindo-se a economia de fertilizantes (GIACHINI; FERRAZ, 2009).

## **2.1 Efeito da vinhaça no solo**

O uso de águas residuais e vinhaça nas lavouras canavieiras do Brasil é prática generalizada, com benefícios inegáveis para a fertilidade dos solos e a produtividade agrícola. Entretanto, em algumas unidades industriais há uma concentração de aplicações em determinadas áreas, geralmente as mais próximas da indústria, provocando acúmulos exagerados de certos nutrientes, que podem causar reflexos negativos sobre o solo e a cultura (MANHÃE; SOUZA; BERTO, 2003).

Com base em diversos estudos, Ferreira e Monteiro (1987) citam os principais efeitos da adição de vinhaça nos atributos dos solos: elevação do pH, aumento da CTC, elevação do teor de carbono, aumento da condutividade elétrica e, alertam para o perigo da salinização em solos hidromórficos e aluviais (MANHÃE, 2003).

A aplicação de volumes elevados de vinhaça promoveu o efeito extremamente danoso sobre a maturação de diversas variedades de cana-de-açúcar (NUNES JÚNIOR,

1987). Sengik ; Ribeiro e Conde (1988) acrescentam que, além do volume aplicado e do tempo de incubação no solo, características, como adsorção de íons, maior ou menor migração das bases, facilidade de contato do soluto existente na vinhaça e a superfície de adsorção do solo, dentre outras, variaram em função do classe de solo e de suas características, verificando-se que os maiores acréscimos de bases trocáveis no complexo de troca ocorreram nos primeiros 10 cm de profundidade dos solos estudados (BRITO et al., 2005).

## **2.2 Efeito da vinhaça nas populações microbianas e em fitonematóides**

A adição de matéria orgânica é um dos alicerces para se obter o equilíbrio biológico no solo. É amplamente reconhecido que alguns produtos orgânicos, a exemplo de torta de filtro e vinhaça, apresentam efeito supressivo sobre populações de nematóides (ROSSI; LIMA, 2007). Segundo Moura (2000), o emprego de matéria orgânica tem sido preconizado com destacada eficiência para controle desses organismos, contribuindo para a redução do uso de produtos químicos e os consequentes impactos ao meio ambiente.

Muitos são os benefícios proporcionados pela incorporação da matéria orgânica ao solo. Segundo Rodríguez-Kábana; Morgan-Jones e Chet (1987) e Kaplan; Noe e Hartel (1992), quando adicionados ao solo os produtos orgânicos possibilitam aumento da população microbiana antagonista aos fitonematóides. Conforme Novaretti (1983), a incorporação de matéria orgânica ao solo cria condições favoráveis para multiplicação de inimigos naturais desses organismos, principalmente fungos, além de promover formação de substâncias orgânicas, tais como ácidos graxos voláteis, que podem apresentar ação nematicida (PEDROSA et al. , 2005).

A vinhaça deve ser vista, como agente do aumento da população e atividade microbiana no solo. O pH dos solos tratados com vinhaça aumenta principalmente em áreas

cultivadas há mais tempo, embora nos primeiros dez dias após sua aplicação o pH sofra uma redução considerável para, posteriormente, elevar-se abruptamente, podendo alcançar valores superiores a sete; este efeito está ligado à ação dos microrganismos (GIACHINI; FERRAZ, 2009).

Segundo Giachini e Ferraz (2009), no momento em que a matéria orgânica contida na vinhaça é incorporada ao solo, ela é colonizada por fungos, os quais a transformam em húmus, neutralizando a acidez do meio preparando, deste modo, o caminho para proliferação bacteriana; assim, quando adicionada como fertilizante, favorece o desenvolvimento desses microrganismos os quais atuam na mineralização e imobilização do nitrogênio e na sua nitrificação, desnitrificação e fixação biológica, bem como de microrganismos participantes dos ciclos biogeoquímicos de outros elementos (SILVA; GRIEBELER; BORGES ., 2007).

Segundo Lopes et al.,(1986), a vinhaça provoca alterações imediatas nas características biológicas do solo. Lima (1980) constatou aumentos na população microbiana, na taxa de decomposição da matéria orgânica, nitrificação, desnitrificação e fixação biológica do nitrogênio, em amostras de solo com adição de vinhaça e incubadas durante uma semana. Verificou que a respiração, medida pela evolução de CO<sub>2</sub>, aumentou devido ao aumento da população microbiana do solo. Entretanto, efeitos do uso contínuo e/ou de longo prazo devidos à aplicação da vinhaça são desconhecidos (LOPES et al., 1986).

### **3. Fitonematóides**

A cana-de-açúcar é monocultivada em diferentes regiões do Brasil e um dos indicadores do desequilíbrio desse agroecossistema é a presença de nematóides fitoparasitos limitando a produtividade (ROSSI; LIMA, 2007).

Os nematóides parasitos de plantas, também chamados genericamente de fitonematóides, são vermes microscópicos e translúcidos. Constituem o grupo de

pluricelulares mais abundantes no planeta (KIMPINSKI; STURZ, 2003). E geralmente são classificados segundo seu hábito alimentar.

Medindo de 0,3 a 3,0 mm, causam perdas anuais médias à produção agrícola mundial, estimadas em 12%, o que corresponde a bilhões de dólares de prejuízo (SASSER; FRECKMAN, 1987). Estes organismos alimentam-se e reproduzem-se em plantas vivas, podendo migrar para a região rizosférica, para dentro das raízes, ou em direção à parte aérea (NUNES, 2008).

Dentre as espécies de nematóides importantes para a cana-de-açúcar no nordeste brasileiro destacam-se *Meloidogyne incognita* (Kofoid; White) Chitwood, *M. javanica* (Treub) Chitwood e *Pratylenchus zaei* Graham (BARROS; MOURA; PEDROSA, 2005). São mais frequentemente encontrados em regiões de climas quentes e invernos curtos, onde várias gerações do nematóide ocorrem durante o ano (HUSSEY, 1985). Em muitos canaviais pouco desenvolvidos e com baixa produção, são encontradas altas populações de pelo menos uma delas (DINARDO-MIRANDA, 2005).

O ataque dos nematóides à cana-de-açúcar restringe-se às raízes, de onde extraem nutrientes para o crescimento e desenvolvimento. Além do dano causado pela utilização de nutrientes da planta, estes parasitos injetam toxinas no sistema radicular, resultando em deformações nas raízes, como as galhas, provocadas por *Meloidogyne* e, extensas áreas necrosadas, quando os nematóides presentes são *Pratylenchus* (DINARDO-MIRANDA, 2005).

Em consequência do ataque de nematóides, as raízes se tornam pouco desenvolvidas, pobres em radículas, deficientes e impossibilitadas de desempenhar normalmente suas funções (DINARDO-MIRANDA, 2006), reduzindo a produtividade agrícola, quando em altas densidades populacionais (LORDELLO, 1981; CARTER; SASSER, 1983; NOVARETTI; TÉRAN, 1983; BRIDGE, 1988; MOURA; RÉGIS; MOURA, 1990;

SPAULL; CADET, 1990). Os níveis populacionais associados aos níveis de danos dos fitonematóides podem afetar significativamente a produtividade agrícola da cana-de-açúcar. No entanto, esses níveis podem variar de acordo com questões epidemiológicas como diferentes condições ambientais de predisposição e da reação diferenciada das diversas variedades de cana-de-açúcar ao parasitismo de fitonematóides (MOURA et al., 2000).

Os prejuízos à parte aérea são reflexos de um sistema radicular debilitado, incapaz de absorver água e nutrientes necessários para o bom desenvolvimento das plantas que, em consequência, tornam-se menores, raquíticas, cloróticas, murchas nas horas mais quentes do dia e menos produtivas. Em condições de campo, são verificadas reboleiras de plantas menores e cloróticas entre outras de porte e coloração aparentemente normais (DINARDO-MIRANDA, 2006).

A procura de medidas alternativas para controlar fitonematóides se tornou de fundamental importância (LAZZERI ; LEONI; MANICI, 2004) para o manejo da cultura. Segundo Oliveira et al. (2005), vários métodos de controle têm sido pesquisados nos últimos anos, visando uma integração entre as técnicas disponíveis, para tornar o processo produtivo mais racional, eficiente e econômico (NOVARETTI et al. 1998). As técnicas mais recomendadas para controle dos fitonematóides, em geral, são o uso de cultivares resistentes, incorporação de matéria orgânica, controle biológico, emprego de plantas antagônicas, rotação de cultura com plantas não hospedeiras e a aplicação de nematicidas sistêmicos (BROWN; KERRY, 1987; BARROS; MOURA; PEDROSA, 2000; CORBANI, 2002; MARTINELLI, 2008). A combinação de várias dessas medidas de controle é explorada pelo manejo integrado (SILVA; MARTINELLI, 2010).

#### **4. Geostatística e variabilidade espacial**

A geoestatística teve origem na África do Sul, onde pesquisadores, destacando entre eles o estatístico H.S. Sichel e o engenheiro de minas D. G. Krige (1951), que trabalhando com dados de mineração, referentes à concentração de ouro, não conseguia encontrar sentido nas variâncias calculadas se não levasse em conta também a distância entre as amostras (VIEIRA, 2000), desenvolveram empiricamente, uma técnica própria de estimação. Mais tarde, recebeu um tratamento formal levado a cabo pelo grupo liderado por Matheron, no Centre de Morphologie Mathematique, em Fontainebleau, França. Matheron (1963), baseado nas observações de Krige (1951), desenvolveu a Teoria das Variáveis Regionalizadas. Esta foi definida como sendo uma função espacial numérica que apresenta uma variação de um local para outro, com uma continuidade espacial aparente e que não pode ser representada por uma função matemática simples.

A geoestatística é um tópico especial da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas, aquelas que têm comportamento espacial mostrando características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente aleatórias e as totalmente determinísticas (LANDIM, 1998).

A característica principal das variáveis regionalizadas constitui-se na sua continuidade ou variabilidade espacial, cujo entendimento e modelagem representam a base de toda a análise geoestatística (MONTEBELLER, 2005).

Segundo Guerra (1988), estas variáveis têm em comum uma dupla característica pois são aleatórias já que os valores numéricos observados podem variar consideravelmente de um ponto a outro no espaço e são espaciais, os valores numéricos observados não são inteiramente independentes. A teoria fundamental da geoestatística é a esperança de que, na média, as amostras próximas no tempo e espaço sejam mais similares entre si do que as que estiverem distantes (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).



Alguns métodos estimadores geoestatísticos da autocorrelação espacial são usados como ferramentas de continuidade espacial, como: o variograma ou semivariograma, o covariograma e o correlograma. Essas ferramentas são usadas para investigar a magnitude da correlação entre as amostras e sua similaridade ou não, com a distância, definindo os parâmetros para a aplicação da técnica de krigagem, onde segundo Cressie (1990) é um método que permite prever pontualmente ou por intervalos, valores de um processo estocástico em localizações ou regiões não amostradas. Sendo Guerra (1988), ocorrem três tipos de semivariogramas: observado ou experimental, verdadeiro e teórico.

A dependência espacial é analisada, segundo Isaaks; Srivastava (1989), pela expressão:

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

onde:

$\gamma(h)$  - é o valor do semivariância para a distância  $h$ ;

$Z(x_i)$  - é o valor amostrado na posição  $x_i$ ;

$Z(x_i+h)$  - representa o valor da mesma variável para alguma distância  $h$  (ou “lag”),

em qualquer direção

$h$  - é a distância entre medições.

$N$  - número de pares de valores analisados;

Segundo Rossi et al. (1994), o variograma e outros parâmetros geoestatísticos de um modelo de função aleatória estacionária são constantes em um determinado espaço amostral e estimados das medidas verdadeiras. Sabendo-se que, o padrão espacial ocorre em uma pequena ou grande escala e tendo alguma idéia do tamanho desses padrões, garantir-se-á o

sucesso dos instrumentos geoestatísticos que serão utilizados para fornecerem estimativas de locais não amostrados (interpolação) (MONTEBELLER, 2005).

A geoestatística foi utilizada para estudar uma única variável, como auxiliar na descrição e representação de variáveis contínuas de atributos dos solos, posteriormente, métodos geoestatísticos foram desenvolvidos para múltiplas variáveis e para quantificar variáveis correlacionadas, não conhecidas ou de difícil determinação (STEIN et al., 1988 e MCBRATNEY et al., 1991). No Brasil, o emprego de amostragem regionalizada e de métodos geoestatísticos para solos ainda é incipiente e muito pouco disseminado em comparação aos métodos convencionais de análises estatísticas (ZIMBACK, 2003).

#### **4.1 Semivariograma**

Para fazer o semivariograma, todos os dados são pareados em todas as combinações possíveis e agrupados dentro de classes (Lags) de distâncias e direções aproximadamente iguais. Esse processo é efetuado dentro do módulo, Análise do semivariograma, onde são construídos os semivariogramas experimentais (DEUTSCH; JOURNAL, 1992), sendo neles verificada a possibilidade das variáveis estudadas possuírem a propriedade de anisotropia que é a não homogeneidade das distribuições das variâncias em ângulos diferentes no espaço (ENGLUND; SPARKS, 1988). Quando o semivariograma é isotrópico, apenas um (o unidirecional) é suficiente para descrever a variabilidade da variável no campo (ZIMBACK, 2003).

Vieira (1995) considera que quando o variograma for similar para qualquer direção de  $h$ , ou seja, a dependência espacial não varia quando  $h$  varia, ele é chamado isotrópico. Se, no entanto, o variograma for diferente para alguma direção de  $h$ , tem-se um fenômeno anisotrópico, sendo que, neste caso, o variograma deve sofrer transformações antes de ser

usado. Neste caso, a análise deve ser feita para várias direções, determinando-se os eixos de maior e menor anisotropia (BATISTA, 2002).

#### **4.2 Interpolação de Dados**

Segundo Zimback (2003), na confecção de mapas interpolados denominados de isolinhas ou isovalores que mostram a variabilidade dos dados em estudo, necessários para a entrada de dados em Sistemas de Informação Geográfica, até o presente momento, não se tem limites de confiança com relação aos valores estimados, mesmo nos Sistemas de Informação Geográfica mais complexos e completos (LOURENÇO, 1998).

Segundo Zimback (2003), a geoestatística oferece uma ampla e flexível variedade de ferramentas que fornecem estimativas para locais não amostrados.

A krigagem é um método de interpolação para processos espaciais aleatórios, estima a ocorrência de um processo estocástico a partir de observações do mesmo em outros locais (MONTEBELLER, 2005). E segundo Rossi et al. (1994), pode ser usada em variáveis discretas e contínuas e é, por isso, sensível para a estimação de variáveis binárias na presença ou ausência da característica estudada. Fornecendo assim estimativa para um local específico. Frequentemente, os métodos tradicionais podem ser tão acurados, mas consomem muito mais tempo do que a Krigagem (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

Landim (1998) descreve a Krigagem como uma série de técnicas de análise de regressão que procura minimizar a variância estimada, a partir de um modelo prévio, que leva em conta a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço. As formas mais usuais de Krigagem linear são: simples, ordinária, universal e intrínseca. As krigagens não-lineares utilizam alguma transformação não-linear dos dados originais e são: lognormal, multigaussiana, indicativa, probabilística e disjuntiva (LANDIM, 1998).

### 4.3 A geoestatística e a distribuição espacial dos nematóides

Uma maneira de solucionar problemas relacionados à avaliação da variabilidade espacial do solo seria a adoção de métodos geoestatísticos (DEUTSCH; JOURNAL, 1998). Análise geoestatística tem sido usada para descrever dependência espacial de nematóides parasitos em campo de cultivo (WALLACE; HAWKINS, 1994). O monitoramento das populações de nematóides pelo levantamento georreferenciado dá suporte a um estudo detalhado do problema em uma propriedade, permitindo uma melhor visualização da ocorrência e distribuição espaço-temporal desses patógenos e a influência dos fatores de manejo. Sendo assim, pode-se ter elementos para um diagnóstico mais aproximado para a tomada de decisão.

Conhecer a origem dos problemas fitossanitários e o comportamento deles ao longo da safra resulta, não só, na aplicação de técnicas “curativas” no momento certo, mas um melhor planejamento para a próxima safra, aplicando-se técnicas que visem prevenir o problema (ROGGIA, 2009). Além do mais o conhecimento sobre a distribuição espacial das infestações por nematóides, poderá direcionar, as técnicas de controle apenas nas áreas onde os níveis populacionais excedem o nível de tolerância (SILVA et al., 2000),

Análise geoestatística, foi usada por Farias et al (2002), para avaliar a presença de *Rotylenchulus reniformis* em culturas de algodão no Brasil, uma vez que estes nematoides reduzem significativamente a produção de algodão. Através de “krigagem” ordinária, foi possível gerar mapas, o qual demonstrou áreas de maior ocorrência destas espécies para a área estudada, servindo como uma estratégia de manejo.

Por meio da geoestatística, Pinheiro et al. (2008), relacionaram fertilidade do solo com a distribuição espacial do nematóide do cisto da soja, *H. glycines*, que constituiu aspecto de inquestionável importância, como ferramenta de apoio às decisões para o manejo de populações desses patógenos.

O uso da geoestatística é viável para avaliar a distribuição espacial de nematóides parasitos de planta em cana-de-açúcar e para definir planos de amostragem visando implementação no programa de manejo integrado (DINARDO-MIRANDA E FRACASSO, 2009). Segundo Matos (2010), uma das vantagens da metodologia de análise geoestatística, inclui a possibilidade de quantificar a magnitude e o grau de dependência espacial das epidemias, bem como visualizar a evolução espacial no tempo.

Desta forma, a avaliação da variabilidade espacial desses patógenos é uma importante ferramenta na determinação de estratégias de manejo do solo que procuram aumentar a produtividade agrícola. Dentro das novas tecnologias com potencial a ser usado no manejo de pragas, a agricultura de precisão, através do georreferenciamento das populações, é uma ferramenta que pode ser usada tanto no monitoramento quanto no controle de pragas (ROGGIA, 2009).

O presente estudo teve como objetivos: i) caracterizar a estrutura e a dependência espacial de nematóides (*Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus zae*) na Mata Norte de Pernambuco em três períodos: 30 dias antes do corte da cana-de-açúcar; 10 dias após o corte (30 dias antes da aplicação da vinhaça) e 50 dias após do corte da cana (10 dias após aplicação da vinhaça) e ii) caracterizar a estrutura e a magnitude da dependência espacial desses nematóides e dos atributos químicos do solo e suas correlações, na Mata Norte de Pernambuco, 30 dias antes do corte da cana-de-açúcar.

## REFERÊNCIAS

- BATISTA, I. F. **Variabilidade Espacial da Umidade do Solo em Irrigação por Gotejamento sob Cultivo Protegido**. 2002, 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônomicas)-Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – São Paulo, 2002.
- BARROS, A. C. B.; MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. R. Aplicação de terbufós no controle de *Meloidogyne incognita* raça 1 e *Pratylenchus zaei* em cinco variedades de cana-de-açúcar no Nordeste. Parte 1 - Efeitos na cana planta. **Nematologia Brasileira**, Brasília v. 24, p. 73-78, 2000.
- BARROS, A.C. B.; MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. R. Estudo de interação variedade-nematicida em cana-de-açúcar, em solo naturalmente infestado por *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *Pratylenchus zaei*. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 29, p. 39-46, 2005.
- BRAGA, L. P. V. **Geoestatística e aplicações**. Rio de Janeiro: Depto. de Métodos Estatísticos, UFRJ, 1990. 36 p.
- BRIDGE, J. Plant-parasitic nematode problems in the Pacific Island. **Journal of Nematology**, Kansas, v. 20, p.173-183. 1988.
- BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, p.52-56, 2005.
- BROWN, R. H.; KERRY, B. R. **Principles and practice of nematode control in crop**. Orlando: Academic Press Inc., 1987. 421 p.
- CALHEIROS, R. O. **Reuso da água na indústria canavieira (Vinhaça)**, 2010. Disponível em: <<http://artedeproduziragua.com.br/10.htm>>. Acesso em: 12 abr. 2010.
- CARDOSO, M. O. **Relações entre a nematofauna e o grau de compactação do solo em área cultivada com cana-de-açúcar e em remanescente de floresta atlântica**. 2010, 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.
- CARTER, C.; SASSER, J. N. **Research on integrated crop protection systems with emphasis on the root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) affecting economic food crops in developing nations**. Raleigh: International *Meloidogyne* Project. 1983. 05p.

CORBANI, R. Z. **Potencial do controle biológico de *Tylenchulus semipenetrans* com fungos nematófagos**. 2002, 44 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) – UNESP/FCAV, Jaboticabal, 2002.

CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento. Brasil:Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, 2º levantamento, 2010. Disponível em:  
<[www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/2\\_levantamento2010\\_agost2010.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/2_levantamento2010_agost2010.pdf).  
>Acesso em: 02 ago. 2010.

CRESSIE, N. The origins of kriging. **Mathematical Geology**, Belgium, v. 22, p. 239-252, 1990.

DEUTSCH, C.V.; JOURNEL, A.G. GSLIB. **Geostatistical software library and user's guide**. New York: Oxford University, 1998. CD-ROM.

DINARDO-MIRANDA L. L. **Nematóides e pragas de solo em cana-de-açúcar**. Ribeirão Preto:Instituto Agrônômico de Campinas , 2005. (Boletim Técnico, 110)

DINARDO-MIRANDA, L. L. Manejo de nematóides na cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Eds.). **Atualização em produção de Cana-de-Açúcar**. Piracicaba: Divisão de Biblioteca e Documentação-ESALQ/USP, 2006. p. 281-292.

ENGLUND, E.; SPARKS, A. **Geo-EAS - Geostatistical Enviromental Assessment Software: software de análise geoestatística (software)**. Las Vegas: Environmental Protection Agency, 1988. v. 1, 100 p.

FARIA, V. P. O uso da cana de açúcar para bovinos no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 5., 1993, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 1-16.

FARIAS, P. R. S.; SÁNCHEZ-VILA, X .; BARBOSA, J. C. ; VIEIRA, S. R. ; FERRAZ, L. C. C. B.; SOLÍS-DELFIN, J. Using Geostatistical Analysis to Evaluate the Presence of *Rotylenchulus reniformis* in Cotton Crops in Brazil: Economic Implications. **Journal of Nematology**, v. 34, 2002.

FERREIRA, E. S.; MONTEIRO, A. O. **Efeitos de aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo**. São Paulo: COPERSUCAR, 1987. 07 p. (Boletim Técnico, 36).

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 203p.

FREITAS JUNIOR, G.; CHIARATTI, V. L.; GALLO, Z.; RIBEIRO, M. L. **Benefícios da fertilização do uso da vinhaça no cultivo da cana-de-açúcar no município de São Roque do Canaã-ES** São Paulo; Escola Agrotécnica Federal de Santa Teresa, 2007. CD-ROM.

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística operacional**. Brasília, MME/DNPM, 1988. 145p.

GIACHINI, C. F.; FERRAZ, M. V. **Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-de-açúcar**. Revista Científica Eletrônica de Agronomia -Garça, v. 07, 2009. Disponível em: <<http://www.revista.inf.br/agro15/revisao/REVLIT01.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2010.

HUSSEY, R. S. Host parasite relationships and associated physiological changes. In: SASSER, J. N.; CARTER, C. C. (Eds.). An advanced treatise on meloidogyne: **Biology and Control**. Raleigh: North Carolina State University Graphics 1985. , v. 1, p. 143-153.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, M. **An introduction to applied geostatistics**. Oxford New York: University Press, 1989. 600 p.

JOURNAL, A. C.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic, 1978. 600 p.

KAPLAN, M.; NOE, J. P.; HARTEL, P. G. The role of microbes associated with chicken litter in the suppression of *Meloidogyne arenaria*. **Journal of Nematology**, Gainesville, v. 24, p. 522-527, 1992.

KIMPINSKI, J.; STURZ, A. V. Managing crop root zone ecosystems for prevention of harmful and encouragement of beneficial nematodes. **Soil Till Resources**, v. 72, p. 213-221, 2003.

KRIGE, D. A Statistical Approach to some mine valuation and allied problems on Witwatersrand, **The journal of the Chemical, Metallurgical & Mining Society of South Africa**, v. 52, p. 119-139, 1951.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: UNESP, 1998. 226 p.

LAZZERI, L.; LEONI, O.; MANICI, L. M. Biocidal plant dried pellets for biofumigation. **Industrial Crops and Products**. v. 20, p. 59-65, 2004.



LEITE, G. F. Avaliação econômica da adubação com vinhaça e da adubação mineral de soqueiras de cana-de-açúcar na usina Monte Alegre. **Revista da Universidade de Alfenas**, Alfenas, v. 5, p. 189-181, 1999.

LIMA, I. T. **Efeitos da aplicação da vinhaça sobre a microflora do solo**. 1980, 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1980.

LORDELLO, L. G. E. **Nematóides das plantas cultivadas**. 6. ed. São Paulo: Nobel, 1981. 314 p.

LOPES, E. S.; PERON, S. C.; PORTUGAL, E. P.; FREITAS, S. S. Atividade respiratória de solo tratado com vinhaça e herbicida. **Bragantia**, Campina, v. 45, p. 205-210, 1986.

LUCCHESI, A.A. Cana-de-açúcar. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de culturas extrativistas: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendazeiro e oliveira**. Cosmópolis: Stoller do Brasil. 2001. v.1, p.13-45.

McBRATNEY, A. B.; HART, G. A.; McGARRY, D. The use of region partitioning to improve the representation of geostatistically mapped soil attributes. **Journal Soil Science**, Madison, v. 42, p. 513-532, 1991.

MANHÃE, M. S.; SOUZA, D.; BERTO, P. N. A. Acúmulo de potássio em solos de áreas canavieiras fertirrigadas no norte fluminense. **Agronomia**, v.37, p. 64 - 68, 2003.

MARANHÃO, S. R. V. L., **Comunidade, dinâmica populacional e variabilidade espacial de nematóides em área de cultivo da cana-de-açúcar sob diferentes condições edafoclimáticas**. 2008, 126 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v. 58, p.1246-1266, 1963.

MARTINELLI, P. R. P. **Estudo do controle biológico dos nematóides dos citros no estado de São Paulo**. 2008, 131 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – UNESP/FCAV, Jaboticabal, 2008.

MATOS, D. S. S. **Amostragem e efeito da vinhaça sobre a distribuição de nematóides associados a cana-de-açúcar em áreas de encostas e tabuleiro da mata norte de Pernambuco**. 2010, 90 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

- MONTEBELLER, C. A. **Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no estado do Rio de Janeiro**. 2005, 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.
- MOURA, R. M.; RÉGIS, E. M.; MOURA, A. M. Espécies e raças de *Meloidogyne* assinaladas em cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 14, p. 33-38. 1990.
- MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. R.; MARANHÃO, S. R. V. L.; MACEDO, M. E. A.; MOURA, A. M.; SILVA, E. G.; LIMA, R. F. Ocorrência dos nematóides *Pratylenchus zaeae* e *Meloidogyne* spp. em cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 25, p. 101-103, 2000.
- MOURA, R. M. Controle integrado dos nematóides da cana-de-açúcar no nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 22., 2000. Uberlândia. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2000. p. 88-94.
- NOVARETTI, W. R. T.; TÉRAN, F. O. Controle de nematóides parasitos da cana-de-açúcar. In: REUNIÃO TÉCNICA AGRONÔMICA, 1983. Piracicaba. **Anais...** São Paulo: Copersucar, 1983. p. 16-24.
- NOVARETTI, W. R. T.; MONTEIRO, A. R.; FERRAZ, L. C. C. B. Controle químico de *Meloidogyne incognita* e *Pratylenchus zaeae* em cana-de-açúcar com carbofuran e terbufos. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 60-74. 1998.
- NUNES JÚNIOR, D. **Efeitos da elevada deposição de vinhaça sobre variedades de cana-de-açúcar**. São Paulo: COPERSUCAR, 1987. p. 38-44. (Boletim Técnico, 37).
- NUNES, H. T. **Agentes microbianos no controle de nematóides e fungos fitopatogênicos de soja e sua compatibilidade com agroquímicos**. 2008, 77 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.
- OLIVEIRA, F. S.; ROCHA M. R.; REIS, A. J. S.; MACHADO, V. O. F.; SOARES, R. A. B. Efeito de produtos químicos e naturais sobre a população de nematóide *Pratylenchus brachyurus* na cultura da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, p. 171-178, 2005.
- PEDROSA, E.M.R.; ALBUQUERQUE, P.H.S.; CUNHA, A.C.; ROLIM, M.M. Supressividade de nematóides em cana-de-açúcar por adição de vinhaça ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, Suplemento, p.197-201, 2005.

PINHEIRO, J. B.; POZZA, E. A.; POZZA, A. 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, p. 270-278, 2008.

PIRES, R. A. P.; FERREIRA, O. M. **Utilização da Vinhaça na Bio-Fertirrigação da Cultura da Cana-de-Açúcar: Estudo de Caso em Goiás**. Goiânia: Universidade Católica de Goiás, 2008. Disponível em:  
<<http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/arquivosupload/36/file/utiliza%20a%20vinha%20na%20bio-fertirriga%20da%20cultura%20da%20cana-de-a%20ucar.pdf>>.  
Acesso em: 10 mai de 2010.

RODRIGUES, C. V. M. A. **Distribuição vertical da nematofauna associada ao cultivo da cana-de-açúcar em área de várzea**. 2010, 54 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

RODRÍGUEZ-KABANA, R.; MORGAN-JONES, G.; CHET, I. Biological control of nematodes soil amendments and microbial antagonists. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.100, p.237-247, 1987.

ROGGIA, R. C. R. K. **Distribuição espacial e temporal de percevejos da soja e comportamento de *Piezodorus guildinii* (Westwood, 1837) (Hemiptera: Pentatomidae) na soja (*Glycine max* (L.) Merrill) ao longo do dia**. 2009, 128 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2009.

ROSSI, R. E.; DUNGAN, J. L.; BECK, L. R. Kriging in the shadows: geostatistical interpolation for remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, United States, v. 49, p. 32-40, 1994.

ROSSI, C. E.; LIMA, C. B. Controle alternativo de nematóides em cultura orgânica de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Agroecologia**, Porto Alegre, v. 2, 2007.

SANTOS, R. V.; EVANGELISTA, A. R.; PINTO, J. C.; COUTO FILHO, C. C. C.; SOUZA, R. M. Composição química da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e das silagens com diferentes aditivos em duas idades de corte. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, p. 1184-1189, 2006.

SASSER, J. N.; FRECKMAN, D. W. A world perspective on nematology: the role of the society. In: VEECH, J. A.; DICKSON, D. W. (Ed.). **Vistas on nematology**. Hyattsville: Society of Nematologists, 1987. p.7-14.

SENGIK, E.; RIBEIRO, A. C.; CONDE, A. R. Efeito da vinhaça em algumas propriedades de amostras de dois solos de viçosa (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, p.11-15, 1988.

SILVA, E. A.; GARCIA, A.; MONICO, J. F. G.; SILVA, J. F. V. Agricultura de precisão e o potencial de tecnologias inovadoras no manejo integrado de fitonematóides. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 22., 2000, Uberlândia. **Proceedings...** Brasília: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2000. p. 19-27.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.11, p. 108–114, 2007.

SILVA, A. R.; MARTINELLI, P. R. P. **Cultura da batata x *Meloidogyne* spp.: uso de uma formulação com fungos nematófagos para o controle biológico de nematóides**, 2010. Disponível em: <[http://www.abbabatatabrasileira.com.br/images/pdf/RELATORIO\\_cont% 20bio1\\_siteABBA.pdf](http://www.abbabatatabrasileira.com.br/images/pdf/RELATORIO_cont%20bio1_siteABBA.pdf)>. Acesso em: 12 Agos. 2010.

SPAULL, V.W.; P. CADET. Nematode parasites of sugarcane. In: LUC, M.; SIKORA , R.A.; BRIDEE, J. (Eds.). **Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture**. Nova York: C.A.B. International Institute of Parasitology, 1990. p. 461-491.

STEIN, A.; HOOGERWERF, M.; BOUMA, J. Use of soil map delineations to improve (co)kriging of point data on moisture deficits. **Geoderma**, v. 43, p. 163-177, 1988.

THIAGO, L. R. L. DE S.; VIEIRA, J. M. **Cana-de-Açúcar: Uma alternativa de alimento para a seca**. Campo Grande: EMBRAPA Gado de Corte, 2002. 12 p. (Comunicado técnico, 73).

VIEIRA, S.R. **Curso de atualização em conservação do solo: uso de geoestatística**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1995.

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

WALLACE, M. K.; HAWKINS, D. M. Applications of geostatistics in plant nematology. **Journal of Nematology**, Hanover, v. 26, p. 626-634, 1994.

ZIMBACK, C. R. L. **Elementos da geoestatística:** grupo de estudos e pesquisas agrárias georreferenciadas. Botucatu: FCA/UNESP, 2003. v . , 25 p.

## **CAPÍTULO 2**

---

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE *Meloidogyne* spp. E *Pratylenchus zea* SOB MANEJO  
DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE *Meloidogyne* spp. E *Pratylenchus zae* SOB MANEJO  
DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Patrícia Ângelo de Barros<sup>1</sup>, Elvira M. R. Pedrosa<sup>1\*</sup>, Abelardo A. A. Montenegro<sup>1\*</sup>, Mário Monteiro Rolim<sup>1</sup>, LÍlian Margarete Paes Guimarães<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, CEP 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, e-mail: elvira.pedrosa@dtr.ufrpe.br

\*  
Bolsista de Produtividade CNPq

**RESUMO:** As operações de colheita da cana-de-açúcar e a fertirrigação com vinhaça afetam a diversidade e distribuição da biota do solo. Por outro lado, em sistemas agrícolas a presença de altas populações de fitonematóides é indicação de ecossistema frágil. Considerando que existem poucos trabalhos sobre a biodinâmica decorrente do manejo de agroecossistemas, o presente estudo teve como objetivo caracterizar a estrutura e a dependência espacial de nematóides (*Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus zae*) na Mata Norte de Pernambuco em três períodos: 30 dias antes do corte da cana-de-açúcar; 10 dias após o corte (30 dias antes da aplicação da vinhaça) e 50 dias após do corte da cana (10 dias após aplicação da vinhaça). Utilizou-se sistema de amostragem em malha regular de 60×50 m, com espaçamento de 10 m, coletando amostras na profundidade de 0-0,5 m. A distribuição espacial dos nematóides foi avaliada por meio de ajustes de semivariogramas e realizada interpolação por krigagem ordinária para mapeamento das populações encontradas nos períodos amostrados. O modelo esférico foi o que melhor se ajustou aos semivariogramas dos dados, obtendo-se alcances variando de 12 a 17 m. Os mapas permitiram visualizar o padrão de variabilidade dos nematóides constituindo-se em uma útil ferramenta para a definição de estratégias de manejo e recuperação de áreas infestadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manejo de agroecossistema, geoestatística, uso de resíduo

**SPATIAL VARIABILITY OF *Meloidogyne* spp. AND *Pratylenchus zae* UNDER  
SUGARCANE MANAGEMENT**

**ABSTRACT:** The sugarcane harvest operations and vinasse application affect diversity and soil biota distribution. On the other hand, high populations of plant parasitic nematodes present additional indication of poor ecosystem health. Considering there is little information on biodynamic under agroecosystem management, this study aimed to characterize the structure and spatial dependence of nematodes (*Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus zae*) in North Mata of Pernambuco, for three periods: 30 days before the sugarcane cut, 10 days after cutting (30 days before stillage application) and 50 days after cutting (10 days after stillage application). It was used a regular sampling design in 60×50 m-grid, with spacing of 10 m, collecting samples at 0-0.5 m-depth. The spatial distribution of nematodes was evaluated using semivariograms and ordinary kriging for mapping nematode density in the sampling periods. The spherical model fitted best to the semivariograms, presenting ranges from 12 to 17. The maps allowed visualizing the nematode variability pattern constituting a useful tool for defining management strategies and recovery of infested areas.

**KEYWORDS:** Agroecosystem management, geostatistics, residue use



## INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com as mudanças climáticas vem alterando a produção agrícola mundial. Calcula-se que os prejuízos econômicos por conta da elevação das temperaturas chegariam a R\$ 7,4 bilhões de reais em 2020 e subiriam para R\$ 14 bilhões em 2070, o que provocaria também mudanças no mapa da agricultura brasileira. Apesar dos problemas decorrentes do aquecimento global, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) seria pouco prejudicada, pois é uma cultura tropical, cuja melhor adaptação ocorre numa faixa de 19 a 30°C. Em 2020 a área cultivada com essa gramínea passaria dos atuais 6 milhões para 17 milhões de hectares. Áreas do sul do Brasil, hoje com restrições para o cultivo, podem se transformar em regiões de potencial produtivo entre 10 e 20 anos (SAFRAS, 2009), fortalecendo a posição do país ainda como maior produtor mundial da cultura (FAO, 2010).

Cultivada como monocultura contínua, a cana-de-açúcar está presente em diferentes regiões do Brasil tendo como indicadores de desequilíbrio desse agroecossistema a presença de nematóides fitoparasitos limitando a produtividade. A renovação dos campos de cultivo, quase sempre ocorrendo sem pousio entre remoção de soqueiras velhas e replantio, favorece o aumento de populações de fitonematóides, contribuindo para agravar o problema (ROSSI; LIMA, 2007).

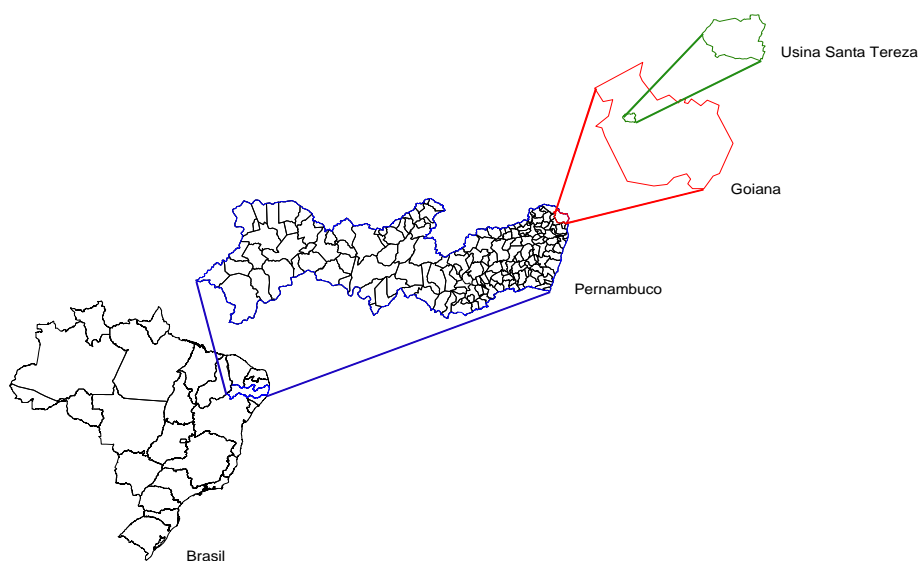
Dentre algumas espécies documentadas que parasitam a cana-de-açúcar brasileira se encontram *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood, *M. incognita* (Kofoid & White), e *Pratylenchus zaei* Graham (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2009). Essas espécies causam prejuízos de produtividade da ordem de 20 e 40% no primeiro corte de variedades susceptíveis, reduzindo também a longevidade da cana-soca (DINARDO-MIRANDA, 2006). Os danos variam em função do nível populacional da espécie de nematóide envolvida, do tipo de solo e da variedade cultivada (DINARDO-MIRANDA et al., 2000; MOURA et al., 1990).

Vários estudos foram realizados a fim de avaliar a eficácia dos métodos de controle de fitonematóides, a exemplo do uso de nematicidas (DINARDO-MIRANDA; GARCIA, 2002; SILVA et al., 2006; DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2009), variedades resistentes (DINARDO-MIRANDA et al., 1996; 2003b; GARCIA et al., 1997), rotação de cultura (ROSA et al., 2003; DINARDO-MIRANDA; GIL, 2005) e matéria orgânica (DINARDO-MIRANDA et al., 2003a). No entanto, poucos estudos relatam a distribuição espacial de nematóides em cultivo de cana-de-açúcar. Estes dados são indispensáveis para o desenvolvimento de planos de amostragem, visando sua aplicação em programas de manejo integrado (GILES et al., 2000).

A distribuição espacial de nematóides no campo é frequentemente descrita como agregada (FERRIS; WILSON, 1987), o que significa que há dependência espacial entre as populações nos pontos amostrados. Dessa forma, a geoestatística é a ferramenta mais adequada para o estudo destas populações, uma vez que quantifica a dependência espacial entre as amostras, permitindo a construção de mapas (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2009). De acordo com Rossi et al. (1996), a análise da variabilidade espacial da comunidade de nematóides é útil para a compreensão da ecologia das espécies encontradas e da dinâmica populacional da nematofauna em relação ao seu habitat e recursos alimentares. Dessa forma, objetivou-se com o presente estudo caracterizar a estrutura e a magnitude da dependência espacial dos nematóides *Meloidogyne* spp. + *P. zae*, e mapear as densidades populacionais desses parasitos, em três períodos de cultivo da cana-de-açúcar, em tabuleiro costeiro da Mata Norte de Pernambuco.

## MATERIAL E MÉTODOS

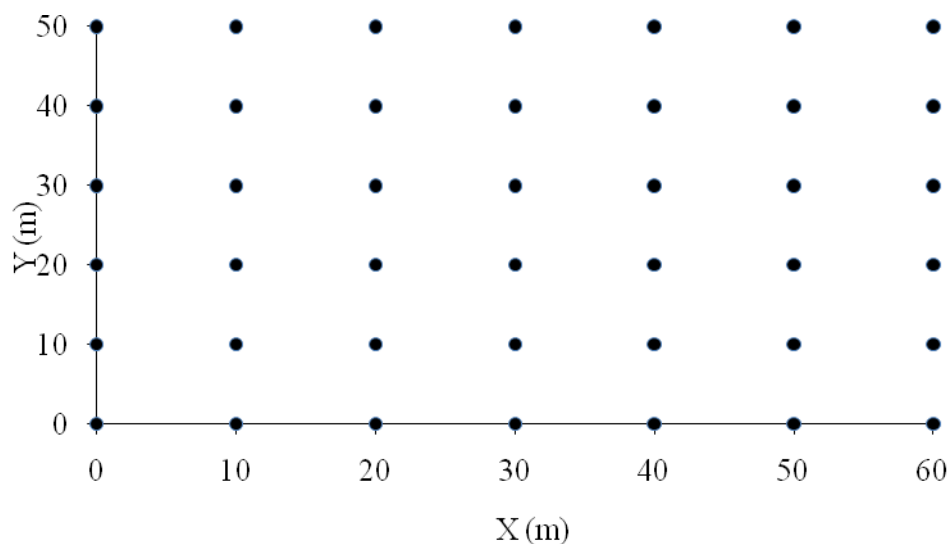
O estudo foi realizado na Usina Santa Tereza, localizada na bacia do rio Goiana, no município de Goiana, situado na microrregião da Mata Setentrional do estado de Pernambuco, nas coordenadas 7°33'38'' de latitude Sul e 35°00'09'' de longitude Oeste (Figura 1). O clima local foi classificado de acordo com o sistema de Koppen (1948) tropical chuvoso tipo As' ou "pseudotropical", que se caracteriza por ser quente e úmido com chuvas que se concentram entre os meses de março a agosto com temperaturas médias anuais variando em torno de 24°C, durante esse período (os menos quentes do ano), com amplitude térmica anual bastante fraca (cerca de 3°C), com isoietas que variam de 1932,3 a 975,6 mm anuais. A área experimental tem sido manejada sob sistema de plantio convencional há mais de 20 anos, sempre com cana-de-açúcar.



**Figura 1.** Localização da Usina Santa Tereza no município de Goiana-PE.

As avaliações foram efetuadas, em tabuleiro, em uma mesma área, em três períodos do cultivo da cana-de-açúcar: Período A - 30 dias antes do corte da cana; Período B - 10 dias após o corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça); Período C - 50 dias após o

corte da cana (dez dias após a aplicação da vinhaça). As amostras de solo foram coletadas em 42 pontos georeferenciados, com espaçamento de 10 m entre os pontos, formando uma malha de 60 x 50 m, constituída de seis ruas e sete pontos em cada rua (Figura 2). Verticalmente, em cada ponto, foi aberta uma trincheira e coletadas amostras de solo na profundidade de 0-0,5 m, totalizando 126 amostras de solo, referentes aos períodos analisados.



**Figura 2.** Croqui do *grid* de amostragem.

As amostras de solo foram obtidas com auxílio de um trado de amostras indeformadas, com cilindros de aço inoxidável, com 0,050 m de diâmetro e 0,0265 m de altura e 0,5 m<sup>3</sup>. Cada amostra foi acondicionada em recipiente plástico e encaminhada para o Laboratório de Mecânica dos Solos e Aproveitamento de Resíduos da UFRPE, para as análises físicas e para o laboratório de fitonematologia para as análises nematológicas.

Para as análises físicas, as amostras de solo foram preparadas e pesadas para obtenção do conteúdo de água (g) e depois levadas à estufa a 105 °C por 48 h para obtenção da massa

seca (g). A densidade do solo foi determinada conforme (BLAKE; HARTGE, 1986). A umidade gravimétrica foi determinada em cada amostra por meio da relação entre massa de água e massa de solo seco de cada amostra. A porosidade total do solo foi calculada considerando o volume de água (densidade = 1,0 Mg m<sup>-3</sup>) contida nas amostras quando saturadas, uma vez que este é o mesmo volume que o volume de poros da amostra. As diferentes classes texturais foram determinadas após dispersão da amostra em solução de 1 N de NaOH em água e separação das diferentes classes granulométricas pelo método de pipeta. A caracterização física do solo encontra-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização física do solo, dos três períodos do cultivo da cana-de-açúcar em áreas de tabuleiro.

Período	Composição Granulométrica (%)				Ds (Kg.dm <sup>-3</sup> )	Dp (Kg.dm <sup>-3</sup> )	P (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )	U (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )
	Areia	Argila	Silte	Classificação Textural				
A	93,09	4,79	2,11	Areia	1,62	2,66	0,40	0,07
B	93,09	4,79	2,11	Areia	1,53	2,66	0,42	0,04
C	93,09	4,79	2,11	Areia	1,41	2,66	0,47	0,12

Ds = Densidade do solo; Dp = Densidade de partículas; P = Porosidade ; U = Umidade. Período A - 30 dias antes do corte da cana; Período B - 10 dias após o corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça); Período C - 50 dias após o corte da cana (dez dias após a aplicação da vinhaça).

Para as análises nematológicas, as amostras foram homogeneizadas e processadas para extração, a partir de 300 cm<sup>3</sup> de solo, utilizando-se o método da flotação centrífuga (JENKINS, 1964). As suspensões de fitonematóides obtidas foram mantidas sob refrigeração (4-6°C), realizando-se a identificação genérica (MAI et al., 1996) e contagem dos espécimes (*Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus zaeae*) em lâminas de Peters, sob microscópio óptico. Os resultados foram computados em número de espécimes por 300 cm<sup>3</sup> de solo.

Com o objetivo de verificar o comportamento dos dados, foi realizada análise estatística descritiva, por meio da avaliação de medidas de tendência central e dispersão e a aderência à distribuição normal, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov, em níveis de 1 e 5% de significância. Os dados discrepantes foram eliminados com base no critério de Hoaglin et al. (1983) que consideram discrepantes aqueles dados abaixo do limite inferior (Li) ou acima do limite superior (Ls) respectivamente, estimados por:  $Li = Qi - 1,5Ai$  e  $Ls = Qs + 1,5Ai$ , sendo Qi e Qs os quartis inferior e superior, respectivamente, e Ai a amplitude interquartilica (SOUZA et al., 2000). Foi adotada a classificação de Warrick e Nielsen (1980) para os atributos analisados, onde a variabilidade é classificada como baixa ( $CV < 12\%$ ), média ( $12 \leq CV \leq 62\%$ ) e alta ( $CV > 62\%$ ).

Para análise geoestatística, utilizou-se a ferramenta geoestatística GEO-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) (ENGLUND; SPARKS, 1991), adotando-se o estimador clássico da semivariância (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978), em que  $\gamma$  é o valor da semivariância estimada a partir dos dados experimentais,  $N(h)$  é o número de pares de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i+h)$  separadas por distâncias  $h$  (LANDIM, 1998).

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

Os parâmetros do semivariograma teórico foram representados nos gráficos definidos através do alcance (a), patamar (C) e efeito pepita ( $C_0$ ), ajustados de modo a minimizar os erros quadráticos médios. Os ajustes dos modelos foram escolhidos em função dos parâmetros dos semivariogramas, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e autovalidação ('Jack-Knifing'), nesta técnica, em que cada um dos valores medidos é interpolado pelo método da krigagem eliminam-se, sucessivamente, os valores medidos, os quais são substituídos pelas estimativas calculando-se, em seguida, a distribuição dos erros padronizados (MONTENEGRO; MONTENEGRO, 2006).

Com o ajuste dos modelos teóricos e a definição dos coeficientes para os semivariogramas, utilizou-se do método de estimativa de valores de atributos distribuídos no espaço a partir de valores adjacentes, conhecido como krigagem ordinária, que se trata de método de estimativa por médias móveis (LANDIM, 1998). Os valores obtidos pela krigagem são não viciados e têm variância mínima (VIEIRA et al., 1983), sendo ideais para a construção de mapas de contorno ou tridimensionais para verificação e interpretação da variabilidade espacial.

Na elaboração dos mapas de distribuição espacial das variáveis, foi utilizado o programa Surfer Software (Golden Software, 1999), com base nos valores estimados por krigagem, realizada com o programa GEO-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software). A análise do grau de dependência espacial dos atributos foi realizada segundo Cambardella et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita menor ou igual 25% do patamar, moderada entre 25% e 75%, e fraca quando for maior que 75%.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Tabela 2 apresenta as medidas estatísticas das densidades populacionais dos nematóides *Meloidogyne spp.* + *P. zaei*, referentes aos períodos A, B e C, respectivamente. Observa-se, que os valores das médias e medianas dos nematóides nos períodos A e C são aproximadamente iguais, enquanto para B verificam-se elevadas diferenças entre essas medidas. A proximidade desses valores é um indicativo de possíveis ajustes dos dados desta variável à distribuição Normal. A normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, é conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, as quais são baseadas nos valores médios (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

A aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) a 1% e 5% de probabilidade confirmou esta hipótese, indicando que os dados dos nematóides nos períodos A, B e C podem ser considerados provenientes de uma população com distribuição normal. A análise conjunta dos valores das médias, medianas, coeficientes de assimetria, curtose e o uso do teste KS evidencia a normalidade dos dados analisados (COSTA NETO, 1997).

**Tabela 2.** Resumo estatístico das densidades populacionais dos nematóides (*Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus zae*) nos períodos amostrados.

Estatístico	Período		
	A	B	C
Média	189,80	244,23	179,92
Mediana	180,00	144,50	179,00
Mínimo	0	0	0
Máximo	480	806	404
Coefficiente de Variação (%)	66	105	61
Desvio padrão	125,805	256,198	110,412
Assimetria	0,485	1,028	0,252
Curtose	-0,574	-0,161	-0,813
Teste KS (5%)	0,212	0,215	0,224
Teste KS (1%)	0,255	0,258	0,268

Período A - 30 dias antes do corte da cana; Período B - 10 dias após o corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça); Período C - 50 dias após o corte da cana (dez dias após a aplicação da vinhaça). KS = Kolmogorov-Smirnov a 1% e 5% de probabilidade.

De acordo com Warrick e Nielsen (1980), verifica-se média variação (CV de 61%) para o período C, mas elevada para os períodos A (CV de 66%) e B (CV de 105%), indicando haver muita variabilidade na área quanto às populações dos nematóides. Com base nas semivariâncias experimentais obtidas (Tabela 3) ajustou-se o modelo esférico para todas as variáveis analisadas. Considerando os semivariogramas obtidos, trata-se de modelos isotrópicos, onde um único modelo foi suficiente para descrever a variabilidade espacial dos nematóides em estudo (LUNDGREN, 2004). Os semivariogramas atingiram um patamar



dentro de cada período de avaliação, correspondente ao seu alcance, de forma a satisfazer as suposições de estacionariedade (LAMPARELLI et al., 2001). Os parâmetros estimados para o modelo esférico ( $C_0$ ,  $C_1$ ,  $a$ ) foram validados pelo teste de Jack knifing, uma vez que os valores de média dos erros reduzidos, estavam próximos de zero e de desvio padrão dos erros reduzidos, próximos de 1 (Tabela 3).

**Tabela 3.** Parâmetros dos semivariogramas isotrópicos experimentais obtidos para os diferentes períodos de amostragem.

Período	Parâmetros dos semivariogramas			GD	Modelo	Validação Cruzada		$R^2$
	$C_0$	$(C_0 + C_1)$	$a$ (m)			Média	Desvio Padrão	
A	9449,4	14898,8	11,93	0,63	Esférico	-0,024	1,008	0,734
B	42985,5	67971	13,89	0,63	Esférico	-0,063	1,075	0,941
C	8552,41	13104,82	16,75	0,65	Esférico	0,043	0,958	0,912

$C_0$  = Efeito pepita,  $(C_0 + C_1)$  = patamar,  $a$  (m) = Alcance, GD = Grau de dependência,  $R^2$  = coeficiente de determinação,  $C_0 / (C_0 + C_1)$  = efeito pepita em relação ao patamar.  $C_0 / C_0 + C_1 \leq 0,25$  = forte dependência espacial;  $0,25 \leq C_0 / C_0 + C_1 \leq 0,75$  = moderada dependência espacial;  $0,75 < C_0 / C_0 + C_1 < 1,00$  = fraca dependência espacial;  $C_0 / C_0 + C_1 = 1,00$  = variável independente espacialmente (efeito pepita puro). Período A - 30 dias antes do corte da cana; Período B - 10 dias após o corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça); Período C - 50 dias após o corte da cana (dez dias após a aplicação da vinhaça).

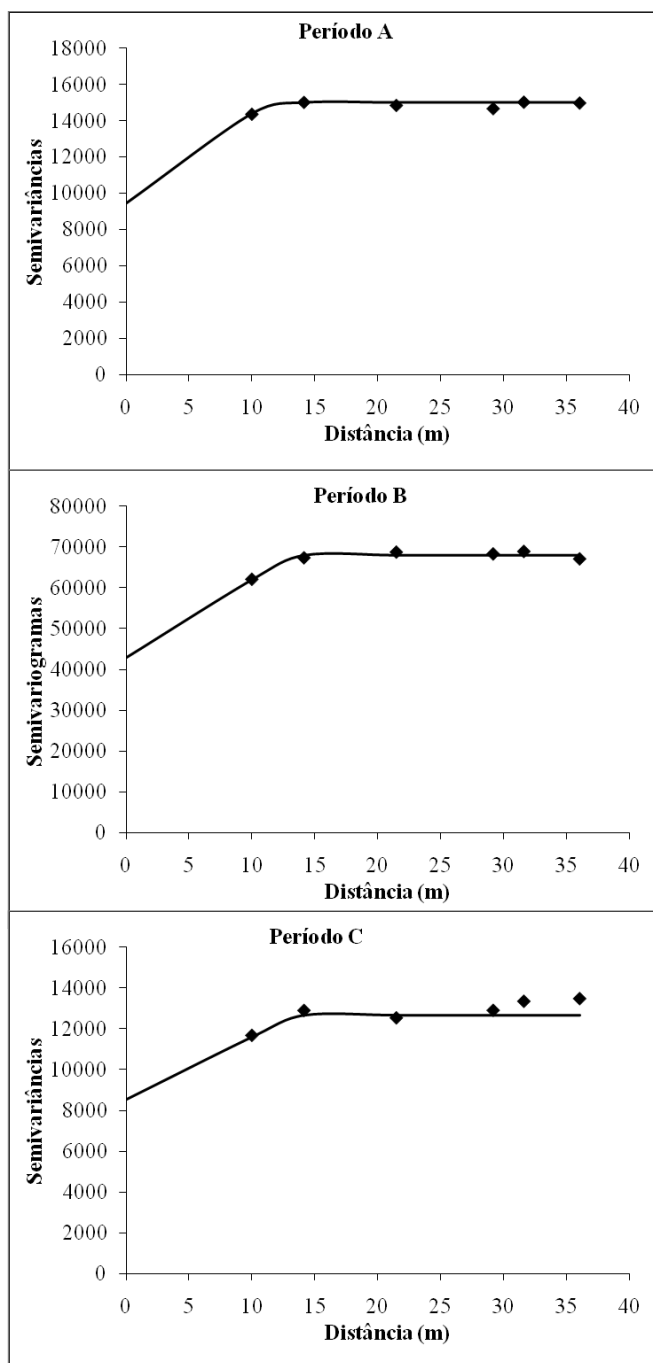
O alcance ( $a$ ) estabelece o limite de dependência espacial entre as amostras, isto é, para distâncias iguais ou menores que o alcance, pode-se dizer que os valores vizinhos de uma variável estão espacialmente correlacionados e podem ser utilizados para estimar valores em qualquer ponto entre eles (REICHARDT, 1985). O patamar ( $C_0 + C_1$ ) é atingido quando a variância espacial dos dados ( $C_1$ ) se torna constante com o aumento da distância entre as amostras (SOUZA et al., 2000). Os valores de alcance obtidos para os nematóides no período A, B e C variaram de 12 a 17 m, respectivamente (Tabela 3). Valores próximos foram encontrado por Maranhão (2008), que ao estudar a distribuição espacial de *Pratylenchus* sp. em cana-de-açúcar observou alcance de até 15,27 m. Farias et al. (2002) encontraram alcance de 15 m para espécie *Rotylenchulus reniformis* (Linford & Oliveira) na

cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). Caswell e Chellemi (1986) encontraram alcance de 10 m ao estudar a distribuição espacial para a mesma espécie em abacaxizeiro (*Ananas comosus* L. Merrill). Portanto, segundo Pinheiro et al. (2008), a estatística clássica pode ser aplicada a partir de amostras coletadas acima destas distâncias, ou seja, o raio de dependência espacial e de domínio da geoestatística para essas variáveis encontra-se nos valores até essas respectivas distâncias (Tabela 1 e Figura 3).

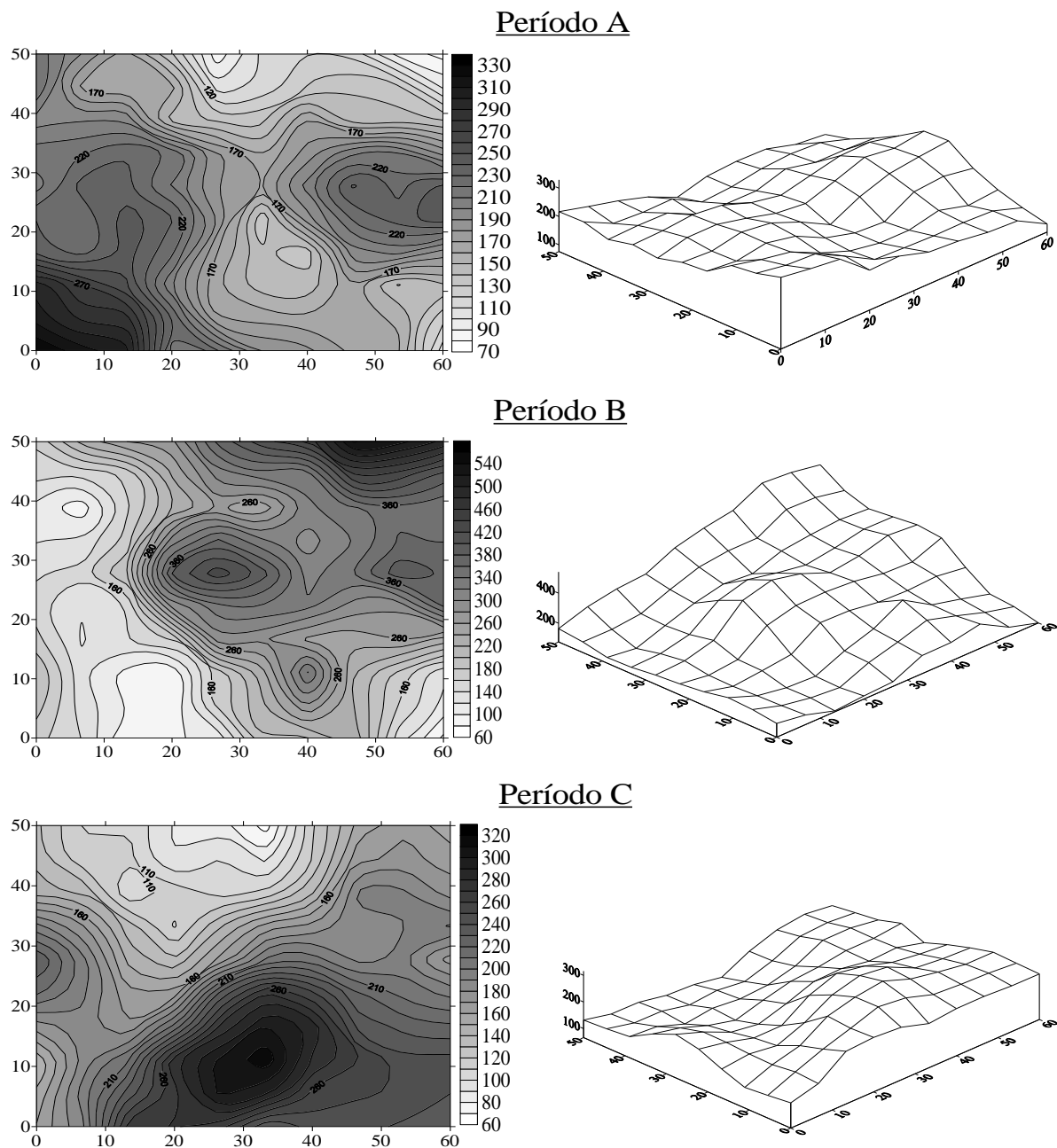
Nos períodos A, B e C, os nematóides apresentaram moderada dependência espacial de acordo com a relação  $C_0/(C_0+C)$ , com 63%, 63% e 65%, respectivamente, de aleatoriedade das amostras (Tabela 3). A moderada dependência espacial dos nematóides nos determinados períodos, pode ser resultado do manejo do solo, refletindo a influência do manejo da cultura, que recebe um tráfego de máquinas pesadas, queima da palha e uso de resíduos, tais como vinhaça. Pedrosa (2005) verificou o efeito adverso da vinhaça sobre a reprodução do nematóide, onde o desenvolvimento e reprodução foram praticamente inibidos devido ao uso de vinhaça, principalmente nas duas maiores dosagens. Desta forma estas variações extrínsecas, devido ao manejo do solo, pode ter ocasionado menores valores de dependência espacial. Resultado semelhante foi obtido por Dinardo-Miranda e Fracasso (2009), ao estudar a distribuição espacial de *P. zea*, *P. brachyurus* (Godfrey) Filipjev & Schuurmans e *M. javanica* em cana-de-açúcar e por Matos (2010) para *Meloidogyne* spp. e *P. zea* na malha de 1×1 m, e para *P. zea* na malha de 50×50 m que observaram dependência espacial moderada para os referidos nematóides.

A Figura 4 apresenta os mapas de contorno para os períodos A, B e C, produzidos por interpolação dos valores calculados para uma única variável, usando o modelo de semivariograma, obtidos na Figura 3. Os resultados indicaram que embora as populações dos endoparasitos continuassem a crescer até o corte da cana, o tráfego de máquinas durante a colheita deve ter reduzido a densidade populacional do nematóide em alguns pontos da

área estudada (Período B). O inverso foi observado no restante da área que apresentou maiores números de agregados e densidades populacionais mais elevadas dos parasitos. A aplicação de vinhaça, por outro lado, apresentou efeito supressivo expresso pelo número de reboleiras e decréscimo nas densidades populacionais.



**Figura 3.** Semivariogramas da distribuição espacial de *Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus zae* associado ao cultivo da cana-de-açúcar da Usina Santa Tereza em três diferentes épocas de amostragem: (A) 30 dias antes do corte da cana, (B) 10 dias após o corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça), e (C) 50 dias após o corte da cana (dez dias após a aplicação da vinhaça).



**Figura 4.** Mapas de krigagem mostrando a distribuição espacial dos nematóides 30 dias antes do corte da cana (A), 10 dias após o corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça) (B), e 50 dias após o corte da cana (dez dias após a aplicação da vinhaça) (C).

## CONCLUSÕES

- Os nematóides apresentaram dependência espacial na área cultivada com cana-de-açúcar nos três períodos estudados; no entanto, a estatística clássica poderá ser aplicada para coleta de amostras de *Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus zae* em distâncias superiores a 17 m;
- A distribuição *Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus zae* na área cultivada com cana-de-açúcar é representada pelo modelo esférico;
- A aplicação de vinhaça reduziu o número de reboleiras e a densidade populacional de *M. incognita* + *P. zae*;
- Os mapas permitiram visualizar o padrão de variabilidade dos nematóides, constituindo-se em uma ferramenta para a definição de estratégias de manejo e recuperação de áreas infestadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986.v.1, p. 363-375.

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 soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n.5, p. 1501-1511, 1994.

CASWELL, E. P.; CHELLEMI, D. A. A geostatistical analysis of spatial pattern of *Rotylenchulus reniformis* in a Hawaiian pineapple field. **Journal of Nematology**, Leiden, v. 18, p. 603, 1986.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. 15 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997. 264 p.

DINARDO – MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. Spatial Distribution of Plant-Parasitic Nematodes in Sugarcane Fields. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, p.188-194, 2009.

DINARDO-MIRANDA, L. L. Manejo de nematóides e pragas de solo em cana-de-açúcar. In: CAMPOS, A. P.; VALE, D. W.; ARAÚJO, E. S.; CORRADI, M. M.; YAMAUTI, M. S.; FERNANDES, O. A.; FREITAS, S. (Eds.) **Manejo integrado de pragas**. 1 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006, v.1, p. 59-80.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; GIL, M. A. Efeito da rotação com *Crotalaria juncea* na produtividade da cana-de-açúcar, tratada ou não com nematicidas no plantio. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 29, p. 63-66, 2005.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; GIL, M. A.; COELHO, A. L.; GARCIA, V.; MENEGATTI, C. C. Efeito da torta de filtro e de nematicidas sobre as infestações de nematóides e a produtividade da cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 27, p. 61-67, 2003a.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; GIL, M. A.; MENEGATTI, C. C. Danos causados por nematóides a variedades de cana-de-açúcar em cana planta. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 27, p. 69-74, 2003b.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; GARCIA, V. Efeito da época de aplicação de nematicidas em soqueira de cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 26, p. 30-33, 2002.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; GARCIA, V.; MENEGATTI, C. C. Controle químico de nematóides em soqueira de cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 24, p. 55-58. 2000.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; MORELLI, J. L.; LANDELL, M. G. A.; SILVA, M. A. Comportamento de genótipos de cana-de-açúcar em relação a *Pratylenchus zaeae*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 20, p. 52-58, 1996.

ENGLUND, E.; SPARKS, A. **Geo-EAS – Geostatistical Enviromental Assessment Software**. Las Vegas, U.S: Enviromental Protency Agency, 1991.

FAO – **Food and Agriculture Organization in Rome**. Italy: Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em 28 de jan de 2010.

FARIAS, P. R. S.; SANCHEZ-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**, Leiden, v. 34, p. 232-238, 2002.

FERRIS, H.; WILSON, L. T. Concepts and principles of population dynamics. In: VEECH, J. A.; DICKSON, D. W. (Eds.) **Vistas on nematology**: a commemoration of the twenty-fifth anniversary of the Society of Nematologists. 1st ed Hyattsville: Society of Nematologists, 1987, v. 3. p. 372-376.

GARCIA, V.; SILVA, S. F.; DINARDO-MIRANDA, L. L. Comportamento de variedades de cana-de-açúcar em relação a *Meloidogyne incognita*. **Revista Nacional do Alcool e Açúcar**, São Paulo, v. 17, p. 14-19, 1997.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for Windows**: Surface mapping system. Versão 6.01. Golden, 1995.

GILES, K. L., ROYER, T. A.; ELLIOT, N. C.; KINDLER, S. D. Development and validation of a binomial sequential sampling plan for the greenbug (Homoptera: Aplanidae) infesting winter wheat in the southern plains. **Journal of Economic Entomology**, Lanhan, v. 93, p. 1522-1530, 2000.

HOAGLIN, D. C.; MOSTELLER, F.; TUKEY, J. W. **Understanding robust and exploratory data analysis**. New York: J. Wiley, 1983. 447 p.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, Press, 1989. 561p.



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

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600 p

KOPPEN, W. **Climatologia**. México: Fundo de cultura Venezuelana, 1948. 278 p.

LAMPARELLI, R.A.C; ROCHA, V. J; BORGHI, E. **Geoprocessamento e Agricultura de Precisão: fundamentos e aplicações**. Guaíba: editora agropecuária Ltda, 2001. 118 p.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo, Ed. UNESP, 1998. 226 p

LUNDGREN, W. J .C. **Uso da co-krigagem na caracterização da variabilidade espacial da condutividade hidráulica**. 2004. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

MAI, W. F.; MULLIN, P. G.; LYON, H. H.; LOEFFLE, K. **Plant-parasitic nematodes: a pictorial key to genera**. 5 ed. Ithaca: Cornell University Press, 1996. 277 p.

MARANHÃO, S. R. V. L. **Comunidade, Dinâmica Populacional e Variabilidade Espacial de nematóides em Área de Cultivo da Cana-de-Açúcar sob Diferentes Condições Edafoclimáticas**. 2008, 126 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

MATOS, D. S. S. **Amostragem e efeito da vinhaça sobre a distribuição de nematóides associados à cana-de-açúcar em áreas de encosta e tabuleiro da mata norte de Pernambuco**. 2010, 90 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 30–37, 2006.

MOURA, R. M.; REGIS, E. M. O.; MOURA, A. M. Espécies e raças de *Meloidogyne* assinaladas em cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Norte. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 14, p. 34-38, 1990.

PEDROSA, E. M. R. Supressividade de nematóides em cana-de-açúcar por adição de vinhaça ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 197-201, 2005

PINHEIRO, J. B.; POZZA, E. A.; POZZA, A. 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**, Brasília, v. 32, p. 270-279, 2008.

REICHARDT, K. **Variabilidade espacial e temporal de solos. In: Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera.** 4 ed. Campinas: Fundação Cargill, p. 391 - 416. 1985.

ROSA, R. C. T.; MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. R. Efeitos do uso de *Crotalaria juncea* e carbofuran observados na colheita de cana planta. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 27, p. 167-171, 2003.

ROSSI, C. E.; LIMA, C. B. Controle alternativo de nematóides em cultura orgânica de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 2, p. 1-4, 2007.

ROSSI, J. P.; DELAVILLE, L.; QUÉNÉHERVÉ, P. Microspatial structure of a plant-parasitic nematode community in a sugarcane field in Martinique. **Applied Soil Ecology**, Porto Alegre, v. 3, p. 17-26, 1996.

SAFRAS – **SAFRAS 2008**. Disponível em: <<http://www.safras.com.br/aquecimento-global/index.htm>> Acesso em 10 jul. 2009.

SILVA, M. A.; PINCELLI, R. P.; DINARDO-MIRANDA, L. L. Efeito da aplicação de nematicidas em soqueira de cana-de-açúcar, em diferentes épocas, sobre a população de *Pratylenchus zeae* e atributos biométricos e tecnológicos da cultura. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v.30, p. 29-34, 2006.

SOUZA, L. C.; QUEIROZ, J. E.; GHEYI, H. R. Variabilidade espacial a salinidade e um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, p. 35-40, 2000.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, p. 1-75, 1983.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of some physical properties of the soil. In: HILL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980, Cap. 13, p. 319-344.

## **CAPÍTULO 3**

---

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE NEMATÓIDES E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO  
SOLO SOB CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

## VARIABILIDADE ESPACIAL DE NEMATÓIDES E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Patrícia Ângelo de Barros<sup>1</sup>, Elvira M. R. Pedrosa<sup>1\*</sup>, Abelardo A. A. Montenegro<sup>1\*</sup>, Mario Monteiro Rolim<sup>1</sup>, Daniela S. S. Matos<sup>1</sup>, Lílian Margarete Paes Guimarães<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, CEP 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, e-mail: elvira.pedrosa@dtr.ufrpe.br

\* Bolsista de Produtividade CNPq

**RESUMO:** A cana-de-açúcar desempenha importante papel sócio-econômico para região nordeste, estando sua produtividade associada a diversos fatores agrícolas e ambientais. O presente estudo teve como objetivo caracterizar a estrutura e a magnitude da dependência espacial dos nematóides (*Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* sp.) e dos atributos químicos do solo e suas correlações, na Mata Norte de Pernambuco, 30 dias antes do corte da cana-de-açúcar. Utilizou-se sistema de amostragem em malha regular de 60×50 m, com espaçamento de 10 m, coletando-se amostras na profundidade de 0,20-0,30 m. A distribuição espacial das variáveis Ca, CTC, MO, pH, SB, V% e nematóides foi avaliada por meio de ajustes de semivariogramas e realizada interpolação por krigagem ordinária para mapeamento. O modelo esférico foi o que melhor se ajustou aos semivariogramas dos dados, obtendo-se alcances variando de 14 a 24 m. Os mapas de krigagem indicaram correspondência entre as variáveis químicas e nematóides, permitindo visualizar a distribuição espacial para cada atributo na área, constituindo-se em útil ferramenta para definição de estratégias de manejo.

**PALAVRAS – CHAVE:** Correlação, Geoestatística, *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* sp..

**SPACIAL VARIABILITY OF NEMATODES AND SOIL CHEMICAL  
PROPERTIES UNDER SUGARCANE CULTIVATION**

**ABSTRACT:** Sugarcane cropping plays an important economic and social role in Northeastern Brazil, being productivity associated to many agricultural and environment factors. This study aimed to characterize the structure and magnitude of spatial dependence of nematodes (*Meloidogyne* spp. and *Pratylenchus* sp.) and soil chemical properties, and correlations, under sugarcane cultivation in north Mata of Pernambuco, 30 days before crop cutting. Sampling design consisted in a regular 60×50 m net, with 10 m space between points, and samples collected at 0,20-0,30 m depth. Spatial distribution of the variables Ca, CTC, MO, pH, SB, V% and nematodes was evaluated using semivariograms and adjustments by ordinary Kriging interpolation for mapping. The spherical model was the best fit to the data semivariograms, resulting in ranges from 14 to 24 m. Kriging maps indicated correspondence between nematodes and chemical variables, allowing to visualize their spatial distribution in soil, showing to be useful tool for defining management strategies.

**KEYWORDS:** Correlation, Geostatistics, *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* sp..

## INTRODUÇÃO

A área de cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) vem aumentando significativamente a cada ano. A expansão da cultura para regiões de solos arenosos em tabuleiros costeiros tem aumentado o uso de fertilizantes e agravado os problemas com fitonematóides (ARIEIRA, 2009)

Os efeitos dos nutrientes minerais no crescimento e produção são usualmente estudados em termos das suas funções no metabolismo das plantas (ZAMBOLIM; VENTURA, 1993). Além disso, a nutrição mineral pode influenciar no crescimento e na produção das plantas cultivadas de forma secundária causando modificações na forma de crescimento, na morfologia, na anatomia e na sua composição química (COLHOUM, 1973). Os nutrientes minerais podem também aumentar ou diminuir a resistência das plantas aos patógenos (ZAMBOLIM; VENTURA, 1993).

As doenças causadas por fitonematóides induzem elevadas perdas na produção da cana-de-açúcar, que variam de suaves até a destruição total da cultura. A patogenia é resultante da ação direta desses organismos sobre a hospedeira, muitas vezes agravado por fatores ambientais bióticos e abióticos (BIRCHFIELD, 1984; WILLAMIS, 1969). Muitas espécies de fitonematóides são encontradas em associação com cana-de-açúcar, mas nas condições brasileiras, três são economicamente importantes, em função dos danos que causam à cultura: *Meloidogyne jamaica* (Treub) chitwood, *M.incognita* (Kafoid e White) chitwood e *Pratylenchus zaeae* Graham (DINARDO-MIRANDA, 2006).

A distribuição de nematóide no campo é descrita como agregada, o que implica em uma dependência espacial. Textura, nutrientes e umidade são características do solo que pode influenciar nessa distribuição espacial (KOENNING *et al.*, 1996; GONES *et al.*, 1998). Portanto, para obter informações sobre o comportamento das mesmas, são requeridos processos adequados de amostragem, determinação e análise dos dados (PINHEIRO *et al.*,

2008). Para representar a dependência espacial nas amostragens, utiliza-se a geoestatística, desenvolvida por D. G. Krige, que em consideração a distância entre as amostras para encontrar sentido nas variâncias (FARIAS et al., 2003).

O mapeamento permite a visualização espacial dos nematóides na área de interesse, o que constitui aspecto de inquestionável importância como ferramenta de apoio às decisões para o manejo de populações desses patógenos (FARIAS, 1999). Desta forma, este trabalho teve como objetivo caracterizar a estrutura e a magnitude da dependência espacial dos nematóides e dos atributos químicos do solo e suas correlações, em cultivo de cana-de-açúcar na Mata Norte de Pernambuco.

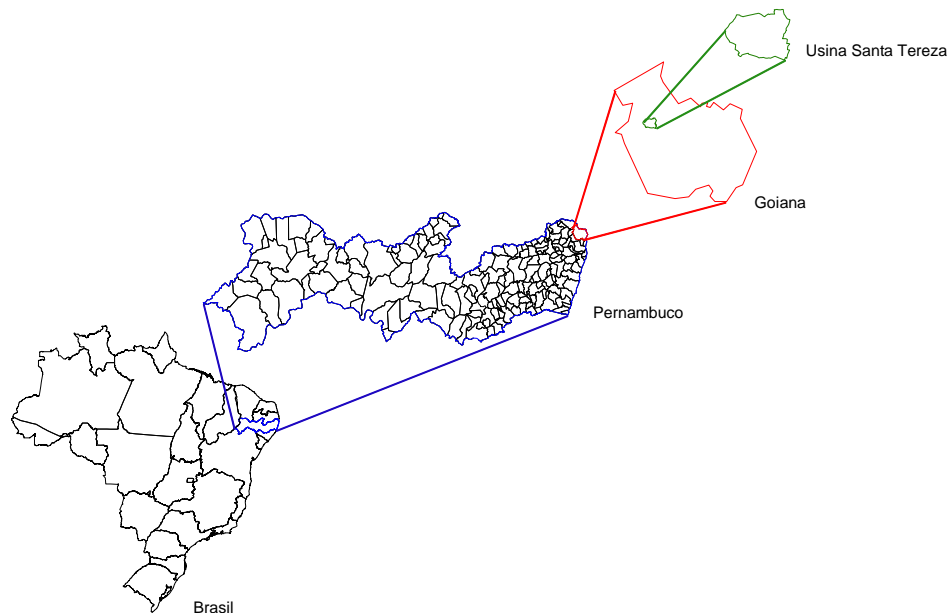
## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado na Usina Santa Tereza, localizada na bacia do rio Goiana, no município de Goiana, situado na microrregião da Mata Setentrional do Estado de Pernambuco, nas coordenadas 7°33'38'' de latitude Sul e 35°00'09'' de longitude Oeste (Figura 1). O clima local foi classificado de acordo com o sistema de Köppen (1948) como tropical chuvoso tipo As' ou "pseudotropical", que se caracteriza por ser quente e úmido com chuvas que se concentram entre os meses de março a agosto, com temperaturas médias anuais variando em torno de 24°C, durante esse período (os meses mais quentes do ano), com amplitude térmica anual bastante fraca (cerca de 3°C) e, isoietas que variam de 1.932,3 a 975,6 mm anuais.

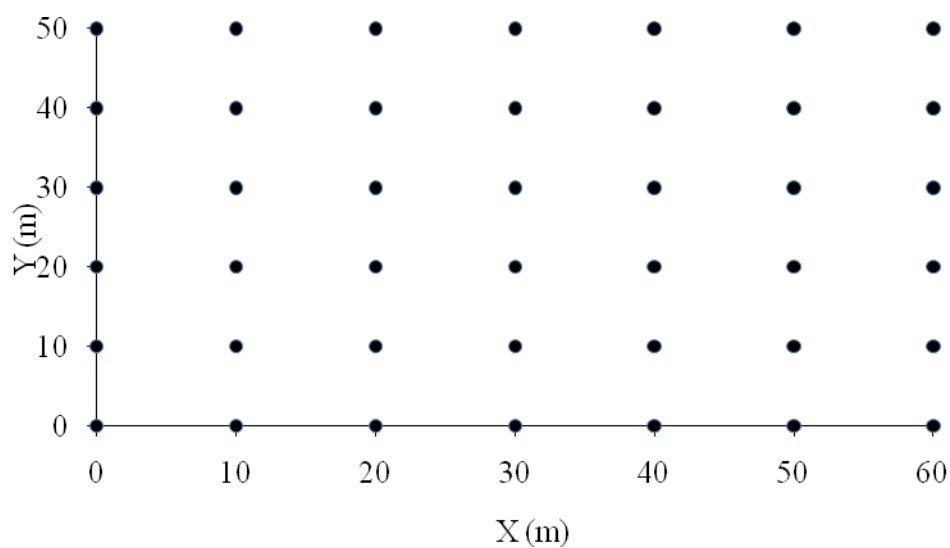
A área experimental tem sido manejada com cana-de-açúcar sob sistema de plantio convencional há mais 20 anos. O solo foi caracterizado como arenoso (Tabela 1). As avaliações foram efetuadas em uma área de 3000 m<sup>2</sup>, sob cultivo da cana-de-açúcar, 30 dias antes do corte da cana. As amostras de solo foram coletadas em 42 pontos georeferenciados, com espaçamento de 10 m entre os pontos, formando uma malha de 60 x 50 m, constituída



de seis ruas e sete pontos em cada rua (Figura 2). Verticalmente, em cada ponto, foi aberta uma trincheira e coletadas amostras indeformadas de solo na profundidade de 0,20- 0,30 m, totalizando 42 amostras de solo.



**Figura 1.** Localização da Usina Santa Tereza no município de Goiana-PE.



**Figura 2.** Croqui do *grid* de amostragem.

As amostras de solo foram obtidas com auxílio de um trado de amostras indeformadas, com cilindros de aço inoxidável, com 0,050 m de diâmetro e 0,0265 m de altura e 0,5 m<sup>3</sup>. Cada amostra foi acondicionada em recipiente plástico e encaminhada para o Laboratório de Química na Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina (EECAC). O cálcio (Ca) foi extraído utilizando-se o método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 1987) e a matéria orgânica (MO) extraída segundo método proposto pela Embrapa (1997). Com base nos resultados das análises químicas, foram calculadas as somas de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%). Foi determinado, ainda, o pH em KCl, utilizando-se a relação 1:2,5 de solo (EMBRAPA 1997).

**Tabela 1.** Caracterização física do solo sob cultivo de cana-de-açúcar em área de tabuleiro, 30 dias antes do corte.

Composição Granulométrica (%)				Ds(Kg.dm <sup>-3</sup> )	Dp(Kg.dm <sup>-3</sup> )	P(m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )	U(m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )
Areia	Argila	Silte	Classificação Textural				
93,09	4,79	2,11	Areia	1,62	2,66	0,42	0,04

Ds = Densidade do solo; Dp = Densidade de partículas; P = Porosidade; U = Umidade.

Para as análises nematológicas, após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados e encaminhados ao Laboratório de Fitonematologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco. As amostras foram homogenizadas e processadas para extração, a partir de 300 cm<sup>3</sup> de solo, utilizando-se o método da flotação centrífuga (JENKINS, 1964). As suspensões de fitonematóides obtidas foram mantidas sob refrigeração (4-6°C), realizando-se a identificação genérica (MAI et al., 1996) e contagem de *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* sp. em lâminas de Peters, sob microscópio óptico e os resultados computados em número de espécimes por 300 cm<sup>3</sup> de solo.

Com o objetivo de verificar o comportamento dos dados, foi realizada análise estatística descritiva, por meio da avaliação de medidas de tendência central e dispersão e a aderência à

distribuição Normal, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov, em níveis de 1 e 5% de significância. Os dados discrepantes foram eliminados com base no critério de Hoaglin et al. (1983) que consideram discrepantes aqueles dados abaixo do limite inferior (Li) ou acima do limite superior (Ls) respectivamente, estimados por:  $Li = Qi - 1,5Ai$  e  $Ls = Qs + 1,5Ai$ , sendo Qi e Qs os quartis inferior e superior, respectivamente, e Ai a amplitude interquartílica ( SOUZA et al., 2000). Foi adotada a classificação de Warrick e Nielsen (1980) para os atributos analisados, onde a variabilidade foi classificada como baixa ( $CV < 12\%$ ), média ( $12 \leq CV \leq 62\%$ ) e alta ( $CV > 62\%$ ).

Para análise geoestatística, utilizou-se a ferramenta geoestatística GEO-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) (ENGLUND; SPARKS, 1991), adotando-se o estimador clássico da semivariância (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978), em que  $\gamma$  é o valor da semivariância estimada a partir dos dados experimentais, e N(h) é o número de pares de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i+h)$ , separadas por distância h (LANDIM, 1998).

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

Os parâmetros do semivariograma teórico foram representados nos gráficos definidos através do alcance (a), patamar (C) e efeito pepita ( $C_0$ ), ajustados de modo a minimizar os erros quadráticos médios. Os ajustes dos modelos foram escolhidos em função dos parâmetros dos semivariogramas, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e autovalidação ('Jack-Knifing'), nesta técnica, em que cada um dos valores medidos é interpolado pelo método da krigagem eliminam-se, sucessivamente, os valores medidos, os quais são substituídos pelas estimativas calculando-se, em seguida, a distribuição dos erros padronizados (MONTENEGRO; MONTENEGRO, 2006).

Com o ajuste dos modelos teóricos e a definição dos coeficientes para os semivariogramas, utilizou-se do método de estimativa de valores de atributos distribuídos no espaço a partir de valores adjacentes, conhecido como krigagem ordinária. Os valores obtidos pela krigagem são não tendenciosos e têm variância mínima (VIEIRA et al., 1983) e são ideais para a construção de mapas de contorno ou tridimensionais para verificação e interpretação da variabilidade espacial. Na elaboração dos mapas de distribuição espacial das variáveis, foi utilizado o programa Surfer Software (Golden Software, 1999), com base nos valores estimados por krigagem, realizada com o programa GEO-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software).

A análise do grau de dependência espacial dos atributos foi realizada segundo Cambardella et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita menor ou igual 25% do patamar, moderada entre 25% e 75%, e fraca quando for maior que 75%.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov para os atributos químicos do solo, indicaram normalidade para os nematóides e as variáveis Ca, CTC, MO, pH, SB e V% (Tabela 2). Os valores da média e da mediana para todas as variáveis foram próximos, mostrando distribuições simétricas, comprovada pelo teste utilizado. A análise conjunta dos valores das médias, medianas, coeficientes de assimetria, curtose e o teste KS reforçou a hipótese da normalidade dos dados analisados. A normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, sendo conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, as quais são baseadas nos valores médios (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Os semivariogramas apresentaram patamares bem definidos.

**Tabela 2.** Resumo estatístico das densidades de nematóides e das variáveis: cálcio, capacidade de troca catiônica, matéria orgânica, pH, soma de bases e saturação por bases das amostras coletadas nos pontos da malha de amostragem

Estatística	Variáveis						
	Nematóide	Ca	CTC	M.O	pH	S.B	V%
Média	178,90	2,30	4,64	2,79	6,18	2,92	63,19
Mediana	179,32	2,40	4,91	2,89	6,20	2,98	64,44
Mínimo	0,00	0,50	1,73	1,71	5,50	1,03	41,01
Maximo	396,00	4,60	7,46	3,97	6,60	5,16	82,36
Assimetria	0,25	0,13	-0,27	-0,12	-0,72	0,17	-0,42
Curtose	-0,81	-0,60	-0,90	-0,17	0,25	-0,62	-0,44
C.V (%)	61,00	42,40	32,59	19,48	4,49	35,57	15,66
Desv. Pad.	109,20	0,98	1,51	0,54	0,28	1,04	9,90
KS	*	*	*	*	*	*	*

CV=Coeficiente de Variação (%), KS = teste Kolmogorov-Smirnov, (\*) Distribuição normal com nível de 1 e 5 % de significância.

De acordo com Warrick e Nielsen (1980), verifica-se que o pH apresentou baixa variabilidade (CV de 4,5%). Resultados semelhantes para a profundidade de 0,0-0,2 m foram encontrados por Silveira et al. (2000), Carvalho et al. (2002), Silva et al. (2003), Souza et al (2004), Mello et al (2006), Campos et al. (2009) e Lima et al. (2010). Outros autores (POCAY, 2000; SOUZA, 2001; ARAÚJO, 2002; MELLO et al., 2006) apontam como possível explicação para este comportamento às condições específicas de manejo da cultura da cana-de-açúcar, que promovem a extração elevada de nutrientes, principalmente cálcio e magnésio, exaurindo o solo na camada superficial pelos anos sucessivos de cultivo. Para as demais variáveis Ca, CTC, MO, SB, V% e para os nematóides, a variabilidade foi considerada média, indicando haver moderada variabilidade na área. Segundo Campos et al. (2009), coeficientes de variação (CV) permitem a comparação de valores entre diferentes atributos do solo e, valores médios de CV podem ser considerados os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados (Tabela 2).

De acordo com os resultados da análise geostatística, todas as variáveis estudadas apresentaram dependência espacial (Tabela 3 e Figura 3). Os modelos que melhor ajustaram ao semivariograma das variáveis MO, V% e nematóides, com base no maior valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), foi o esférico, enquanto que as variáveis CTC e SB foram melhor descritas pelo modelo exponencial. Para o Ca e pH o modelo de semivariograma que promoveu melhor ajuste foi o gaussiano. O modelo que ajustou os dados com maior frequência foi o esférico, concordando com Barros et al. (2010) para nematóides e Lima et al. (2010) para os atributos químicos. Os parâmetros estimados para os modelos ( $C_0$ ,  $C_1$ ,  $a$ ) foram endossados pelo teste de Jack knifing, uma vez que os valores de média dos erros reduzidos estavam próximos de zero e o desvio padrão dos erros reduzidos, próximos de um (Tabela 3).

Um parâmetro importante no estudo dos semivariogramas é o alcance, que significa a distância máxima em que uma variável está correlacionada espacialmente, ou seja, determinações realizadas a distâncias maiores que o alcance tem distribuição aleatória e, por isso, são independentes entre si, devendo ser aplicada a estatística clássica (MACHADO et al., 2007). O menor valor de alcance foi de 14 para V% e, o maior, 24 para CTC. Segundo CORÁ et al. (2004), baixos valores de alcance podem influir negativamente na qualidade das estimativas, uma vez que poucos pontos são usados para realização da interpolação na estimativa de valores em locais não medidos.

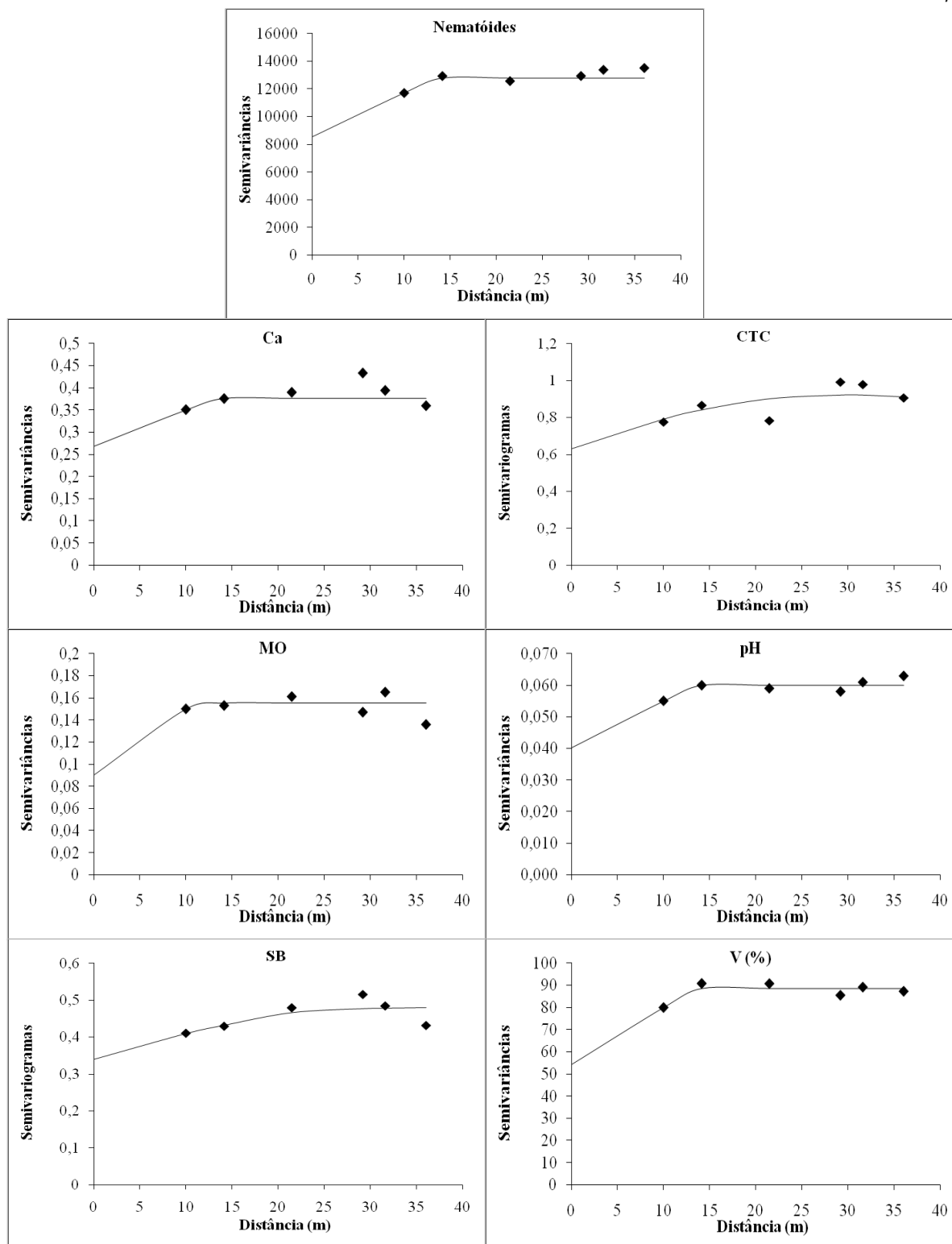
**Tabela 3.** Parâmetros dos semivariogramas experimentais obtidos para as diferentes variáveis de amostragem.

Variáveis	Parâmetros dos semivariogramas			GD	Modelo	Validação Cruzada		R <sup>2</sup>
	C <sub>0</sub>	(C <sub>0</sub> + C <sub>1</sub> )	a (m)			Média	Desvio Padrão	
Nematóide	8619,63	13239,26	16,85	0,65	Esférico	0,04	0,96	0,80
Ca	0,27	0,41	24,90	0,66	Gauss	-0,06	0,97	0,65
CTC	0,67	0,94	17,61	0,71	Expon.	-0,07	1,05	0,51
MO	0,09	0,16	18,07	0,58	Esférico	0,09	0,78	0,56
pH	0,04	0,07	19,20	0,67	Gauss	-0,01	0,82	0,60
SB	0,34	0,48	18,57	0,71	Expon.	-0,06	1,00	0,65
V%	54,32	88,64	14,51	0,61	Esférico	-0,01	0,82	0,84

C<sub>0</sub> = Efeito pepita, (C<sub>0</sub>+ C<sub>1</sub>)= patamar, a (m) = Alcance, R<sup>2</sup> =coeficiente de determinação, GD = Grau de dependência, C<sub>0</sub>/( C<sub>0</sub>+ C<sub>1</sub>) = efeito pepita em relação ao patamar. C<sub>0</sub> / C<sub>0</sub>+C ≤ 0,25 = forte dependência espacial; 0,25 ≤ C<sub>0</sub> / C<sub>0</sub>+C ≤ 0,75 = moderada dependência espacial; 0,75 < C<sub>0</sub> / C<sub>0</sub>+C < 1,00 = fraca dependência espacial; C<sub>0</sub> / C<sub>0</sub>+C = 1,00 = variável independente espacialmente (efeito pepita puro).

Quanto menor a proporção do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior será a dependência espacial apresentada pelo atributo (LIMA et al., 2006) com isso, maior a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa e maior a confiança no valor estimado (LIMA et al., 2010). Neste trabalho observou-se que, em geral, as variáveis apresentaram moderado grau de dependência espacial, de acordo com os critérios estabelecidos por Cambardella et al. (1994).

Na Figura 4 são apresentados os mapas temáticos obtidos por meio da interpolação dos dados por krigagem. Os mapas de isolinhas permitem visualizar uma região com os maiores valores para os atributos nematóides, Ca, CTC, MO, pH, SB e V%, que se localiza na extremidade superior da área de estudo, podendo-se observar alta similaridade nos mapas, com exceção da MO.



**Figura 3.** Semivariogramas experimentais obtidos para as diferentes variáveis de amostragem.

Quanto às características químicas do solo, foi observada correlação positiva visual (confirmadas pelas correlações de Pearson apresentadas na Tabela 4) por meio dos mapas de krigagem entre Ca e nematóides, como também entre SB e nematóides. Resultados



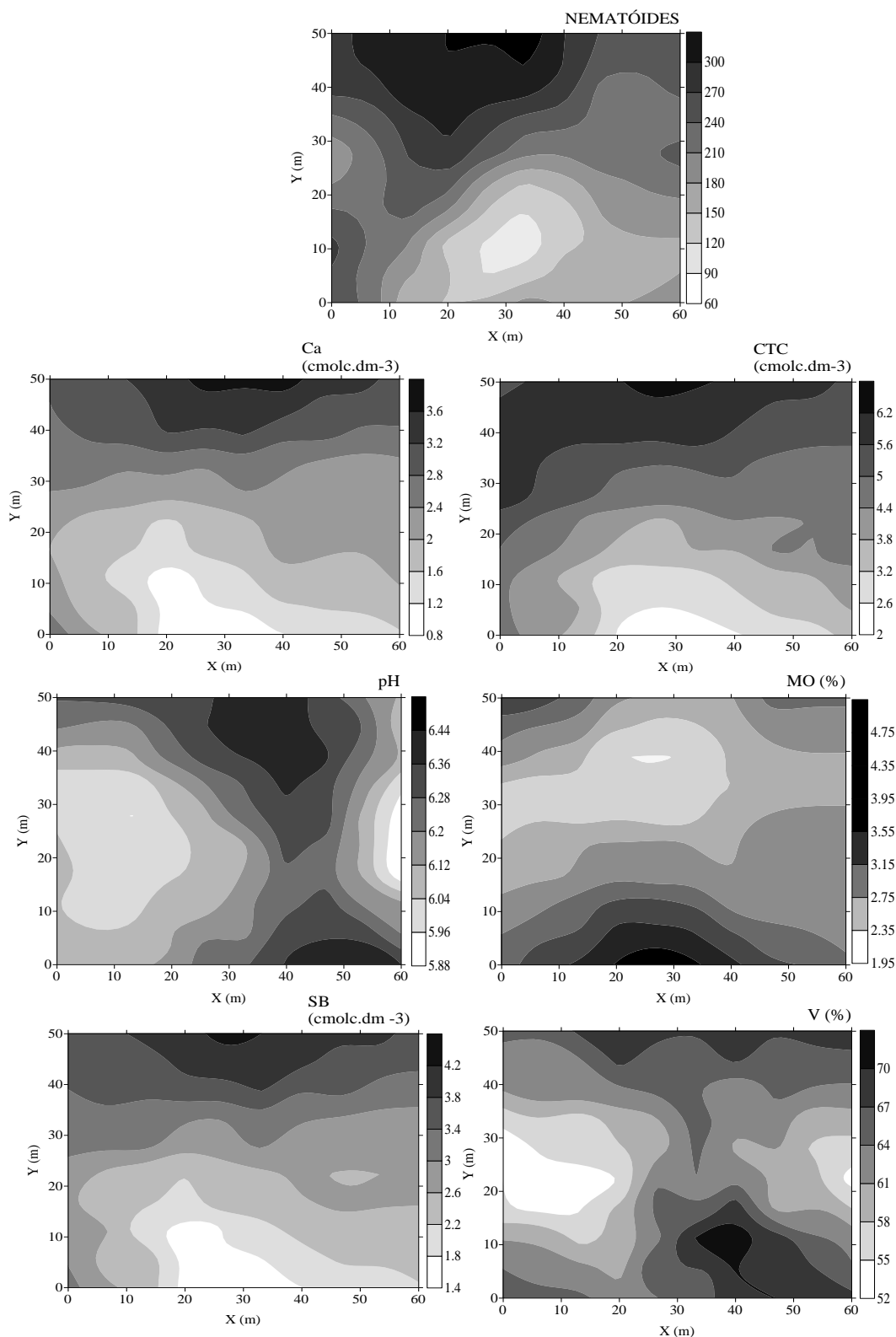
semelhantes foram encontrados por Matos (2010), em área de tabuleiro cultivada com cana-de-açúcar, que relataram correlações significativas entre Ca e nematóides parasitos de planta, Ca e nematóides totais, bem como entre SB e nematóides parasitos de planta, SB e nematóides totais. Sologuren e Santos (1997), ao estudarem características do solo em reboleiras de soja (*Glycine Max* L.) parasitadas com nematóides de cistos (*Heterodera glycines* Ichino), encontraram correlações positivas entre o referido nematóide e cálcio, magnésio e saturação de base, concordando com o presente trabalho, em que V% correlacionou-se positivamente com o nematóide.

**Tabela 4.** Coeficiente de correlação de Pearson entre nematóides e atributos químicos do solo

	Ca	CTC	MO	pH	SB	V%
Nematóides	0,765**	0,729**	-0,624*	0,529**	0,713**	0,407*

\*Significativo a 5 % de probabilidade; \*\*Significativo a 1% de probabilidade; <sup>ns</sup>Não significativo

Em relação ao pH, a correlação com nematóides foi positiva, concordando com Silva et al. (1997), que afirmaram que valores de pH acima de 6,0 favorecem as populações *H. glycines*, por contribuir para intensificar os danos causados pelo nematóide e, resultaram em imobilização de micronutrientes e redução do parasitismo natural de ovos e de cistos. A imobilização de micronutrientes no solo causou deficiência nestas plantas, atuando de modo sinérgico ou aditivo com *H. glycines*. Alterações no pH podem influenciar os patógenos direta ou indiretamente. Indiretamente, modificando a população dos microorganismos antagonistas, reduzindo-os ou aumentando-os (JONES et al.,1990). Matos (2010)e Pinheiro et al. (2008) também obtiveram correlação positiva entre pH do solo e nematóides. De acordo com os autores, as características químicas do solo interferem na dinâmica populacional de nematóide.



**Figura 4.** Mapas de krigagem das variáveis (Nematóide, Ca, CTC, M.O, pH, S.B, V%) em estudo.

A CTC correlacionou-se positivamente com nematóides, também concordando com Matos (2010). A MO correlacionou-se negativamente com esses organismos, fato

possivelmente associado à adição de MO ao solo favorecer o aumento da população microbiana antagonista aos fitonematóides (OLIVEIRA et al., 2005). Conforme Novaretti (1983), a adição de matéria orgânica ao solo promove formação de substâncias orgânicas, tais como ácidos graxos voláteis, que podem apresentar ação nematicida. Paralelamente, a matéria orgânica melhora a nutrição das plantas, aumentando tolerância a nematóides (ALBUQUERQUE et al., 2002). Pedrosa et al. (2005) observaram que a vinhaça, resíduo sucroalcooleiro rico em matéria orgânica, reduziu a eclosão de juvenis de *M. incognita* e *M. javanica*, bem como reduziu a densidade populacional destes nematóides no solo. Matos (2010) encontraram correlação negativa entre MO e nematóides de vida livre, fitoparasitas e total de nematóides.

## CONCLUSÕES

- Todas as variáveis estudadas apresentaram dependência espacial;
- A distribuição da MO, V% e nematóides (*Meloidogyne* spp. + *Pratylenchus* sp.) obedeceu a modelo esférico, CTC e SB a modelo exponencial e Ca e pH a modelo gaussiano;
- Ao contrário da MO, aumento nas concentrações de Ca, CTC, SB, V% e pH favoreceram incrementos nas densidades populacionais dos nematóides;
- O uso da técnica de geoestatística possibilitou descrição mais precisa dos atributos do solo, possibilitando definição de zonas específicas de manejo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, P. H. S.; PEDROSA, E. M. R.; MOURA, R. M. Relações nematóide hospedeiro em solo infestado por *Meloidogyne* spp. e tratado com torta de filtro e vinhaça. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 26, p. 27-34, 2002.

ARAUJO, A. V. **Variabilidade espacial de propriedades químicas e granulométricas do solo na definição de zonas homogêneas de manejo**. 2002, 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2002.

ARIEIRA, C. R. D.; BARIZÃO, D. A. O. Canaviais infestados. **Revista Cultivar**, Umuarama, v. 32, p.398-404, 2009.

BARROS, P. A.; PEDROSA, E. M. R.; MONTENEGRO, A.A.; ROLIM, M. M.; FONTES JÚNIOR, R.V.P. Efeitos da colheita da cana-de-açúcar e aplicação de vinhaça na biota do solo em tabuleiro costeiro. In: IX CONGRESSO LATINO-AMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA – XXXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA, 2010, Vitória. **Anais...** Vitória: Ed. , 2010.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p. 363-375.

BIRCHFIELD, W. Nematode parasites of sugar-cane. In: NICKLE, W. R. (Ed.). **Plant and insect nematodes**. New York: Marcel Dekker, 1984. v.1, p. 571-588.

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 soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, p. 297–304, 2009.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p.1151-1159, 2002.

COLHOUN, J. Effects of environmental factors on plant diseases. **Annual Review of Phytopathology**, United States, v. 11, p. 343- 64, 1973.

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, p.1013-1021, 2004.

DINARDO-MIRANDA, L. L. Manejo de nematóides e pragas de solo em cana-de-açúcar. In: CAMPOS, A. P.; VALE, D. W.; ARAÚJO, E. S.; CORRADI, M. M.; YAMAUTI, M. S.; FERNANDES, O. A.; FREITAS, S. (Eds.). **Manejo integrado de pragas**. 1 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006, v. 1, p. 59-80.

FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J. C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, p. 235-241, 2003.

FARIAS, P. R. S. **Distribuição espacial do nematóide reniforme com o uso da geoestatística, em um solo com rotação de culturas**. 1999, 109 f. Tese (Doutorado em Ciências Solo) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

ENGLUND, E.; SPARKS, A. **Geo-EAS – Geostatistical Enviromental Assessment Software**. Las Vegas: Enviromental Protency Agency, 1991.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for Windows**: Surface mapping system. Versão 6.01. Golden, 1995.

GORRES, J. H.; DICCHIARO, M. J., LYONS, J. B.; AMADOR, J. A.. Spatial and temporal patterns of soil biological activity in a Forest and a old Field. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 30, p. 219-230, 1998.

HOAGLIN, D. C.; MOSTELLER, F.; TUKEY, J. W. **Understanding robust and exploratory data analysis**. New York: J. Wiley, 1983. 447 p.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561p.

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

JONES, J. B.; WALTZ, S. S.; JONES, J. P. Effect of foliar and Soil magnesium application on bacterial leaf Spot peppers. **Plant Disease**, St. Paul, v. 67, p. 623-624, 1990.

JOURNEL, A. C., HUIJBREGTS, C. J.. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978, 600 p.

KOENNING, S. R.; WALTERS, S. A.; BARKER, K. R. Impact of soil texture on the reproductive and damage potentials of *Rotylenchulus reniformis* and *Meloidogyne incognita* on cotton. **Journal of Nematology**, Hanover, v. 28, p. 527- 536, 1996.

KOPPEN, W. **Climatologia**. México: Fundo de cultura Venezuelana, 1948. 278 p.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. Rio Claro: Unesp, 1998. 226p.

LIMA, J. S. S.; LIMA, J. S. S.; SILVA, J. T. O.; OLIVEIRA, R. B. Estudo da viabilidade de métodos geoestatísticos na mensuração da variabilidade espacial da dureza da madeira de Paraju (*Manilkara* sp.). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, p. 651-657, 2006.

LIMA, J. S. S.; G. S. SOUZA, G. S.; SILVA, S. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, p. 127-136, 2010.

MACHADO, L. 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, p. 591-599, 2007.

MAI, W.F.; MULLIN, P.G.; LION, H.H.; LOEFFLER, K. Plant parasitic nematodes; a pictorial key to genera. Ithaca: Cornell University Press, 1996. 277p.

MATOS, D. S. S. **Amostragem e efeito da vinhaça sobre a distribuição de nematóides associados à cana-de-açúcar em áreas de encostas e tabuleiro da mata norte de Pernambuco**. 2010, 90 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

MELLO, G.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, p. 294-305, 2006.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, p. 30-37, 2006.

NOVARETTI, W. R. T. **Nematóides parasitos da cana-de-açúcar e seu controle**. Jaú: Copersucar, 1983, 06 p.

OLIVEIRA, F. S.; ROCHA, M. R.; REIS, A. J. S.; MACHADO, V.O.F.; SOARES, R.A.B. Efeito de produtos químicos e naturais sobre a população de nematóides *Pratylenchus brachyurus* na cultura da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, p. 171-178, 2005.

PEDROSA, E. M. R., ROLIM, M. M.; ALBUQUERQUE, P. H. S.; CUNHA, A. C. Supressividade de nematóides em cana-de-açúcar por adição de vinhaça do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 197- 201, 2005.

PINHEIRO, J. B.; POZZA, E. A.; POZZA, A. 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, p. 270-278, 2008.

POCAY, V.G. **Relações entre pedofoma e variabilidade espacial de atributos de latossolos sob cultivo intensivo de cana-de-açúcar**. 2000. 177 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual de São Paulo. Jaboticabal, 2000.

RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

SILVA, J. F.V.; GARCIA, A.; PEREIRA, E HIRONATO, D. **Nematóide de cisto da soja (*Heterodera glycines* Ichinohe)**. Londrina: Embrapa Soja, 1997. 217 p.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1013-1020, 2003.



SILVEIRA, P. M.; ZIMMERMANN, F.J. P.; SILVA, S. C.; CUNHA, A. A.; Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.2057-2064, 2000.

SOLOGUREN, L. J. E.; SANTOS, M. A. Estudo de características químicas de solo em reboleiras de soja com *Heterodera glycines*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 322-329, 1997.

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, p. 1763-1771, 2004.

SOUZA, C. K. **Relação solo-paisagem-erosão e variabilidade espacial de Latossolos em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar no município de Jaboticabal, SP**. 2001, 186 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - FCAV/UNESP, Jaboticabal, 2001.

SOUZA, L. C; QUEIROZ, J. E; GHEYI, H. R. Variabilidade espacial a salinidade e um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, p. 35-40, 2000.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, p. 1-75, 1983.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

WILLIAMS J. R. Nematodes attacking sugar-cane. In: PEACHEY, J. E. (Ed.). **Nematodes of Tropical Crops**. St. Albans: CAB, 1969. p. 184-203.

YEATES, G. W.; BONGERS, T.; GOEDE, R. G. M.; FRECKMAN, D. W.; GEORGIEVA, S. S. Feeding habits in soil nematode families and genera – an outline for soil ecologist. **Journal of nematology**, Hanover, v. 25, p. 315-331, 1993.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J.A. **Resistência a doenças induzida pela nutrição mineral das plantas**. In: LUZ, W.C.; FERNANDES, J.M.; PRESTES; A.M.; PICININI, E.C. (Eds.) **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. Passo Fundo: RAPP, 1993. v.1, p. 275-318.