

USO DA GEOESTATÍSTICA NA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DO MAL-DO-PANAMÁ EM BANANEIRA PRATA ANÃ

GEOSTATISTIC USE OF THE LIKELIHOOD OF THE OCCURRENCE OF PANAMA DISEASE IN BANANA 'PRATA ANÃ'

Moises Zucoloto¹;Julião Soares de Souza Lima² y Ruimario Inacio Coelho³

Resumo. O objetivo do presente trabalho foi verificar a probabilidade de ocorrência e variabilidade espacial da incidência do mal-do-Panamá em uma área cultivada com bananeira 'Prata Anã' em um ciclo da cultura. O trabalho foi conduzido em uma lavoura comercial no município de Aracruz, estado do Espírito Santo, Brasil. A probabilidade da ocorrência do mal-do-Panamá na área foi avaliada pelo método de interpolação krigagem indicativa, que é um processo básico de krigagem. Para atingir este objetivo, o primeiro passo, foi a transformação de plantas com ocorrência da doença igual a 1 (um) e da não ocorrência da doença igual a 0 (zero). A incidência da doença apresentou dependência espacial de 10 m e com ajuste do modelo exponencial aos dados, o que permitiu estimar por krigagem indicativa a probabilidade de ocorrência da doença na área com a construção do mapa, tornando-se uma ferramenta importante para otimizar as medidas preventivas.

Palavras chaves: *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *cubense*, dependência espacial, krigagem.

Abstract. This research was carried out to assess the likelihood and spatial variability in the incidence of disease Panama in an area cultivated with banana 'Prata Anã' in a cycle of culture. The work was conducted on a commercial farm in the municipality of Aracruz, state of Espírito Santo, Brazil. The probability of occurrence of Panama disease in the area was evaluated by means of kriging interpolation indicative, which is a basic process of kriging. To achieve this goal, the first step was the transformation of plants with occurrence of disease equal to one (1) and the occurrence of the disease does not equal to 0 (zero). The incidence of the disease showed spatial dependence of 10 m with the exponential model fit the data, allowing for kriging indicative estimate the probability of occurrence of the disease in the area with the construction of the map, making it an important tool to optimize the preventive measures.

Key words: *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *cubense*, spatial dependence, krigagem.

A bananeira (*Musa* spp.) é afetada por diversos patógenos, reduzindo sua produção. Uma das principais doenças dessa cultura é o mal-do-Panamá, cuja doença tem grande importância na bananicultura mundial, sendo responsável por elevadas perdas na produção (Matos *et al.*, 2001).

Essa doença é causada pelo patógeno, *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *cubense*, um fungo de solo, com alta capacidade de sobrevivência, que permanece longos períodos na ausência do hospedeiro, devido à formação de estruturas de resistência denominadas clamidósporos. Pouco é conhecido ao respeito da influência de parâmetros climáticos como luz, temperatura e umidade no desenvolvimento de sintomas do mal-do-Panamá. Sabe-se que o solo influi na incidência da doença (Cordeiro, 2000).

O conhecimento do modelo de variabilidade espacial do mal-do-Panamá em áreas com cultivo de bananeira contribui para o mapeamento da incidência da doença, a fim de localizar áreas contaminadas para realizar as

medidas preventivas e isolamento das áreas afetadas. Um dos métodos utilizados no estudo da variabilidade de uma determinada variável é conhecido como krigagem, que é um processo de estimativa de valores distribuídos no espaço e tempo, sendo um interpolador exato que leva em consideração todos os valores observados em uma determinada área (Landim, 2003).

O monitoramento da incidência da doença é de grande importância para medidas preventivas de controle e isolamento da área. Dessa forma, objetivou-se verificar a dependência espacial da probabilidade de ocorrência da manifestação do mal-do-Panamá na bananeira cultivar Prata Anã no primeiro ciclo e a construção do mapa temático.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma lavoura comercial no município de Aracruz, Estado do Espírito Santo, Brasil, em um Argissolo amarelo distrófico arênico, localizado nos depósitos dos tabuleiros costeiros

¹ Mestrando em Produção Vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo. (CCA-UFES). Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Engenharia Rural. Alto Universitário, s/n, Centro, CP 16, CEP.: 29500-000, Alegre, Espírito Santo. Brasil. <moiseszucoloto@hotmail.com>

² Professor Associado. Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES). Depto. de Engenharia Rural. Alto Universitário, s/n. Centro. CP 16, CEP.: 29500-000. Alegre, Espírito Santo. Brasil. <jsslima@cca.ufes.br>

³ Professor Associado. Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES). Departamento de Produção Vegetal. Alto Universitário, s/n. Centro. CP 16. CEP.: 29500-000, Alegre, Espírito Santo. Brasil. <ruimario@cca.ufes.br>

Recibido: Diciembre 9 de 2008; Aceptado: Marzo 9 de 2009

Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín 62(1): 4793-4796. 2009

da região, que segundo (Duarte *et al.*, 2000). Com coordenadas geográficas 19° 49' 24" de Latitude Sul e 40° 04' 20" de Longitude, altitude média de 30 m e declividade menor que 1%.

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com estação seca no inverno e verão quente e chuvoso. A temperatura média anual é de 24,8 °C, variando entre 19,8 °C no inverno e 29,8 °C no verão, com precipitação média anual acumulada de 1.200 mm. Os dados climáticos foram obtidos da estação meteorológica Inc_013, coordenada pelo INCAPER.

Em um plantio comercial de bananeira com aproximadamente 10 hectares cultivada no espaçamento de 2x3 m, onde foi demarcada uma malha amostral regular com 100 pontos (plantas) no espaçamento 4x6 m formando uma área de 2.400 m², na parte central da lavoura, para estudar o desempenho da doença. No final do primeiro ciclo da cultura foi observado na área, a ocorrência da doença em algumas plantas. Este fato foi abordado no estudo da correlação da ocorrência da doença com os atributos de solo e de planta.

A probabilidade de ocorrência do mal-do-Panamá na área foi avaliada pelo método de interpolação krigagem indicativa, que é um processo básico de krigagem. Para atingir este objetivo, o primeiro passo, foi a transformação de plantas com ocorrência da doença igual a 1 (um) e da não ocorrência da doença igual a 0 (zero).

Assumida a hipótese de estacionaridade, ou seja, existência da semivariância através de um modelo matemático, cuja presença da doença foi submetido à análise geoestatística no intuito de verificar a probabilidade de ocorrência por meio do ajuste do semivariograma, que é definido pela seguinte equação:

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

em que: N(h) é o número de pares de valores medidos Z(x_i), Z(x_i+h), separados por um vetor h; e Z(x_i) é a variável aleatória em estudo na i-ésima posição.

O software GS⁺ (Robertson, 1998) utiliza a metodologia dos mínimos quadrados para os ajustes dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais, determinando os parâmetros:

efeito pepita (C₀), patamar (C₀+C) e o alcance de dependência espacial (a). Os critérios para ajuste e seleção do melhor modelo foram o coeficiente de determinação (R²), soma de quadrados de resíduos (SQR) e o coeficiente de correlação da validação cruzada. Sendo assim, o índice de dependência espacial (IDE) foi calculado através da relação [C/(C₀+C)]*100, e classificado segundo Zimback (2001), que considera dependência espacial fraca (IDE<25%); moderada (25%≤IDE≤75%) e forte (IDE>75%).

Comprovado a dependência espacial, foi gerada uma malha interpolada da probabilidade de ocorrência do mal-do-Panamá, em pixel de 2x3 m e com auxílio do software Surfer, Golden software, (2002) foi gerado o mapa temático através de uma planilha de dados formato (DAT) já interpolados pelo GS⁺.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da probabilidade de ocorrência da doença mal-do-Panamá apresentou ajuste do semivariograma experimental pelo modelo exponencial (Figura 1), com um alcance de dependência espacial de 10 m, ou seja, amostras da doença em plantas devem ser coletadas na área, acima desse valor para que sejam consideradas independentes. O Índice de Dependência Espacial (IDE) foi de 88%, classificado com alto, (Zimback, 2001). Com relação à validação cruzada utilizada na escolha do modelo, esta apresentou nível de significância entre os valores observados e os estimados considerando (p<0,01).

Observa-se uma tendência de maior área de ocorrência da doença na parte central superior à esquerda, indicando que as medidas preventivas devem ser tomadas a partir dessas zonas diferenciadas, de maneira que a doença não se propague causando sérios prejuízos na área (Figura 2).

Uma das medidas preventivas é o controle da população de nematóides, pois são responsáveis pela quebra de dormência ou facilitarem a penetração do patógeno por meio de ferimentos (Cordeiro, 2000). O uso do mapa permite antecipar ações preventivas sobre a doença, diminuindo o uso de pesticidas e consequentemente menores danos ao meio ambiente, agindo apenas nas áreas afetadas e, não como rotineiramente, em que se aplica o defensivo em toda a área e na mesma quantidade, além da redução do custo de produção.

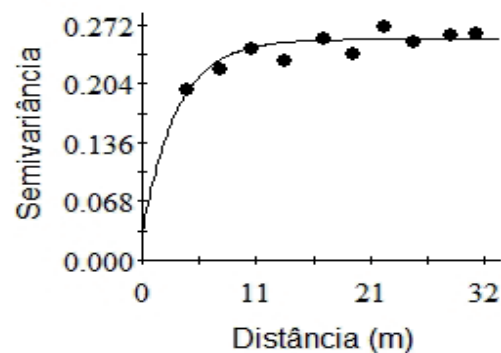


Figura 1. Semivariograma da incidência do mal-do-Panamá.

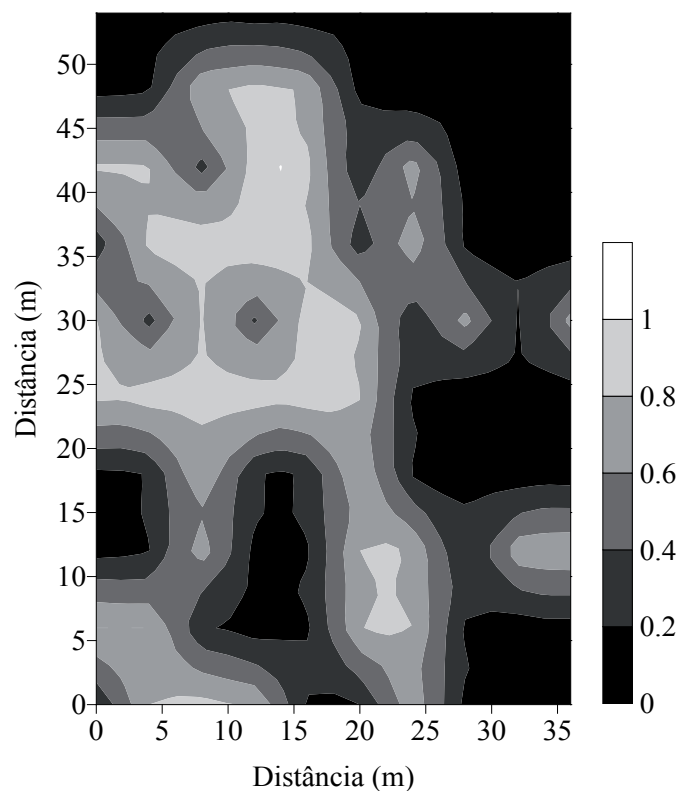


Figura 2. Mapa temático de isolinhas da probabilidade de ocorrências da mal-do-Panamá ocorrência variando de zero (isento da doença) a um (presença da doença).

De acordo com Beckman y Zarrogian (1967), variedades suscetíveis de bananeira, produzem substâncias gelatinosas como resposta à penetração de *F. oxysporum* f. sp. *cubense*, e respondem com a formação de tiloses porém tardiamente, não impedindo a colonização dos seus tecidos pelo fungo. Além da formação de gel e tiloses como respostas de defesa, Ascensao y Dubery (2003) comprovaram acúmulo de compostos fenólicos e lignina nas paredes celulares como parte

de mecanismos de defesa nas raízes de bananeiras. Portanto a visualização da área afetada e a antecipação de medidas preventivas, tais como a elevação de cálcio e boro que são os percussores dessas substancia de defesa é importante para a prevenção da doença.

Medidas preventivas de doenças em plantas são um dos aspectos importantes da agricultura sustentável, sendo a utilização de fungos micorrizas umas dessas

medidas. Quanto à bananeira, há relatos semelhantes do uso fungos micorrizas para o controle do mal-do-Panamá (Jaizme *et al.*, 1998; Smith *et al.*, 1999). Este efeito protetor dos fungos micorrizas envolve diversos mecanismos de defesa da planta, tais como a produção de fitoalexinas, quitinases, compostos fenólicos; modificações anatômicas e fisiológicas; liberação de exsudados que estimulam o aparecimento de microrganismos antagonísticos; competição por fotossintatos ou sítio de infecção/colonização (Azcón y Barea, 1996). Segundo Borges *et al.* (2007) o uso de fungos micorrizas apresentou eficiência simbiótica para o crescimento de mudas de bananeira promovendo a proteção das mesmas. Diante dessas afirmações, seria possível um estudo detalhado nas áreas mapeadas verificando uma possível associação dos fungos presentes no solo tanto na ocorrência como na ausência da doença.

Com auxílio da krigagem indicativa e posteriormente a confecção de mapas, torna possível o uso dessa ferramenta em novas áreas a fim de identificar novos locais afetados pela doença isolando-as para que a doença não se propague para novas áreas e intervir com medidas preventivas nas áreas afetadas.

CONCLUSÕES

A probabilidade de ocorrência da doença apresentou dependência espacial na área cultivada com bananeira "Prata Anã", possibilitando a confecção do mapa.

O mapeamento da doença possibilitou diagnosticar as áreas de maior incidência, antecipar as medidas preventivas e isolar áreas afetadas fazendo com que a doença não avance para áreas sadias.

BIBLIOGRAFIA

Azcón, C. and J.M. Barea, 1996. Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens: an overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza* 6(6): 457-464.

Ascensao, A.R.F.D.C. and I.A. Dubery. 2003. Soluble and wall-bound phenolics polymers in *Musa acuminata* roots exposed to elicitors from *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *Phytochemistry*. 63(6): 679-686.

Beckman, C.H. and G.E. Zarrogian. 1967. Origin and composition of vascular gel in infected banana roots. *Phytopathology* 57: 11-13.

Borges, A.J.S., A.V. Trindade, A.P. Matos e M.F.S. Peixoto. 2007. Redução do mal-do-panamá em bananeira-maçã por inoculação de fungo micorrízico arbuscular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 42(1): 35-41.

Cordeiro, Z.J.M. 2000. Banana produção: aspectos técnicos. Embrapa comunicação para transferência de tecnologia, Brasília. 143 p.

Duarte, M.N., N. Curi, D.V. Pérez, N. Kampf e M.E.C. Claessem. 2000. Mineralogia, química e micromorfologia de solos de uma microbacia nos tabuleiros costeiros do Espírito Santo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35(6): 1237-1250.

Jaizme, M.C., B. Sosa and J.M. Hernández. 1998. Interaction of arbuscular mycorrhizal fungi and the soil pathogen *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* on the first stages of micropropagated Grande Naine banana. *Acta Horticulturae* 490: 285-295.

Landim, P. M. B. 2003. Análise estatística de dados geológicos. 2ª edição. Fundação Editora da UNESP/FEU, São Paulo. 253 p.

Matos, A.P., Z.J.M. Cordeiro, J.S. Silveira e D.M.V.Ferreira, 2001. O mal-do-Panamá ou murcha de fusarium da bananeira. 38-50. In: Anais, 1º Simpósio norte mineiro sobre a cultura da banana.

Robertson, G. P. 1998. Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide. Plainwell, Gamma Desing Software. 152 p.

Smith, L.J., M.K. Smith, S.D. Hamill, M.N. Hunter, K.G. Pegg and V.J. Galea. 1999. Towards improving resistance of micropropagated bananas to *Fusarium* wilt using bacteria and mycorrhizae. 1. Bioassay development. 224-233. In: Molina, A.B., N.H. Nik Masdek and K.W. Liew. Banana fusarium wilt management: Towards sustainable cultivation- Proceedings of the International Workshop on the Banana Fusarium Wilt Disease. Malásia: Inibap.

Zimback, C. R. L. 2001. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. Tese (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia)- Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 114 p.