

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DO PINHÃO-MANSO  
E SUA CORRELAÇÃO COM ATRIBUTOS DO SOLO**

**ADRIANA MARQUES DOS SANTOS**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL**

**2012**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DO PINHÃO-MANSO  
E SUA CORRELAÇÃO COM ATRIBUTOS DO SOLO**

ADRIANA MARQUES DOS SANTOS

Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. CRISTIANO MÁRCIO ALVES DE SOUZA

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal.

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL

2012

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DO PINHÃO-MANSO  
E SUA CORRELAÇÃO COM ATRIBUTOS DO SOLO**

por

Adriana Marques dos Santos

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de  
MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovada em: / /2012

---

Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza  
Orientador – UFGD

---

Prof<sup>a</sup>Dr<sup>a</sup> Marlene Estevão Marchetti  
Co-orientadora – UFGD

---

Prof. Dr. Roberto Carlos Orlando  
UFGD

---

Dr. César José da Silva  
EMBRAPA

## **Ofereço**

A Deus, que me deu força para concluir essa jornada...

A minha família, pelo incentivo no momento em que escolhi minha profissão, pelo suporte financeiro e pelo incondicional amor e carinho.

Aos amigos de caminhada, que estiveram ao meu lado.

## **DEDICO**

Dedico essa conquista a pessoa que em todos os momentos esteve ao meu lado e que me mostrou que é possível vencer independente de qualquer problema que apareça em nossas vidas.

Rozemeire Marques da Silva Morais, minha mãe.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter me concedido a vida e me dado a saúde necessária para realizar meus trabalhos.

Ao professor Cristiano Márcio Alves de Souza, pela orientação, paciência e apoio durante a realização deste trabalho.

Ao professor Roberto Carlos Orlando, pelo apoio e disposição em auxiliar no desenvolvimento do trabalho.

A Universidade Federal da Grande Dourados, por me proporcionar condições de expandir meus conhecimentos e realizar este estudo.

Aos professores e funcionários que auxiliaram no andamento do trabalho.

A FUNDECT, pela bolsa concedida.

A Embrapa Agropecuária Oeste, pelo apoio na execução do projeto.

Ao proprietário da Fazenda Paraíso Sr. Ernest Ferter e funcionários, por ter cedido a área e pela implantação do experimento.

Aos companheiros de equipe Braiam, Rômulo, Eduardo, Diogo, Antonio, Carlos, Rodrigo e João pelo apoio prestado e pela disposição em ajudar nos diversos trabalhos realizados.

Meus agradecimentos a todos os amigos que de alguma forma me deram suporte para chegar ao final dessa caminhada.

Muito obrigada.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
ARTIGO 1 .....	7
Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado com pinhão-manso .....	7
RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	8
INTRODUÇÃO .....	8
MATERIAL E MÉTODOS .....	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	13
CONCLUSÕES.....	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	22
ARTIGO 2 .....	24
Variabilidade espacial da produtividade do pinhão-manso e sua correlação com atributos químicos do solo .....	24
RESUMO .....	24
ABSTRACT .....	25
INTRODUÇÃO .....	25
MATERIAL E MÉTODOS .....	26
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
CONCLUSÃO .....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	42
APÊNDICES .....	43

## RESUMO

SANTOS, Adriana Marques dos, M.Sc., Universidade Federal da Grande Dourados, Agosto de 2012. Variabilidade espacial da produtividade do pinhão-manso e sua correlação com atributos do solo. Orientador: Cristiano Márcio Alves de Souza. Co-orientadores: Marlene Estevão Marchetti, Leidy Zulys Leyva Rafull e Antônio Carlos Tadeu Vitorino.

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma cultura que tem apresentado características favoráveis para a produção em grande escala de óleo vegetal para a fabricação de biocombustíveis. O conhecimento sobre a cultura ainda é incipiente e a tecnologia precisa de muitos estudos para ser mais viável técnica e economicamente. Dito isto, é importante realizar estudos dos fatores que possam influenciar o rendimento da produção dessa cultura em quantidade e qualidade do óleo produzido. As relações existentes entre o material de origem, a topografia, o tempo e os resultantes atributos induzem a uma variabilidade natural dos solos. A agricultura de precisão ou manejo por zonas uniformes tem por princípio básico o manejo da variabilidade dos solos e culturas no espaço e no tempo. O objetivo do trabalho foi, por meio de amostragem e técnicas de geoestatística, estudar a variabilidade espacial dos atributos químicos e da produtividade dos frutos e sementes de pinhão-manso, e posteriormente analisou-se a correlação entre eles. O estudo foi realizado no Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), em cooperação com a Embrapa Agropecuária Oeste e a Fazenda Paraíso. O experimento foi realizado determinando-se uma área de 60 pontos georreferenciados, cujo manejo foi realizado de maneira uniforme. A determinação dos pontos foi estabelecida pela contagem das plantas, sendo 15 plantas na linha, com espaçamento de 2 m, e 10 plantas entre as linhas, com espaçamento de 3 m. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e realizadas as determinações de rotina para pH H<sub>2</sub>O, pH CaCl<sub>2</sub>, K, P, Al, Ca, Mg, acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB) e saturação por bases (V%). Foi feita análise da produtividade dos frutos e das sementes do pinhão-manso. As técnicas de geoestatística possibilitaram o ajuste dos modelos teóricos que melhor representaram a semivariância experimental, possibilitando assim a construção de mapas temáticos da distribuição espacial dos valores dos atributos do solo estudados e permitindo definir zonas específicas de manejo na cultura do pinhão-manso, a fim de proporcionar maior controle e eficiência da produção.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas* L., agricultura de precisão, variabilidade espacial.



## ABSTRACT

SANTOS, Adriana Marques dos, M.Sc., Universidade Federal da Grande Dourados, August of 2012. Spatial variability of *Jatropha curcas* productivity and its correlation with soil attributes. Adviser: Cristiano Márcio Alves de Souza. Committee Members: Marlene Estevão Marchetti, Leidy Zulys Leyva Rafull e Antônio Carlos Tadeu Vitorino.

*Jatropha curcas* L. is a crop that has shown favorable characteristics for large-scale vegetable oil production for biofuels. The knowledge about the culture is still incipient and the technology needs many studies to be technically and economically feasible. It is important to conduct studies of the factors that may influence the quantity and quality oil production. The relationship between the parent material, topography, time and the resulting attributes induce a natural variability of soils. Precision agriculture or uniform management zones have the basic principle of variability management of soils and crops in space and time. The objective was, through sampling and geostatistical techniques to study the spatial and temporal variability of chemical attributes and productivity of *Jatropha curcas* fruit and seeds, and then analyzed the correlation between them. The study was conducted in the Laboratory of Machinery and Agricultural Mechanization, of Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), in cooperation with Embrapa Agropecuária Oeste and Fazenda Paraíso. The experiment was performed by determining an area of 60 georeferenced points, whose management was carried out uniformly. The determination of the points was established by counting plants, 15 plants on line, with spacing of 2 m, and 10 plants between rows, spaced 3 m. Soil samples were collected at 0-20 and 20-40 cm and analyzed on routine pH H<sub>2</sub>O, CaCl<sub>2</sub>, pH, K, P, Al, Ca, Mg, potential acidity (H + Al), sum of bases (SB) and base saturation (V%). It was done analysis of fruits and seeds productivity. Geostatistics techniques enabled the adjustment of the theoretical models that best represented the experimental semivariance, thus enabling the construction of thematic maps of the spatial distribution of studied soil attribute values and allowing to define specific areas of crop management of jatropha in order to provide greater control and production efficiency.

**Keywords:** *Jatropha curcas* L., precision agriculture, spatial variability.

## INTRODUÇÃO GERAL

As energias renováveis representam hoje apenas 13% do consumo mundial de energia, combustíveis fósseis 80% e energia nuclear 7%. Carvão, petróleo e gás foram a base energética do desenvolvimento tecnológico do século XX, mas criaram os problemas com os quais nos defrontamos hoje: exaustão de reservas, problemas geopolíticos e poluição (GOLDEMBERG et al., 2012).

Uma alternativa promissora para suprir a demanda energética é a utilização da biomassa que, de maneira geral, pode ser definida como todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizado para produção de energia. Quando produzida de forma eficiente e sustentável, a energia da biomassa traz inúmeros benefícios ambientais, econômicos e sociais em comparação com os combustíveis fósseis (GOLDEMBERG et al., 2012).

O Brasil, dispondo de boa insolação, clima tropical e terras abundantes, obtém custos de produção inferiores aos dos países produtores de clima temperado na América do Norte e Europa. Por ser um mercado ainda nascente, espera-se, a exemplo do que ocorreu com o álcool, que os custos, ao longo dos anos, possam ser reduzidos através da realização de pesquisas, principalmente no que se refere à utilização de oleaginosas (pinhão-manso, dendê, caroço de algodão e babaçu, entre outros) que estão à margem do agronegócio (PRATES et al., 2007).

O biodiesel é um combustível que pode ser fabricado a partir de uma óleos vegetais diversos, gordura animal e óleo de fritura, pelos processos de transesterificação e craqueamento.

Ele é obtido por meio da reação com álcool e catalisadores ou através da destilação com catalisadores e pode ser utilizado em qualquer motor a diesel, seja em caminhões, ônibus, barcos, trens, máquinas agrícolas e motogeradores de energia elétrica. Pode ser usado puro ou misturado ao diesel em diversas proporções (BRASIL, 2005).

Na comparação com o diesel, o biodiesel tem significativas vantagens ambientais. Estudos do National Biodiesel Board demonstraram que a queima de biodiesel pode emitir, em média, 48% menos monóxido de carbono, 47% menos material particulado (que penetra nos pulmões) e 67% menos hidrocarbonetos (MAPA, 2011).

Desde 1º de janeiro de 2010, o óleo diesel comercializado em todo o Brasil contém 5% de biodiesel. O Brasil está entre os maiores produtores e consumidores de biodiesel do mundo, com uma produção anual, em 2010, de 2,4 bilhões de litros e uma capacidade instalada, no mesmo ano, para cerca de 5,8 bilhões de litros. Cerca de 45% da energia e 18% dos combustíveis consumidos no Brasil já são renováveis. No resto do mundo, 86% da energia vêm de fontes energéticas não-renováveis. Pioneiro mundial no uso de biocombustíveis, o Brasil alcançou uma posição almejada por muitos países que buscam fontes renováveis de energia como alternativas estratégicas ao petróleo (ANP, 2012).

O pinhão-manso (*Jatropha curcas*) é uma cultura que tem apresentado características favoráveis para a produção em grande escala de óleo vegetal para a fabricação de biocombustíveis. Ele tem despertado muito interesse a nível internacional e no Brasil por seu alto conteúdo de óleo e o mais baixo custo de produção por litro de biodiesel (FRANCO et al., 2008).

A produção de óleo de pinhão-manso pode chegar a 1590 kg/ha/ano (GOMES, 2006). Esse óleo é inodoro, incolor, muito fluido, porém solidifica-se a -10°C, solúvel em benzina e água e insolúvel em álcool 96°GL. Sua toxidez para alimentação animal pode ser eliminada por aquecimento em solução aquosa a 100°C por 15 minutos (SOUZA, 2006).

A cultura do pinhão-manso também representa importante vantagem comparativa com a soja, a canola, o girassol, o dendê, o amendoim, entre outras culturas alimentares, por não concorrer com a oferta de alimentos.

O resíduo resultante da extração do óleo do pinhão-manso pode ser usado para recuperação de solos, pois é rico em NPK e, depois de destoxificado, como ração animal (FREIRE et al., 2010).

Embora se tenha esse potencial de produção, existe falta de informação tecnológica, tanto agrônômica como genética. Esta falta de informação limita o aumento de competitividade e por consequência, seu plantio em grandes áreas representa um investimento de alto risco (FRANCO et al., 2008).

A produtividade de uma cultura é influenciada por diversos fatores, incluindo manejo e propriedades intrínsecas do solo e da cultura (NUGTEREN e ROBERT, 2002).

As relações existentes entre o material de origem, a topografia, o tempo e os atributos do solo induzem a uma variabilidade natural dos solos. A agricultura de

precisão ou manejo por zonas uniformes tem por princípio básico o manejo da variabilidade dos solos e culturas no espaço e no tempo (COELHO, 2005). O conhecimento das zonas de manejo permite ao agricultor tomar a melhor decisão em relação aos tratamentos culturais a serem adotados.

A agricultura de precisão, segundo Vettorazzi e Ferraz (2000), baseia-se na coleta e análise de dados geoespaciais, viabilizando intervenções localizadas no cultivo, com a exatidão e a precisão adequadas. As técnicas de geoprocessamento subsidiam a identificação e a correlação das variáveis que afetam a produtividade ou outro parâmetro de interesse, por meio da sobreposição, do cruzamento e da regressão, em sistemas de informação geográfica (SIG), de mapas digitais do relevo, dos atributos do solo e da produtividade.

A geoestatística usualmente é empregada para estimar valores em pontos não amostrados, reduzindo a necessidade de amostragem. Um conceito básico na teoria das variáveis regionalizadas é a hipótese intrínseca, na qual uma função intrínseca (o semivariograma) descreve o comportamento da variável dentro do espaço (YAMAMOTO, 2002). O semivariograma, gráfico da semivariância em relação à distância entre amostras, é uma das principais ferramentas da geoestatística para verificar a existência de dependência espacial.

Para se obter o semivariograma é necessário que sejam calculados os valores de média, desvio padrão, valor mínimo, valor máximo, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose, através da estatística descritiva, buscando caracterizar a distribuição dos dados.

O alcance de um variograma é um parâmetro importante da geoestatística pois indica a distância a partir da qual as amostras passam a ser independentes, ou seja, a partir da qual a variação média entre duas observações não é mais função da distância entre elas, dando lugar a independência, sem correlações espaciais. O alcance de um variograma é, portanto, uma representação da zona de influência de uma observação e separa o campo estruturado (amostras correlacionadas) do campo aleatório (amostras independentes) (ANDRIOTTI, 2002).

A noção do comportamento da produtividade nas sub-áreas de produção permite a tomada de decisão de forma planejada e individualizada em cada uma dessas unidades de manejo, aumentando o uso eficiente de todos os recursos como a mecanização, irrigação e outros. Segundo Santos (2000), o planejamento estratégico ou gerencial preocupa-se em estabelecer a forma mais eficiente de alocar recursos

com base nos objetivos a serem alcançados, as alternativas a serem consideradas e o total de recursos à disposição.

O objetivo do trabalho foi, por meio de amostragem e técnicas de geoestatística, estudar a variabilidade espacial e temporal da produtividade dos frutos e sementes do pinhão-mansão e correlacioná-la com os atributos químicos do solo.

O trabalho está dividido em 2 artigos, sendo o primeiro destinado a estudar a variabilidade dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado com pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.), e o segundo a estudar a distribuição espacial da produtividade do pinhão-mansão e sua correlação com atributos químicos do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRIOTTI, J.L.S. **Notas de geoestatística**. Acta Geologica Leopoldensia. XXV, p.3-14, 2002.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Biodiesel**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel>, 2012.
- BRASIL. **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel**. 2005. Disponível em <<http://www.biodiesel.gov.br/>> Acesso em 15/02/10.
- COELHO, A.M. **Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005.
- FRANCO, D.A.S.; GABRIEL, D. Aspectos fitossanitários na cultura do pinhão manso. **Biológico**, São Paulo, v.70, n.2, p.63-64, 2008.
- FREIRE, E.A.; ESTRELA, M.A.; LIMA, V.L.A.; LAIMEL, E.M.O. **Importância do cultivo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) para o uso do biodiesel**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4 & SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1, 2010, João Pessoa. Inclusão Social e Energia: **Anais...** Campina grande: Embrapa Algodão, 2010. p. 118-121.
- GOLDEMBERG, J.; PALETTA, F.C. **Série energia e sustentabilidade: energias renováveis**. São Paulo. Editora Blucher, 2012. 110 p.
- GOMES, R. **Manual do biodiesel**. Litexa Editora, 2006. 134 p.
- MAPA. **Brasil é líder mundial no setor de agroenergia**. 2011. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2011/12/brasil-e-lider-mundial-no-setor-de-agroenergia>> Acesso em 16/08/12.
- NUGTEREN, T.; ROBERT P.C. Corn grain quality as affected by soil properties, management, and landscape. In INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. Minneapolis, MN., EUA, **Proceeding...** 2002. CDRom.
- PRATES, C.P.T.; PIEROBON, E.C.; COSTA, R.C. **Formação do mercado de biodiesel no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 25, p. 39-64. 2007.
- SANTOS, S.L.M.; **Sistema de apoio à decisão em colheita florestal**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.
- SOUZA, M.A.A. Especificação técnica do biodiesel. In CÂMARA, G.M.S.; HEIFFIG, L. S. (Eds.) Agronegócio de plantas oleaginosas: matérias-primas para biodiesel. 2006, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, 2006. p.7-23.
- VETTORAZZI, C.A.; FERAZ, S.F.B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: BORÉM, A.; GIUDICE, M. P.; QUEIRÓZ, D. M. de (Ed.). **Agricultura de precisão**. Viçosa, 2000. p. 65-75.

YAMAMOTO, J.K. **II Curso de Geoestatística Aplicada**. São Paulo: USP/LIG/ABGE, 2002.76 p.

## ARTIGO 1

### VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO CULTIVADO COM PINHÃO-MANSO

#### RESUMO

É conhecido que no desenvolvimento de uma cultura pode existir variabilidade espacial da produtividade dentro de uma mesma área, principalmente devido ao estado nutricional das plantas e às propriedades químicas do solo. O trabalho teve como objetivo utilizar técnicas de geoestatística para elaborar, por meio de amostragem, mapas de variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em áreas cultivadas com pinhão-manso. Definiu-se uma área cujo manejo foi feito de maneira uniforme, e sobre ela ajustou-se uma malha de 60 pontos georreferenciados. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40cm e realizadas as determinações de rotina para pH H<sub>2</sub>O, pH CaCl<sub>2</sub>, K, P, Al, Ca, Mg, acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB) e saturação por bases (V%). Todos os atributos apresentaram grau de dependência espacial forte, exceto Mg, que apresentou dependência espacial moderada, na profundidade de 0-20 cm. Na profundidade de 20-40 cm os atributos pH CaCl<sub>2</sub>, Ca e V% apresentaram dependência moderada, enquanto os demais atributos apresentaram dependência forte. O estudo dos modelos teóricos que melhor representaram a semivariância experimental permitiu a construção de mapas temáticos da distribuição espacial dos valores dos atributos químicos do solo. Os modelos foram, em geral, diferentes para cada camada. Observou-se que o modelo matemático exponencial foi quem predominou dentre os atributos na profundidade 20-40 cm, enquanto que na camada 0-20 cm o modelo predominante foi o gaussiano. Esses dados permitem definir zonas específicas de manejo na cultura do pinhão-manso, a fim de proporcionar maior controle e eficiência da produção.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas*, agricultura de precisão, biodiesel.



## SPATIAL VARIABILITY OF OXYSOIL CHEMICAL ATTRIBUTES CULTIVATED WITH *JATROPHA CURCAS*

### ABSTRACT

It is known that the development of a culture can exist spatial productivity variability within the same area, mainly due to the status of plants and soil chemical properties. The work aimed to use geostatistical techniques to develop, through sampling, maps of spatial variability of soil chemical properties in areas cultivated with *Jatropha curcas*. It was defined an area whose management was done evenly, and set it on a mesh of 60 points georeferenced. Soil samples were collected at 0-20 and 20-40 cm and analyzed on routine pH H<sub>2</sub>O, CaCl<sub>2</sub> pH, K, P, Al, Ca, Mg, potential acidity (H + Al), sum of bases (SB) and base saturation (V%). All attributes showed strong dependence, except Mg, which showed moderate spatial dependence at a depth of 0-20 cm. At 20-40 cm attributes pH CaCl<sub>2</sub>, Ca and V% had moderate dependence, while other attributes showed strong dependence. The study of theoretical models that best represented the experimental semivariance allowed the construction of thematic maps of the spatial distribution of the values of soil chemical properties. The models were, in general, different for each layer. It was observed that the exponential mathematical model was predominant among those attributes 20-40 cm in depth, while in the 0-20 cm layer was the predominant Gaussian model. These data allow to define specific areas of crop management of *Jatropha curcas* in order to provide greater control and production efficiency.

**Keywords:** *Jatropha curcas* L., precision agriculture, biodiesel.

### INTRODUÇÃO

O Brasil conta com características que favorecem a liderança no setor da agroenergia como a grande extensão territorial e os recursos naturais que possibilitam ampliar a produção de insumos energéticos provenientes da biomassa. Os avanços na substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel, servem de modelo para outras nações.

A agregação de valor à produção primária representa importante vantagem comparativa para o Brasil. O biodiesel é uma dessas possibilidades, talvez a mais promissora, porque a demanda de energia vai aumentar enquanto a economia mundial estiver crescendo (BRASIL, 2005).

O pinhão-manso destaca-se por apresentar diversas vantagens, dentre elas, possui o ciclo produtivo longo com produção de óleo podendo chegar a 1590 kg/ha/ano (GOMES, 2006). Outra vantagem é o baixo custo de produção, pois o pinhão-manso é uma planta perene que contribui para a conservação do solo, fator importante para sua viabilidade econômica, especialmente na agricultura familiar (MELO et al., 2010).

A vantagem do pinhão-manso em relação a outras culturas promissoras para a produção de biodiesel é que, sendo uma espécie não alimentar, o pinhão-manso não concorre diretamente com a produção de alimentos.

É conhecido que no desenvolvimento de uma cultura existe uma variabilidade espacial e temporal da produtividade dentro de uma mesma área, principalmente devido à disponibilidade nutricional e às propriedades físicas e químicas do solo. Segundo Ortiz (2003), a análise da distribuição espacial das variáveis envolvidas na produção, possibilita a distinção de regiões com menor e maior variabilidade e a geração de mapas de aplicação diferenciada dos insumos agrícolas. Para isso, se leva em conta a quantidade de nutrientes necessária ao ótimo desenvolvimento do cultivo e a quantidade disponível em diferentes áreas do talhão (variabilidade espacial), promovendo a produtividade máxima, melhor uniformização da produtividade e maior eficiência e otimização dos recursos utilizados.

A avaliação da acidez de um solo, da quantidade de Al e de elementos essenciais ao desenvolvimento da planta é fundamental para o planejamento adequado do manejo em uma área.

A acidez do solo é um fator limitante a diversas culturas. O alumínio também está presente no solo, sendo, porém, um elemento tóxico para as plantas, o que torna sua presença indesejada, e sua eliminação se dá através da aplicação de calcário, que o converte a uma forma que a planta não consegue absorver.

Recentes trabalhos mostram que elementos como o K, Ca, P e Mg tem influência no desenvolvimento dos frutos e sementes do pinhão-manso, em diferentes níveis.

As técnicas de geoestatística são utilizadas para descrever e modelizar padrões espaciais através de variogramas, predizendo valores em locais não amostrados. A geoestatística parte do princípio que a diferença entre o valor de duas observações quaisquer é função da distância e da direção em que ocorre esse afastamento entre os pontos de medida (ANDRIOTTI, 2002).

Considerando que a cultura do pinhão-manso ainda é relativamente nova, ainda não existem recomendações exatas acerca dos níveis ótimos de nutrientes para o seu desenvolvimento. Dito isso, é importante se realizar estudos para identificar a distribuição dos atributos do solo dentro das áreas cultivadas.

O objetivo do trabalho foi, por meio de amostragem e técnicas de geoestatística, estudar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em uma área cultivada com pinhão-manso.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado no Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), em cooperação com a Embrapa Agropecuária Oeste e a Fazenda Paraíso. Os testes de campo foram realizados em área produtora de pinhão-manso, pertencente a Fazenda Paraíso, que está localizada nas coordenadas UTM Leste 673519,59m, Norte 7555554,69m e altitude de 514m, no distrito de Itahum, município de Dourados, em área de Latossolo Vermelho Distrófico.

O pinhão-manso foi implantado em novembro de 2006, por meio de semeadura direta no campo, colocando-se 3 sementes por cova, posteriormente foi realizado o desbaste deixando uma planta por cova no espaçamento de 3 x 2 m. Nas safras 2006/07 e 2007/08 foram realizadas a condução e os tratamentos culturais, normalmente empregados para a cultura.

O pinhão-manso recebeu adubação, na linha, em superfície, na terceira e quarta safra, de 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 08-20-20, parcelada em duas aplicações (50% na primeira em outubro de 2008 e 2009 e 50% na segunda em março de 2009 e 2010). O manejo das espécies de cobertura foi realizado por meio de roçadas, com roçadora costal.

Definiu-se uma área cujo manejo foi feito de maneira uniforme, e sobre ela ajustou-se uma malha de 60 pontos georreferenciados por meio de DGPS, conforme a Figura 1.

A determinação dos pontos foi estabelecida pela contagem das plantas, sendo 15 plantas na linha, com espaçamento de 2 m, e 10 plantas entre as linhas, com espaçamento de 3 m.

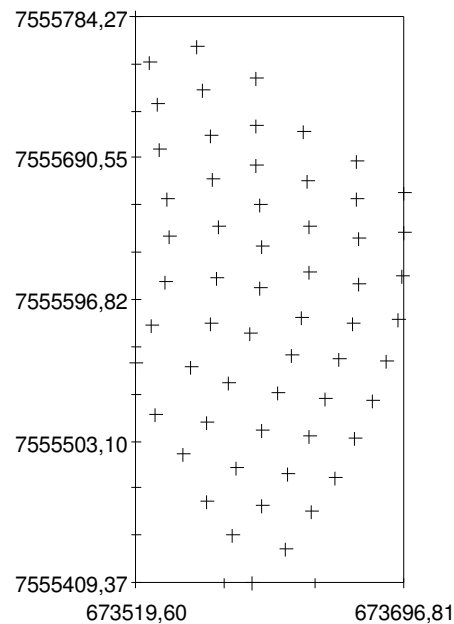


FIGURA 1. Malha de pontos georreferenciados.

Em cada um dos pontos, por meio de um trado tipo holandês, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40cm.

No Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal da Grande Dourados foram realizadas as determinações de rotina para pH, K, Al, Ca, Mg, acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB) e saturação por bases (V%).

Através da análise estatística descritiva foram calculados os valores para a média, desvio padrão, valor máximo, valor mínimo, coeficiente de variação, coeficiente de curtose e coeficiente de assimetria dos atributos químicos estudados, para as duas faixas de profundidade do solo.

O coeficiente de curtose mostra até que ponto a curva de frequências de uma distribuição se apresenta mais afilada ou mais achatada que uma curva padrão, ou seja, uma curva normal. Em programas computacionais como GS+ existe uma padronização do valor de Ck, onde o valor de comparação é o zero, portanto, se Ck =

0 a distribuição é mesocúrtica, se  $C_k < 0$  a distribuição é platicúrtica e se  $C_k > 0$  a distribuição é leptocúrtica.

O coeficiente de assimetria foi utilizado para caracterizar como e quanto a distribuição de frequências se afasta da simetria, ou seja, ocorre quando a média, e a mediana recaem em pontos diferentes da distribuição. Quanto ao grau de deformação, as curvas podem ser de distribuição simétrica, quando  $C_s=0$ ; assimétricas positivas, quando  $C_s>0$ ; e assimétricas negativas, quando  $C_s<0$ .

Para se estudar a variabilidade dos atributos do solo, foi calculada a semivariância para todos os pares de pontos possíveis. A semivariância pode ser estimada por meio da seguinte equação (VIEIRA, 2000):

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

em que,

$\gamma^*(h)$  - semivariância estimada para distância  $h$ ;

$N(h)$  - número de pares de valores medidos;

$h$  - vetor que separa a posição das medições;

$Z(x_i)$  - valor da variável na posição  $x$ ;

$Z(x_i+h)$  - valor da variável na posição  $x + h$ .

Em seguida realizou-se o ajuste de um modelo aos dados utilizando-se o programa computacional GS+ (Gamma design software). Os principais modelos utilizados foram esférico, exponencial e gaussiano (VIEIRA, 2000). O modelo que apresentou melhor ajuste, avaliado pela soma de quadrados de resíduos e coeficiente de determinação, foi selecionado.

Nos estudos realizados sobre semivariograma o valor de alcance é caracterizado como um dos parâmetros mais importantes, pois pontos vizinhos dentro de um mesmo círculo com um raio do alcance são tão similares que podem ser utilizados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (COUTO et al., 2002). Quando se tem pontos fora do raio do alcance, significa que as variáveis são independentes entre si. Quando o valor do espaçamento entre os pontos amostrados

forem menor que os valores do alcance, significa que as amostras estão correlacionadas umas com as outras, permitindo a interpolação.

Para a análise do grau de dependência espacial foi utilizado o índice de dependência espacial (Equação 2) e os intervalos propostos por Zimback (2001), que considerou a dependência espacial fraca ( $IDE < 25\%$ ); moderada ( $25\% \leq IDE < 75\%$ ) e forte ( $IDE \geq 75\%$ ).

$$IDE = \frac{C_o}{C_o + C} \quad (2)$$

em que:

IDE - índice de dependência espacial;

$C_o$  - efeito pepita;

$C_o + C$  - patamar.

Havendo dependência espacial, a técnica de krigagem foi utilizada no programa computacional GS+ (Gamma design software) e um outro programa de geração dos mapas para elaborar o mapa de variabilidade dos atributos químicos da área cultivada com pinhão-mansão.

Os mapas foram gerados utilizando-se o modelo que apresentou o melhor ajuste na análise geoestatística. Foram utilizados 08 vizinhos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos Quadros 1 e 2 encontram-se apresentados os valores de média, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo, coeficiente de assimetria e coeficiente curtose dos atributos químicos do solo para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente.

O coeficiente de variação que obteve menor valor entre os atributos nas duas profundidades foi o pH H<sub>2</sub>O, sendo que na profundidade de 0-20 cm o valor foi de 11,16%, e na profundidade de 20-40 cm obteve o valor de 6,27%. O Al foi o atributo que apresentou o maior valor na profundidade 0-20 cm, 161,32%. Na profundidade de 20-40 cm o K apresentou maior valor, 132,70%.

QUADRO 1. Valores de média (X), desvio padrão ( $\sigma$ ), valor mínimo (Mín), valor máximo (Máx), coeficiente de variação (CV), coeficiente de assimetria ( $C_s$ ) e coeficiente de curtose ( $C_k$ ) dos atributos químicos do solo na profundidade de 0-20 cm.

Atributos	Parâmetro						
	X	$\sigma$	CV	Máx	Mín	$C_s$	$C_k$
pH CaCl <sub>2</sub>	4,783	0,534	11,16	5,8	3,72	-0,07 (0,31)	-0,65(0,61)
pH H <sub>2</sub> O	5,69533	0,50556	8,88	6,61	4,08	-0,39 (0,31)	0,38 (0,61)
P (mg/dm <sup>3</sup> )	4,075	2,026	49,72	11,34	0,91	1,07 (0,31)	1,71 (0,61)
K (cmol)	0,376	0,506	134,57	1,99	0,05	1,95 (0,31)	2,75 (0,61)
Al (cmol)	0,46	0,74209	161,32	3,36	0,0	1,94 (0,31)	3,48 (0,61)
Ca (cmol)	3,401	0,819	24,08	4,98	1,53	-0,13 (0,31)	-0,79 (0,61)
Mg (cmol)	2,003	0,558	27,86	3,20	0,60	0,08 (0,31)	-0,23 (0,61)
H+Al (cmol)	2,599	1,295	49,83	8,94	1,23	2,24 (0,31)	7,80 (0,61)
SB (cmol)	5,835	1,615	27,68	9,95	2,26	0,08 (0,31)	-0,50 (0,61)
CTC (cmol)	8,434	1,742	20,65	14,77	6,14	0,92 (0,31)	1,42 (0,61)
V%	69,102	12,773	18,48	86,13	34,75	-0,98 (0,31)	0,28 (0,61)

QUADRO 2. Valores de média (X), desvio padrão ( $\sigma$ ), valor mínimo (Mín), valor máximo (Máx), coeficiente de variação (CV), coeficiente de assimetria ( $C_s$ ) e coeficiente de curtose ( $C_k$ ) dos atributos químicos do solo na profundidade de 20-40 cm.

Atributos	Parâmetro						
	X	$\sigma$	CV	Máx	Mín	$C_s$	$C_k$
pH CaCl <sub>2</sub>	4,119	0,262	6,36	5,08	3,60	0,58 (0,31)	1,64 (0,61)
pH H <sub>2</sub> O	4,96	0,311	6,27	5,85	3,84	-1,10(0,31)	4,45(0,61)
P (mg/dm <sup>3</sup> )	1,441	0,663	46,01	3,97	0,26	0,99(0,31)	2,27(0,61)
K (cmol)	0,159	0,211	132,70	0,97	0,03	1,97(0,31)	3,18(0,61)
Al (cmol)	2,040	0,738	36,18	3,72	0,0	0,03(0,31)	0,22(0,61)
Ca (cmol)	1,789	0,357	19,96	3,10	1,32	1,27(0,31)	2,20(0,61)
Mg (cmol)	0,962	0,284	29,52	1,84	0,53	1,17(0,31)	1,35(0,61)
H+Al (cmol)	3,258	1,231	37,78	6,93	1,44	0,81(0,31)	-0,05(0,61)
SB (cmol)	2,923	0,743	25,42	5,92	1,89	1,45(0,31)	3,39(0,61)
CTC (cmol)	6,181	1,315	21,27	9,19	4,08	0,38(0,31)	-0,87(0,61)
V%	48,304	11,059	22,89	76,87	24,62	0,20(0,31)	0,03(0,61)

Observa-se que na profundidade de 20-40 cm obteve-se, em média, pH CaCl<sub>2</sub> de 4,119 e uma saturação por bases de 48,3%, sendo necessário a realização da correção da acidez deste solo.

Apesar do pinhão-mansão permitir o cultivo consorciado com outras espécies utilizadas na alimentação como soja, feijão, milho, amendoim, entre outros,

os estudos da área indicaram que o solo é ácido e apresenta alto teor de alumínio, o que poderia ser limitante para o desenvolvimento ótimas dessas culturas.

Observa-se que na profundidade de 20-40 cm ocorreu assimetria positiva para todos os atributos estudados, exceto pH H<sub>2</sub>O, enquanto na profundidade de 0-20 cm o H+Al foi quem obteve o maior valor, com resultados de 2,24. A menor assimetria negativa foi para a saturação por bases com resultados de -0,98 na profundidade de 0–20 cm.

Os atributos que apresentaram  $C_k < 0$  na profundidade de 0-20 cm foram o pH CaCl<sub>2</sub>, o Ca, o Mg e a SB, onde o menor valor foi do Ca de -0,79, enquanto na profundidade de 20-40 cm a CTC obteve o menor valor de -0,87, com a distribuição sendo relativamente plana para as duas profundidades. Os atributos que apresentaram  $C_k > 0$  na profundidade 0-20 cm foram pH H<sub>2</sub>O, P, K, Al, H+Al, CTC e V%, onde o H+Al obteve maior valor 7,80 seguido pelo Al 3,48, enquanto na profundidade de 20-40 cm foram pH H<sub>2</sub>O, pH CaCl<sub>2</sub>, P, Al, K, Ca, Mg, SB e V%, onde o pH H<sub>2</sub>O obteve o maior valor (4,45), seguido pela SB (3,39) e K(3,18), indicando que a distribuição é relativamente em cume para as duas profundidades.

Nos Quadros 3 e 4 encontram-se os valores do efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0+C$ ), alcance (A),  $R^2$ , RSS, índice de dependência espacial (IDE) e modelo dos atributos do solo, para as profundidades 0-20 cm e 20-40cm, respectivamente.

QUADRO 3. Valores do efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0+C$ ), alcance (A),  $R^2$ , RSS, índice de dependência espacial (IDE) e modelo dos atributos do solo na profundidade de 0-20 cm.

Atributos	Parâmetros						
	$C_0$	$C_0+C$	A	$R^2$	RSS	IDE (%)	Modelo
pH CaCl <sub>2</sub>	0,0001	0,309	83,14	0,94	$4,46 \times 10^{-3}$	100	Gaussiano
pH H <sub>2</sub> O	0,009	0,281	88,68	0,91	$5,079 \times 10^{-3}$	96,8	Gaussiano
P (mg/dm <sup>3</sup> )	0,01	3,824	33,10	0,17	0,571	99,7	Esférico
K (cmol)	0,0001	0,2592	58,20	0,68	0,0214	100	Gaussiano
Al (cmol)	0,001	0,52	59,06	0,71	0,0757	99,8	Gaussiano
Ca (cmol)	0,001	0,699	68,59	0,77	0,0974	99,9	Gaussiano
Mg (cmol)	0,1929	0,4568	343,50	0,89	$3,081 \times 10^{-3}$	57,8	Esférico
H+Al (cmol)	0,001	2,011	236,40	0,80	0,510	100	Exponencial
SB (cmol)	0,001	2,699	59,58	0,77	1,17	100	Gaussiano
CTC (cmol)	0,17	4,039	290,70	0,76	1,87	95,8	Exponencial
V%	0,1	165,4	73,44	0,84	3501	99,9	Gaussiano



O modelo que predominou como o mais adequado à descrição dos atributos, na profundidade 0-20 cm foi o modelo gaussiano.

QUADRO 4. Valores do efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0+C$ ), alcance (A),  $R^2$ , RSS, índice de dependência espacial (IDE) e modelo dos atributos do solo na profundidade de 20-40 cm.

Atributos	Parâmetro						
	$C_0$	$C_0+C$	A	$R^2$	RSS	IDE (%)	Modelo
pH CaCl <sub>2</sub>	0,0384	0,1033	238,50	0,89	2,422 x 10 <sup>-4</sup>	62,8	Gaussiano
pH H <sub>2</sub> O	0,0536	0,2102	377,07	0,97	1,042 x 10 <sup>-4</sup>	99,7	Gaussiano
P (mg/dm <sup>3</sup> )	0,011	0,426	51,30	0,28	6,415 x 10 <sup>-3</sup>	97,4	Exponencial
K (cmol)	0,0266	0,1069	1232,70	0,86	5,895 x 10 <sup>-5</sup>	75,1	Exponencial
Al (cmol)	0,064	0,589	92,70	0,49	0,0255	89,1	Exponencial
Ca (cmol)	0,0203	0,1386	83,40	0,32	1,201 x 10 <sup>-3</sup>	32,9	Exponencial
Mg (cmol)	0,0133	0,0879	66,00	0,17	6,724 x 10 <sup>-4</sup>	84,9	Exponencial
H+Al (cmol)	0,066	2,132	240,00	0,99	0,0259	96,9	Exponencial
SB (cmol)	0,079	0,589	60,00	0,13	0,0288	86,6	Exponencial
CTC (cmol)	0,13	2,103	167,30	0,97	0,0485	93,8	Esférico
V%	66,7	187,7	308,70	0,85	746	64,5	Esférico

O maior valor de alcance observado entre os atributos, na profundidade 0-20 cm, foi para o Mg de 343,50 m, enquanto o menor valor foi do P de 33,1 m. O que significa que o Mg apresenta alta dependência espacial e o P, baixa dependência.

O maior valor de alcance observado entre os atributos, na profundidade 20-40 cm foi do K, de 1232,70 m, enquanto o menor valor foi do P de 51,3 m.

Observa-se que para os atributos K, pH CaCl<sub>2</sub>, H+Al e SB a relação entre o efeito pepita e patamar foi igual a 100%, neste caso tem-se o semivariograma com efeito pepita puro. O efeito pepita puro indica que a distribuição espacial da variável na área de estudo é aleatória ou a malha amostral utilizada não possui pontos suficientes para detectar a dependência, que, se existir, será manifestada a distâncias menores que o menor espaçamento entre amostras (GUIMARÃES, 2004).

Os maiores valores de  $R^2$  foram o do pH CaCl<sub>2</sub> (0,94), na profundidade 0-20 cm e o de H+Al (0,99) na profundidade 20-40 cm.

Observa-se que o modelo matemático exponencial foi quem predominou dentre os atributos, na profundidade 20-40cm.

McBratney e Webster (1986) estudando modelos de ajuste do semivariograma para atributos do solo observaram que os modelos matemáticos mais encontrados são esféricos e exponenciais, o que se observa na camada 20-40cm e não

na camada 0-20cm. Grego e Vieira (2005) relataram que o modelo matemático esférico é o que predomina nos trabalhos de ciência do solo, porém essa afirmação não foi confirmada em nenhuma das camadas.

O modelo matemático que predominou para a descrição dos atributos na profundidade 0-20cm foi diferente do modelo mais adaptado para a profundidade 20-40cm. Isso indica que, quando se estuda uma cultura perene como o pinhão-manso, é importante fazer um estudo individualizado para as diferentes profundidades.

Nas Figuras 2 e 3 estão apresentados os mapas da distribuição espacial dos atributos químicos do solo (pH H<sub>2</sub>O, pH CaCl<sub>2</sub>, K, P, Ca, Mg, SB, (H+Al), Al, CTC e V%) nas profundidades 0-20 e 20-40cm, respectivamente.

Os atributos em que se observaram menores valores de alcance resultaram em mapas mais fracionados. Isso se deve ao fato desse parâmetro estar relacionado à existência ou não da dependência entre os fatores. Um maior valor de alcance indica que os valores são altamente dependentes entre si em relação aos de menor alcance.

Analisando os mapas de distribuição dos atributos, o pH CaCl<sub>2</sub> apresentou valores mais baixos na parte mais elevada do terreno. Os valores para acidez potencial foram menores na região mais baixa da área. Arruda et al. (2004), relataram que em solos ácidos, com pH abaixo de 4,5, as raízes do pinhão-manso não se desenvolvem, sendo necessária a realização de calagem com base em análise química do solo. A calagem deve ser realizada cerca de três meses antes do plantio, com o calcário incorporado a profundidade de até 20 cm do solo, em duas aplicações, antes da aração e quando da gradagem específica para a correção do solo.

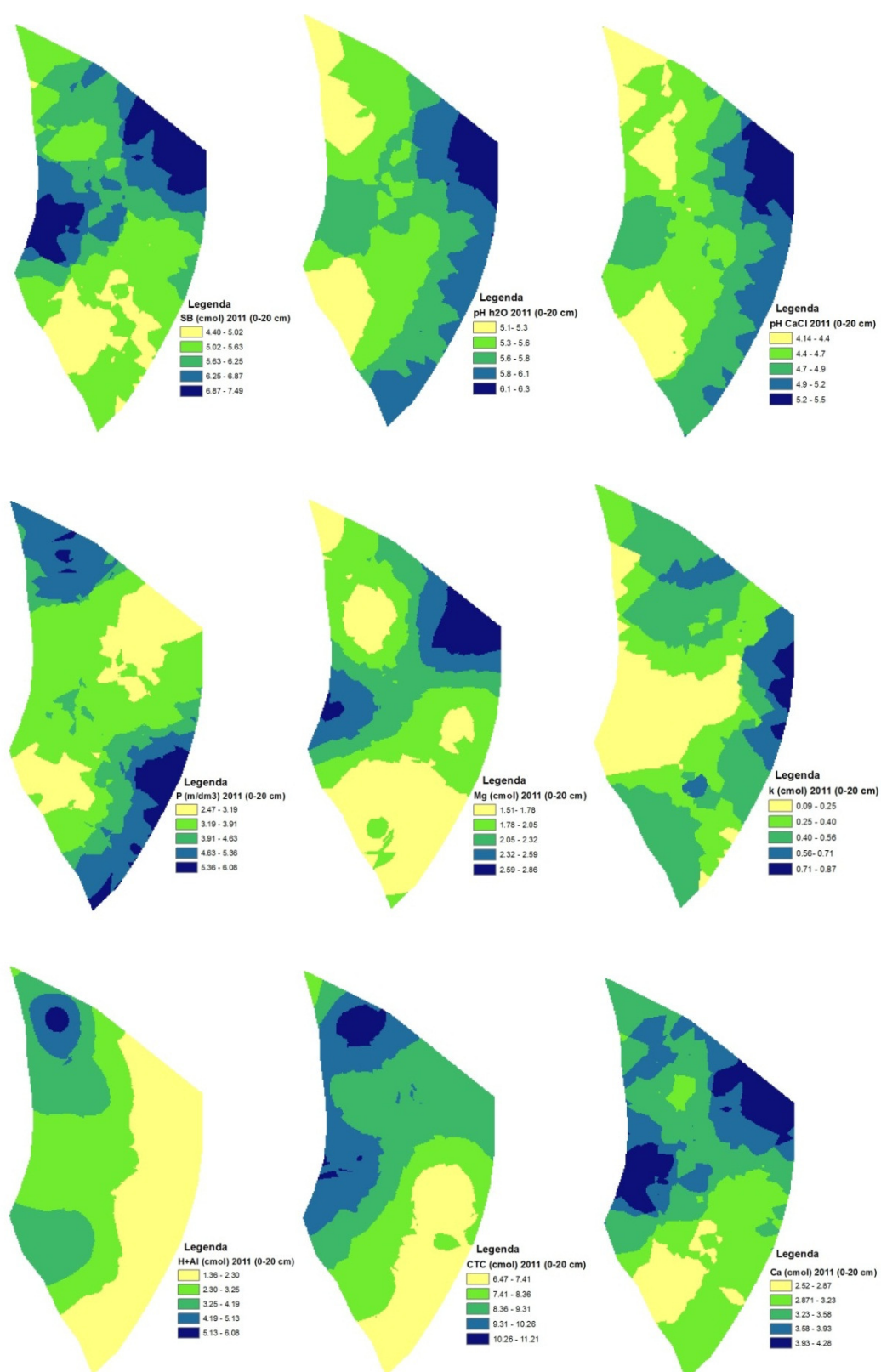


FIGURA 2. Mapas da distribuição espacial dos atributos químicos do solo na profundidade 0-20 cm.

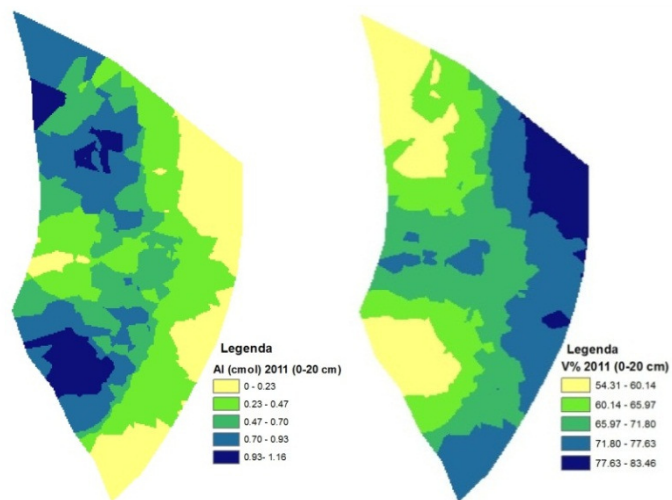


FIGURA 2. Mapas da distribuição espacial dos atributos químicos do solo na profundidade 0-20 cm (continuação...).

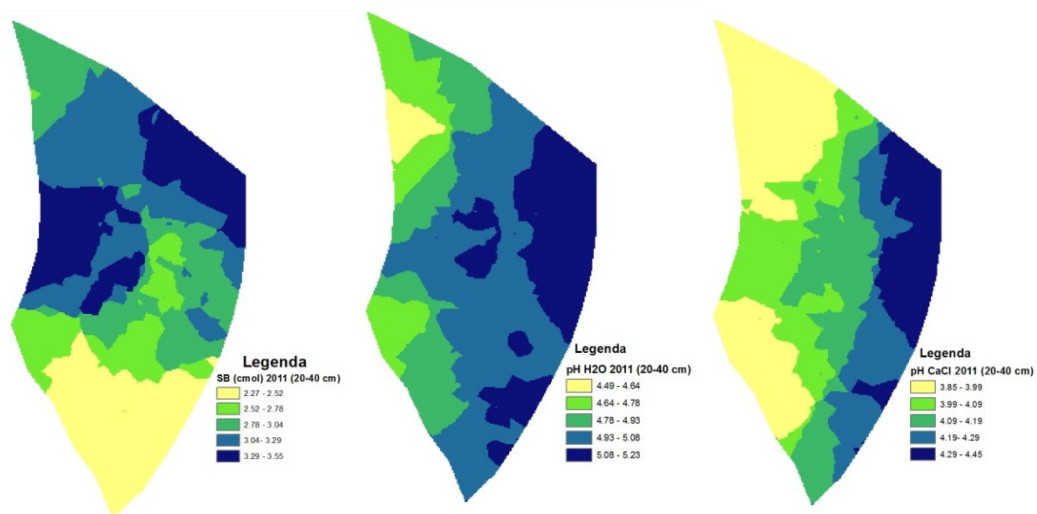


FIGURA 3. Mapas da distribuição espacial dos atributos químicos do solo na profundidade 20-40 cm.

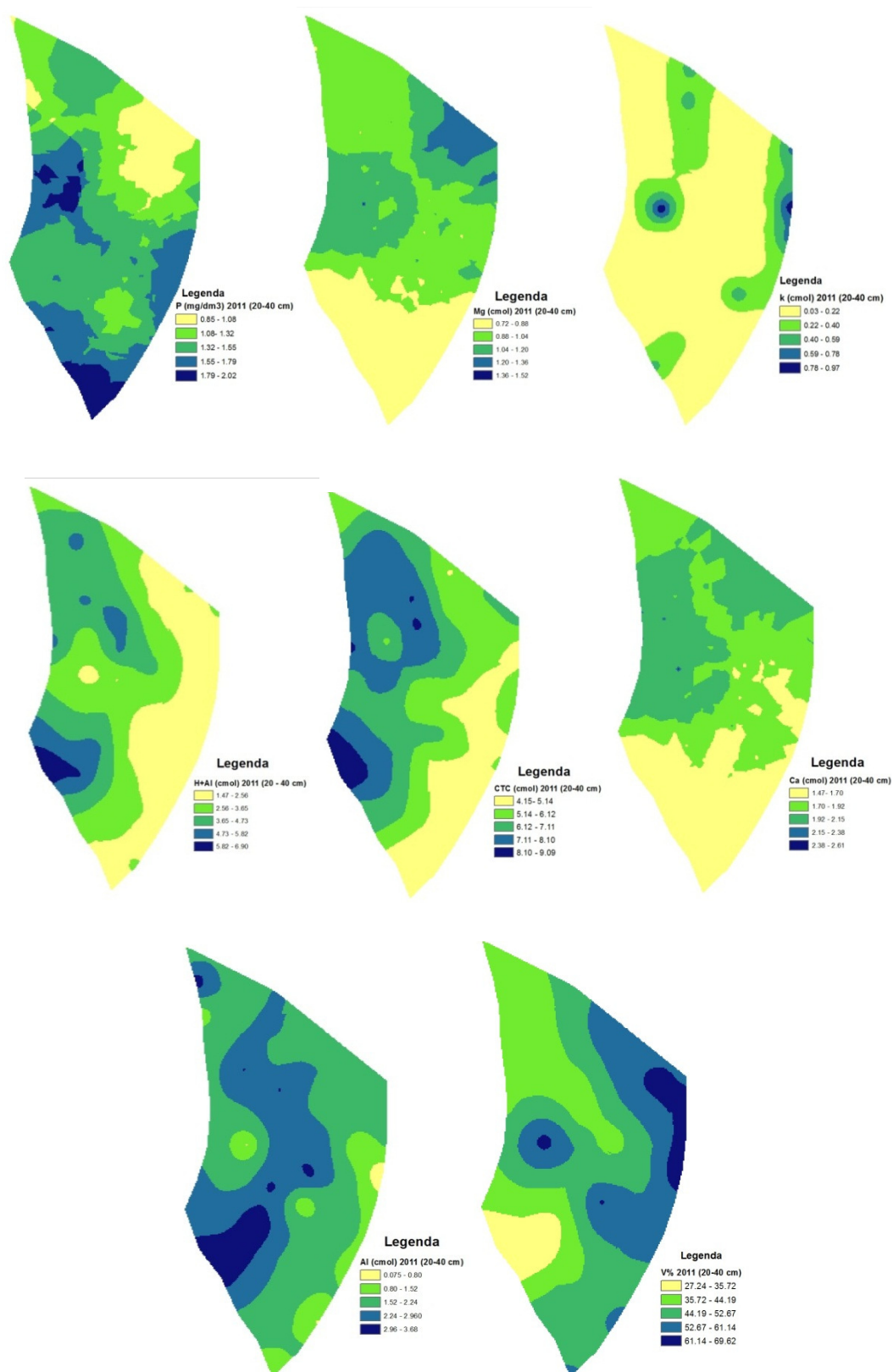


FIGURA 3. Mapas da distribuição espacial dos atributos químicos do solo na profundidade 20-40 cm (continuação...).

Os teores de P foram em geral baixos o que normalmente ocorre nos solos do cerrado brasileiro. Essa característica, associada à alta capacidade que esses solos têm para reter o P na fase sólida, é a principal limitação para o desenvolvimento de qualquer atividade agrícola rentável sem a aplicação de adubos fosfatados (SOUZA et al., 2003), embora não se tenha indicações claras para os níveis de P para o pinhão-mansão.

A grande maioria dos solos brasileiros, notadamente aqueles em que estão ocorrendo a expansão da fronteira agrícola, como os solos sob cerrados, apresenta características de acidez, toxidez de Al e/ou Mn e também baixos níveis de Ca e Mn (SOUZA et al., 2003). Em geral, as respostas mais convenientes a P estão condicionadas, além da correção da acidez, à adição de doses adequadas de outros nutrientes, como nitrogênio (N), potássio (K), enxofre (S) e micronutrientes (SOUZA et al., 2003).

As omissões de macro e micronutrientes para o pinhão-mansão provocam sintomas visuais de deficiência nutricional, comuns a outras espécies (SILVA et al., 2009). Através das observações a campo foi possível perceber as diferenças no porte das plantas e na produtividade. As plantas que estavam na parte mais alta do terreno eram de maior porte enquanto que as plantas que estavam na parte mais baixa do terreno eram de menor porte, conforme os resultados encontrados por Silva et al. (2009).

Os níveis de K ficaram entre 0,09 e 0,87 cmol, na profundidade 0-20 cm. Em seu trabalho, Silva et al. (2009) relatou que a deficiência nutricional observada no pinhão-mansão refere-se basicamente aos macronutrientes e à calagem. As plantas sob omissão de P, K e calagem apresentariam menor crescimento. A parte aérea das plantas deficientes em N, P, K, Ca, Mg e da calagem seria mais afetada. As raízes das plantas de pinhão-mansão seriam mais afetadas pela deficiência de N, P, Mg e Ca. A ordem de limitação da produção de matéria seca total, em mudas de pinhão-mansão seria  $Ca > Mg > K > N > P > S$ , para macronutrientes, e  $Fe > Cu > Zn > Mn > B$ , para micronutrientes

## CONCLUSÕES

Todos os atributos apresentaram grau de dependência espacial forte, exceto Mg, que apresentou dependência espacial moderada, na profundidade de 0-20cm. Na profundidade de 20-40cm os atributos pH CaCl<sub>2</sub>, Ca e V% apresentaram dependência moderada, enquanto os demais atributos apresentaram dependência forte.

Há variabilidade espacial dos atributos químicos do Latossolo Vermelho Distrófico na área estudada.

Os modelos foram, em geral, diferentes para cada camada. Observou-se que o modelo matemático exponencial foi quem predominou dentre os atributos, na profundidade 20-40 cm, enquanto que na camada de 0-20 cm o modelo predominante foi o gaussiano.

O estudo dos modelos teóricos que melhor representaram a semivariância experimental permitiu a construção de mapas temáticos da distribuição espacial dos valores dos atributos do solo. Esses dados permitem definir zonas específicas de manejo na cultura do pinhão-manso, a fim de proporcionar maior controle e eficiência da produção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOTTI, J.L.S. **Notas de geoestatística**. Acta Geologica Leopoldensia. XXV, p.3-14, 2002.

ARRUDA, F.P.; BELTRÃO, N.E.M.; ANDRADE, A.P.; PEREIRA, W.E.; SEVERINO, L.S. **Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino**. Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.

BRASIL. **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel**. 2005. Disponível em <<http://www.biodiesel.gov.br/>> Acesso em 15/02/10.

COUTO, E.G.; SCARAMUZZA, J.F.; MARASHINI, L. Influência dos métodos de interpolação dos dados nos mapas usados na agricultura de precisão. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2, 2002. Viçosa. **Anais Eletrônicos...** Viçosa 2002.

GOMES, R. **Manual do biodiesel**. Litexa Editora, 2006. 134 p.

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

GUIMARÃES, E.C. **Geoestatística básica e aplicada**. Universidade Federal de Uberlândia.2004. 76 p.

McBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.37, n.3, p.617-639, 1986.

MELO, J.C.; BRANDER Jr, WALTER; CAMPOS, R.J.A.; PACHECO, J.G.A.; SCHULER, A.RP.; STRAGEVITCH, L. **Avaliação Preliminar do Potencial do Pinhão Manso para a Produção de Biodiesel**. Biodiesel. Recife. p.198-203, 2010.

ORTIZ, J.L. **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo**. 2003. 205p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do cerrado**. Piracicaba, Potafos, Junho/2003. 16p. (Informações Agronômicas, 102).

SILVA, E.B.; TANURE, L.P.P.; SANTOS, S.R.; RESENDE JUNIOR, P.S. **Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-manso**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.44, n.4, p.392-397, abr. 2009.

VIEIRA, S.R. **Geoestatística Aplicada a Agricultura de Precisão**. In: Borém, A.; Giudice, M.P.; Queiroz, D.M.; Mantovani, E.C.; Ferreira, L.R.; Valle, F.X.R.; Gomide, R.L. (ed.). Agricultura de Precisão. Viçosa: UFV, 2000. p. 93-108, 2000.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solo para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.



## ARTIGO 2

### VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DO PINHÃO-MANSO E SUA CORRELAÇÃO COM ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

#### RESUMO

A produtividade das culturas varia espacialmente e determinar as causas desta variabilidade é um dos desafios que os profissionais que atuam com agricultura de precisão tem. O objetivo do trabalho foi estudar a correlação entre a produtividade e os atributos químicos de um solo cultivado com pinhão-manso. Definiu-se uma área cujo manejo foi feito de maneira uniforme, e sobre ela ajustou-se uma malha de 60 pontos georreferenciados. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40cm e realizadas as determinações de rotina para pH H<sub>2</sub>O, pH CaCl<sub>2</sub>, Al, Ca, Mg, H+Al, K, P, SB, CTC, CTC efetiva, M%, V%, MO, Cu, Fe, Mn e Zn. Foram determinadas a produtividade e a porcentagem de óleo de pinhão-manso. Houve correlação positiva e significativa entre a produtividade dos grãos e os atributos químicos zinco, cálcio, cobre, manganês, soma de bases, capacidade efetiva de troca de cátions e matéria orgânica. A maior correlação positiva e significativa foi observada para o cobre, seguido pelo manganês, indicando que os micronutrientes são importantes para a fertilidade do solo visando elevar a produtividade da cultura. A porcentagem de óleo nos grãos apresentou correlação direta positiva e significativa com a acidez potencial, capacidade de troca cátions e o micronutriente ferro. A correlação negativa e significativa não foi observada podendo indicar que não há excesso de nenhum nutriente no solo, que esteja provocando redução da produtividade do pinhão-manso.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas*, agricultura de precisão, biodiesel.

### SPATIAL VARIABILITY OF JATROPHA CURCAS PRODUCTIVITY AND ITS CORRELATION WITH SOIL ATTRIBUTES

## ABSTRACT

The crop productivity varies spatially and to determine the causes of this variability is one of the challenges that professionals who work with precision agriculture has. The objective was to study the correlation between productivity and chemical soil attributes cultivated with *Jatropha curcas*. It was defined an area whose management was done evenly, and set it on a mesh of 60 points georeferenced. Soil samples were collected at 0-20 and 20-40 cm and analyzed on routine pH H<sub>2</sub>O, pH CaCl<sub>2</sub>, Al, Ca, Mg, Al + H, K, P, SB, CTC, CTC, M%, V%, MO, Cu, Fe, Mn and Zn. It was determined the productivity and oil percentage. There was a significant positive correlation between grain productivity and chemical attributes zinc, calcium, copper, manganese, base sum, effective capacity to exchange cations and organic matter. The most significant positive correlation was observed for copper, followed by manganese, indicating that micronutrients are important for soil fertility aiming to raise crop productivity. The percentage of oil in the grains presented directly positively correlation and significantly with the potential acidity, cation exchange capacity and the micronutrient iron. The significant negative correlation was not observed and may indicate that there is no excess nutrient in the soil, which is causing lower productivity.

**Keywords:** *Jatropha curcas*L., precision agriculture, biodiesel.

## INTRODUÇÃO

Recentes estudos sobre o impacto causado pelos combustíveis fósseis têm suscitado grande interesse mundial por fontes alternativas na produção de energia, com destaque para a agroenergia (biodiesel, etanol e carvão vegetal).

As vantagens econômicas da biomassa, principalmente para os países em desenvolvimento se baseiam no fato de ser uma fonte de energia produzida regionalmente e, portanto, colaborando para a independência energética e geração de receita (GOLDEMBERG et al., 2012).

O pinhão-mansão é uma oleaginosa com qualidades necessárias para ser utilizada na produção de biodiesel, fato importante devido aos inúmeros esforços que têm sido feitos com a finalidade de se obter substitutos para os combustíveis fósseis. Está comprovado que a poluição do biodiesel é mínima e a emissão de CO<sub>2</sub> pode ser reciclada nas grandes plantações de pinhão-mansão, sem aumentar seu conteúdo no ambiente (FREITAS et al., 2010).

O pinhão-manso destaca-se por apresentar diversas vantagens, dentre elas, possui o ciclo produtivo longo com produção de óleo podendo chegar a 1590 kg/ha/ano (GOMES, 2006).

Atualmente, o pinhão-manso é cultivado em pequenas lavouras. No entanto, com o advento do biodiesel, novas tecnologias deverão ser adotadas, a fim de manter a qualidade da matéria-prima e atender, de forma satisfatória, a demanda da produção em escala comercial (LEAL et al., 2012).

Avanços tecnológicos na agropecuária têm mostrado a importância de se medir a variação espacial e temporal de propriedades que afetam o rendimento das culturas, com o objetivo de otimizar o aproveitamento de recursos e diminuir custos (CARVALHO et al., 2002).

Na maioria dos campos do conhecimento científico, o objetivo é pesquisar características dos elementos de uma população. Uma vez definida a população objeto de estudo, necessita-se escolher a melhor maneira de estudar algumas de suas características. Na maioria das vezes, a população de interesse é demasiadamente grande, tornando-se impossível realizar um levantamento de dados de todos os seus elementos. Neste caso, deve-se delimitar as observações a uma amostra da população, a qual deve reproduzir, o mais fielmente possível, suas características (CARVALHO, 1999).

O mapa de produtividade é uma informação importante quando se quer otimizar o sistema de produção agrícola em uma determinada área. A produtividade das culturas varia espacialmente e determinar as causas desta variabilidade é um dos desafios que os profissionais que atuam com agricultura de precisão enfrentam (FARIAS et al., 2002).

O objetivo do trabalho foi estudar a correlação entre a produtividade dos frutos e os atributos químicos de um solo cultivado com pinhão-manso.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado no Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), em cooperação com a Embrapa Agropecuária Oeste e a Fazenda Paraíso. Os testes de campo foram realizados em área produtora de pinhão-manso, pertencente a Fazenda Paraíso, que está localizada nas coordenadas UTM Leste

673519,59 m, Norte 755554,69 m e altitude de 514 m, no distrito de Itahum, município de Dourados, em área de Latossolo Vermelho Distrófico.

O pinhão-mansó foi implantado em novembro de 2006, por meio de semeadura direta no campo, colocando-se 3 sementes por cova, posteriormente foi realizado o desbaste deixando uma planta por cova no espaçamento de 3 x 2 m. Nas safra 2006/07 e 2007/08 foram realizadas a condução e os tratos culturais, normalmente empregados para a cultura.

O pinhão-mansó recebeu adubação, na linha, em superfície, na terceira e quarta safra, de 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 08-20-20, parcelada em duas aplicações (50% na primeira em outubro de 2008 e 2009 e 50% na segunda em março de 2009 e 2010). O manejo das espécies de cobertura foi realizado por meio de roçadas, com roçadora costal.

Definiu-se uma área cujo manejo foi feito de maneira uniforme, e sobre ela ajustou-se uma malha de 60 pontos georreferenciados, por meio de DGPS, conforme a Figura 1.

A determinação dos pontos foi estabelecida pela contagem das plantas, sendo 15 plantas na linha com espaçamento de 2 m e 10 plantas entre as linhas com espaçamento de 3 m.

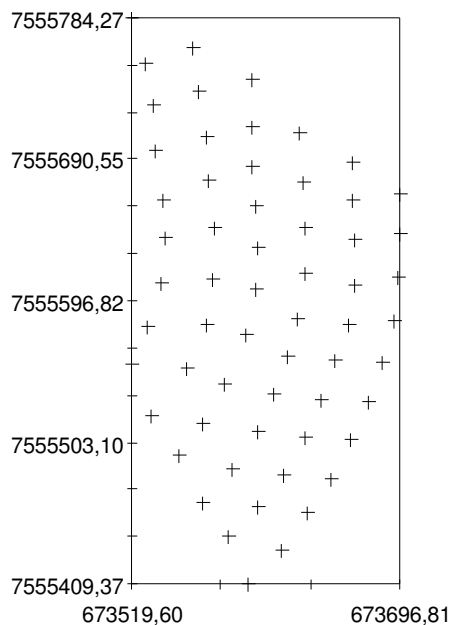


FIGURA 1. Malha de pontos georreferenciados.

Em cada um dos pontos, por meio de um trado tipo holandês, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e realizadas as determinações de rotina para pH H<sub>2</sub>O, pH CaCl<sub>2</sub>, Al, Ca, Mg, H+Al, K, P, SB, CTC, CTC efetiva, M%, V%, M<sub>O</sub>, Cu, Fe, Mn e Zn. As análises foram feitas no Laboratório de Análise Química de Solos da Embrapa Agropecuária Oeste.

Os frutos do pinhão-mansão foram colhidos manualmente nas 05 plantas próximas ao ponto amostral georreferenciado. As análises do teor de óleo nos grãos do pinhão-mansão foram realizadas no Laboratório de Agroenergia da Embrapa Agropecuária Oeste.

As amostras coletadas com massa conhecida foram colocadas em estufa a 105°C por 24h, em seguida foi feita a pesagem dos frutos e dos grãos secos para a determinação da umidade de colheita, de acordo com a Equação 1.

$$U = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (1)$$

em que,

P<sub>i</sub>- massa inicial da amostra (g);

P<sub>f</sub>- massa final da amostra (g);

U - umidade (%bu).

Para o cálculo da produtividade, depois da sua retirada da estufa, os frutos foram pesados em uma balança, com resolução de 0,01 g, padronizando a umidade e extrapolando para kg ha<sup>-1</sup>.

Para que os resultados do peso de 20 frutos não sejam influenciados por diferentes umidades, os dados obtidos foram corrigidos para uma porcentagem de umidade comum (P<sub>UN</sub>) de 13%bu, utilizando a Equação 2.

$$P_{UN} = \frac{P_s}{1 - \frac{UN\%}{100}} \quad (2)$$

em que:

P<sub>UN</sub> - massa dos grãos com umidade desejada (g);

P<sub>s</sub> - massa dos grãos em estufa a 105°C (g);

UN - umidade desejada (%).

As análises do teor de óleo nos grãos do pinhão-mansão foram realizadas no Laboratório de Agroenergia da Embrapa Agropecuária Oeste. O teor de óleo contido nos grãos foi avaliado pelo método químico Soxhlet (Batista, 1980 adaptado por ZANOTTO, 1986).

As amostras georreferenciadas foram coletadas e padronizadas para um peso de 4 g de grãos, por parcela. As amostras foram previamente maceradas e envoltas em cartuchos de papel filtro grampeado nas extremidades, de peso conhecido, e depois secas em estufa a temperatura de 60°C, por doze horas. Após a secagem, as amostras foram devidamente pesadas e inseridas no Soxhlet, juntamente com o extrator hexano. Após quatro horas de extração, as amostras foram retiradas e secas em estufa por mais doze horas para nova pesagem. O teor de óleo foi determinado por diferença de peso, através da seguinte equação:

$$\theta = 100 \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} \quad (3)$$

em que,

$\theta$  - porcentagem de óleo na amostra analisada;

$P_1$  - peso do cartucho (papel filtro + grampos);

$P_2$  - peso da amostra antes da extração (cartucho + material macerado);

$P_3$  - peso da amostra após da extração.

Os dados foram analisados através de estatística descritiva, obtendo-se média, desvio padrão, valor mínimo, valor máximo, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose, buscando caracterizar a distribuição dos dados.

O coeficiente de curtose mostra até que ponto a curva de frequências de uma distribuição se apresenta mais afilada ou mais achatada que uma curva padrão, ou seja, uma curva normal. Em programas computacionais como GS+ existe uma padronização do valor de  $C_k$ , onde o valor de comparação é o zero, portanto, se  $C_k = 0$  a distribuição é mesocúrtica, se  $C_k < 0$  a distribuição é platicúrtica e se  $C_k > 0$  a distribuição é leptocúrtica.

O coeficiente de assimetria foi utilizado para caracterizar como e quanto a distribuição de frequências se afasta da simetria, ou seja, ocorre quando a média, e a mediana recaem em pontos diferentes da distribuição. Quanto ao grau de

deformação, as curvas podem ser de distribuição simétrica, quando  $C_s=0$ ; assimétricas positivas, quando  $C_s>0$ ; e assimétricas negativas, quando  $C_s<0$ .

Para a análise de correlação entre produtividade e atributos químicos foi utilizado o coeficiente de Pearson ( $r$ ), que é uma medida de associação linear entre variáveis (Equação 4).

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2)(\sum (y_i - \bar{y})^2)}} \quad (4)$$

em que,

$r$  - coeficiente de correlação de Pearson;

$x_i; y_i$  - valores das variáveis;

$\bar{x}$  e  $\bar{y}$  - média aritmética das variáveis.

O coeficiente de correlação Pearson varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis (FILHO et al., 2009).

Foi calculada a semivariância para todos os pares de pontos possíveis para atributos químicos do solo. A semivariância pode ser estimada por meio da seguinte equação (VIEIRA, 2000):

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (5)$$

em que,

$\gamma^*(h)$  - semivariância estimada para distância  $h$ ;

$N(h)$  - número de pares de valores medidos;

$h$  - vetor que separa a posição das medições;

$Z(x_i)$  - valor da variável na posição  $x$ ;

$Z(x_i+h)$  - valor da variável na posição  $x + h$ .

Em seguida realizou-se o ajuste de um modelo aos dados utilizando-se o programa computacional GS+ (Gamma design software). Os principais modelos utilizados foram esférico, exponencial e gaussiano (VIEIRA, 2000). O modelo que

apresentou melhor ajuste, avaliado pela soma de quadrados de resíduos e coeficiente de determinação, foi selecionado.

Nos estudos realizados sobre semivariograma o valor de alcance é caracterizado como um dos parâmetros mais importantes, pois pontos vizinhos dentro de um mesmo círculo com um raio do alcance são tão similares que podem ser utilizados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (COUTO et al., 2002). Quando se tem pontos fora do raio do alcance, significa que as variáveis são independentes entre si. Quando o valor do espaçamento entre os pontos amostrados forem menor que os valores do alcance, significa que as amostras estão correlacionadas umas com as outras, permitindo a interpolação.

Para a análise do grau de dependência espacial foi utilizado o índice de dependência espacial (Equação 6) e os intervalos propostos por Zimback (2001), que considera a dependência espacial fraca ( $IDE < 25\%$ ); moderada ( $25\% \leq IDE < 75\%$ ) e forte ( $IDE \geq 75\%$ ).

$$IDE = \frac{Co}{Co + C} \quad (6)$$

em que:

IDE - índice de dependência espacial;

$Co$  - efeito pepita;

$Co + C$  - patamar.

Havendo dependência espacial, a técnica de krigagem foi utilizada no programa computacional GS+ (Gamma design software) e um outro programa de geração dos mapas para elaborar o mapa de variabilidade dos atributos químicos da área cultivada com pinhão-manso.

Os mapas foram gerados utilizando-se o modelo que apresentou o melhor ajuste na análise geoestatística. Foram utilizados 08 vizinhos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos Quadros 1 e 2 encontram-se apresentados os valores de média, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo, coeficiente de assimetria e coeficiente curtose dos atributos químicos do solo para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente.



QUADRO 1. Valores de média ( $\bar{X}$ ), desvio padrão ( $\sigma$ ), valor mínimo (Mín), valor máximo (Máx), coeficiente de variação (CV), coeficiente de assimetria ( $C_s$ ) e coeficiente de curtose ( $C_k$ ) dos atributos químicos do solo na profundidade de 0–20 cm.

Atributos	Parâmetros						
	$\bar{X}$	$\sigma$	CV	Máx	Mín	$C_s$	$C_k$
pH H <sub>2</sub> O	5,586	0,416	7,45	6,67	4,84	0,58 (0,31)	-0,02 (0,61)
pH CaCl <sub>2</sub>	4,857	0,478	9,84	6,10	4,10	0,56 (0,31)	-0,04 (0,61)
Al <sub>3</sub> (cmol)	0,400	0,489	122,25	2,40	0,00	1,84 (0,31)	3,82 (0,61)
Ca (cmol)	2,507	0,931	37,14	4,60	0,80	0,36 (0,31)	-0,45 (0,61)
Mg (cmol)	1,403	0,574	40,91	3,00	0,30	0,64 (0,31)	0,55 (0,61)
H+Al (cmol)	5,427	2,033	37,46	12,97	2,13	1,20 (0,31)	2,26 (0,61)
K (cmol)	0,163	0,081	49,69	0,52	0,06	1,98 (0,31)	5,41 (0,61)
P (mg/dm <sup>3</sup> )	7,403	5,727	77,36	29,1	2,00	1,76 (0,31)	2,99 (0,61)
SB (cmol)	4,089	1,451	35,49	8,12	1,19	0,46 (0,31)	0,09 (0,61)
CTC (cmol)	9,516	1,440	15,13	14,16	6,38	0,13 (0,31)	1,02 (0,61)
CTC efetiva	4,489	1,150	25,62	8,12	2,60	0,95 (0,31)	0,73 (0,61)
M%	10,7755	14,01793	130,09	66,86	0	1,94 (0,31)	3,92 (0,61)
V%	43,796	15,093	34,46	75,49	8,40	-0,13 (0,31)	-0,45 (0,61)
MO	19,217	2,438	12,69	24,43	12,77	-0,21 (0,31)	-0,27(0,61)
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	7,02667	2,14736	30,56	10,2	2,8	-0,45(0,31)	-1,17(0,61)
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	36,685	8,935	24,36	74,20	25,70	2,08(0,31)	5,74(0,61)
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	49,412	18,741	37,93	90	15,10	0,05(0,31)	-1,05(0,61)
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	0,76	0,40555	53,36	2,7	0,3	2,37(0,31)	7,79(0,61)

O coeficiente de variação que obteve menor valor entre os atributos nas duas profundidades foi o pH H<sub>2</sub>O, sendo que na profundidade de 0-20 cm o valor foi de 7,45% e na profundidade de 20-40 cm obteve o valor de 4,87%. O M% foi o atributo que apresentou o maior valor (130,09%) na profundidade 0-20 cm, já na profundidade de 20-40 cm o K apresentou o maior valor (128,21%).

Observa-se que na profundidade 0-20 cm ocorreu assimetria positiva para os atributos pH H<sub>2</sub>O, pH CaCl<sub>2</sub>, Al<sub>3</sub>, Ca, Mg, H+Al, K, P, SB, CTC, CTC efetiva, M%, Fe, Mn e Zn.

Os atributos que apresentaram  $C_k < 0$  na profundidade de 0-20 cm foram o pH H<sub>2</sub>O, o pH CaCl<sub>2</sub>, o Ca, V%, MO, Cu e Mn. O Cu apresentou o menor valor nas duas profundidades, -1,17 na profundidade 20-40 cm e -1,16 na profundidade 20-40 cm.

QUADRO 2. Valores de média ( $\bar{X}$ ), desvio padrão ( $\sigma$ ), valor mínimo (Mín), valor máximo (Máx), coeficiente de variação (CV), coeficiente de assimetria ( $C_s$ ) e coeficiente de curtose ( $C_k$ ) dos atributos químicos do solo na profundidade de 20-40 cm.

Atributos	Parâmetros						
	$\bar{X}$	$\sigma$	CV	Máx	Mín	$C_s$	$C_k$
pH H <sub>2</sub> O	5,1695	0,25199	4,87	6,15	4,84	1,90 (0,31)	3,96 (0,61)
pH CaCl <sub>2</sub>	4,3770	0,29100	6,65	5,50	4,00	1,89 (0,31)	3,89 (0,61)
Al <sub>3</sub> (cmol)	1,2000	1,09560	91,30	8,50	0,00	4,97 (0,31)	31,16 (0,61)
Ca (cmol)	1,3570	0,63900	47,09	3,00	0,40	0,97 (0,31)	0,55 (0,61)
Mg (cmol)	0,8200	0,39000	47,56	2,10	0,30	1,32 (0,31)	1,89 (0,61)
H+Al (cmol)	7,5560	2,32500	30,77	12,97	2,64	0,18 (0,31)	-0,08 (0,61)
K (cmol)	0,1170	0,15000	128,21	1,22	0,00	6,76 (0,31)	47,15 (0,61)
P (mg/dm <sup>3</sup> )	2,9420	1,69100	57,48	10,4	1,00	1,91 (0,31)	5,19 (0,61)
SB (cmol)	2,2940	1,03900	45,29	5,16	0,79	1,02 (0,31)	0,62 (0,61)
CTC (cmol)	9,8490	1,93800	19,68	14,03	5,70	0,02 (0,31)	-0,26 (0,61)
CTC efetiva	3,494	1,513	43,30	13,66	2,08	5,15 (0,31)	32,29 (0,61)
M%	34,63533	18,03702	52,08	74,45	0	-0,06 (0,31)	-0,59 (0,61)
V%	24,463	12,603	51,52	61,27	5,74	1,09 (0,31)	0,75 (0,61)
M_O	15,743	2,26	14,36	20,15	11,56	-0,15 (0,31)	-0,93 (0,61)
Cu (mg dm-3)	6,35833	1,81718	28,58	9,3	2,8	-0,38(0,31)	-1,16(0,61)
Fe (mg dm-3)	36,617	6,080	16,60	49,90	24,80	0,38(0,31)	-0,54(0,61)
Mn (mg dm-3)	36,305	15,690	43,22	78,1	5,30	0,15(0,31)	-0,45(0,61)
Zn (mg dm-3)	0,38667	0,16309	42,18	1,00	0,2	1,71(0,31)	3,55(0,61)

Os atributos que apresentaram  $C_k > 0$  na profundidade 0-20 cm foram Al<sub>3</sub>, Mg, H+Al, K, P, SB, CTC, CTC efetiva, M%, Fe e Zn, onde o Zn obteve maior valor 7,79 seguido pelo Fe 5,74, enquanto na profundidade de 20-40 cm foram pH H<sub>2</sub>O, pH CaCl<sub>2</sub>, Al<sub>3</sub>, Ca, Mg, K, P, SB, CTC efetiva, V% e Zn, onde o K obteve o maior valor (47,15), seguido pela CTC efetiva (32,29).

### Correlação entre a produtividade e atributos químicos do solo

Estão apresentados no Quadro 3 os coeficientes de correlação entre a produtividade de frutos do pinhão-mansão da safra 2011/2012 e a produtividade da safra 2010/2011 e os atributos químicos do solo, obtidos na camada de 0-20 cm de profundidade. Não foi observada correlação significativa entre as produtividades de frutos do pinhão-mansão das duas safras estudadas, como também não houve correlação significativa entre as produtividades de frutos e de óleo com os atributos químicos do solo.

QUADRO 3. Coeficiente de correlação de Pearson entre a produtividade de frutos do pinhão-manso da safra 2011/2012 e a produtividade da safra 2010/2011 (Prodf11) e os atributos químicos do solo, obtidos na camada de 0-20 cm de profundidade.

Variável	Coeficiente de correlação			
	Produtividade de frutos	Produtividade de sementes	Porcentagem de óleo	Produtividade de óleo
Prodf11 <sup>(1)</sup>	0,1465	-	-	-
pH H <sub>2</sub> O <sup>(2)</sup>	-0,1021	-0,0397	-0,1054	-0,0439
pH CaCl <sub>2</sub> <sup>(3)</sup>	-0,1023	-0,0386	-0,1042	-0,0434
Al	-0,0140	-0,0457	0,1488	-0,0772
Ca	-0,0015	0,2958**	-0,0615	-0,0255
Mg	-0,1291	0,0335	-0,1171	-0,1306
H + Al <sub>3</sub> <sup>(4)</sup>	0,0335	0,1225	0,2012***	-0,0439
K	-0,0175	0,0354	-0,0630	-0,0596
P	0,0161	0,0390	-0,1449	-0,0198
SB <sup>(5)</sup>	-0,0539	0,2098***	-0,0942	-0,0740
CTC <sup>(6)</sup>	-0,0071	0,3847**	0,2027***	-0,1541
CTC Efetiva <sup>(7)</sup>	-0,0739	0,2451*	-0,0583	-0,1276
M% <sup>(8)</sup>	0,0321	-0,0744	0,0987	-0,0317
V% <sup>(9)</sup>	-0,0975	0,0178	-0,1162	-0,0536
MO <sup>(10)</sup>	-0,0213	0,3716**	0,1425	-0,1028
Cu	0,0881	0,5825**	0,1594	-0,0137
Fe	-0,1461	-0,1104	0,2825*	-0,1327
Mn	0,0004	0,4828**	0,1726	-0,0419
Zn	-0,0131	0,2746*	0,1791	-0,0066

\*, \*\* e \*\*\* Significativo a 5, 1 e 10%, pelo teste t. (1) Produtividade da safra 2010/2011; (2) Acidez Ativa em água; (3) Acidez Ativa em cloreto de cálcio; (4) acidez potencial; (5) Soma de Bases; (6) Capacidade de Troca Cátions; (7) Capacidade Efetiva de Troca de Cátions; (8) Saturação por Alumínio; (9) Saturação por Bases; (10) Matéria orgânica.

Analisando a produtividade de grãos, pode-se observar correlação positiva e significativa com os atributos químicos Zn, Ca, Cu, Mn, SB, CTC, CTC efetiva e MO. A maior correlação positiva e significativa foi observada para o Cu, seguido pelo Mn, indicando que os micronutrientes são importantes para a fertilidade do solo visando elevar a produtividade da cultura. A correlação positiva da SB e a soma dos teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup> são importantes, pois segundo Bottega (2011) quanto maior a soma de bases maior a fertilidade do solo, conseqüentemente, maior a produtividade.

A porcentagem de óleo nos grãos apresentou correlação direta positiva e significativa com a acidez potencial, capacidade de troca cátions e o micronutriente ferro.

Apesar de o P ser o quarto e o quinto nutriente mais requerido (em frutos e folhas, respectivamente) pela cultura, esse elemento deve ser fornecido em maior quantidade do que o acumulado, devido à facilidade de sua adsorção no solo. De posse da estimativa de acúmulo de nutrientes nos frutos, infere-se que o pinhão-manso extrai elevada quantidade de nutrientes na colheita e, se não adequadamente adubado, pode levar ao empobrecimento do solo ao longo dos anos de cultivo. (LAVIOLA et al., 2008).

Segundo Laviola et al. (2008) o acúmulo de nutrientes pelas folhas obedece à seguinte ordem:  $N > Ca > K > Mg > P > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu$ ; e nos frutos a ordem é:  $N > K > Ca > P \geq Mg > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu$ .

Na formulação das recomendações de adubação para a cultura, é importante considerar que os nutrientes minerais acumulados pelos frutos são exportados da área de cultivo pela colheita, sendo necessária a reposição integral desses elementos pelas práticas de adubação. Por outro lado, parte dos nutrientes acumulados pela planta é reciclada no sistema solo-planta, devido à queda de folhas no inverno. Com a decomposição das folhas no solo, os nutrientes são liberados para reabsorção do sistema radicular (LAVIOLA et al., 2008).

Plantas de maior produtividade de grãos e de maior volume de copa são importantes para o desenvolvimento de materiais de alto rendimento de óleo (SPINELLI et al., 2010).

A correlação negativa e significativa não foi observada podendo indicar que não há excesso de nenhum nutriente no solo, que esteja provocando redução da produtividade do pinhão-manso. Bottega (2011) estudando a correlação entre a produtividade da soja e atributos químicos do solo observou correlação negativa e significativa para os micronutrientes, Fe, Mn e Cu, podendo indicar excesso destes elementos no solo, comuns em Latossolo sob cerrado. Esse mesmo autor ressalta que estes elementos quando em excesso podem atuar de forma negativa na produtividade, causando toxicidade a planta, influenciando seu desenvolvimento comprometendo assim sua produção (BORKERT et al., 1994).

Estão apresentados no Quadro 4 os coeficientes de correlação entre a produtividade de frutos do pinhão-manso da safra 2011/2012 e a produtividade da safra 2010/2011 e os atributos químicas do solo, obtidos na camada de 0-40 cm de profundidade.

QUADRO 4. Coeficiente de correlação de Pearson entre a produtividade de frutos do pinhão-mansão da safra 2011/2012 e a produtividade da safra 2010/2011 (Prodf11) e os atributos químicos do solo, obtidos na camada de 0-40 cm de profundidade.

Variável	Correlação			
	Produtividade de frutos	Produtividade de sementes	Porcentagem de óleo	Produtividade de óleo
pH H <sub>2</sub> O <sup>(1)</sup>	-0,0538	0,0493	-0,0350	-0,0088
pH CaCl <sub>2</sub> <sup>(2)</sup>	-0,0549	0,0492	-0,0336	-0,0090
Al	-0,1562	-0,0498	0,2145***	-0,2222***
Ca	0,0777	0,4133**	0,0047	0,0776
Mg	-0,0642	0,1453	-0,0645	-0,0583
H + Al <sub>3</sub> <sup>(3)</sup>	-0,0293	0,1465	0,2080***	-0,1347
K	-0,0428	0,0508	0,0581	-0,0635
P	0,0130	-0,0581	0,0537	0,1007
SB <sup>(4)</sup>	0,0175	0,3164**	-0,0129	0,0165
CTC <sup>(5)</sup>	-0,0264	0,3450**	0,2559*	-0,1613
CTC Efetiva <sup>(6)</sup>	-0,1011	0,1812***	0,1458	-0,1488
M% <sup>(7)</sup>	-0,0498	-0,1446	0,1395	-0,1367
V% <sup>(8)</sup>	-0,0174	0,1101	-0,0499	0,0300
MO <sup>(9)</sup>	0,0831	0,5228**	0,1762	0,0047
Cu	0,0762	0,5917**	0,1119	-0,0488
Fe	-0,2240*	-0,3443**	0,0106	-0,1610
Mn	0,0094	0,4609**	0,0725	-0,0610
Zn	-0,0873	0,1957***	0,1275	-0,0854

\*, \*\* e \*\*\* Significativo a 5, 1 e 10%, pelo teste t. (1) Acidez Ativa em água; (2) Acidez Ativa em cloreto de cálcio; (3) acidez potencial; (4) Soma de Bases; (5) Capacidade de Troca Cátions; (6) Capacidade Efetiva de Troca de Cátions; (7) Saturação por Alumínio; (8) Saturação por Bases; (9) Matéria orgânica.

Analisando a produtividade de grãos, pode-se observar correlação positiva e significativa com os atributos químicos Ca, SB, CTC, CTC efetiva, MO, Cu, Fe, Mn e Zn. A maior correlação positiva e significativa foi observada para o Cu, seguido pela MO. Esses dados indicam a importância dos micronutrientes para a fertilidade do solo visando elevar a produtividade da cultura.

Rocha et al. (2008), estudando a variabilidade do peso médio de sementes de pinhão manso, concluiu que o peso de sementes é uma característica de potencial para o desenvolvimento de novos materiais que associem a qualidade das sementes a uma boa produtividade.

A porcentagem de óleo nos grãos apresentou correlação direta positiva e significativa com o Al, a acidez potencial e a CTC.

A produtividade do pinhão-mansinho varia muito em função da região de plantio, método de cultivo e tratamentos culturais, idade da cultura, bem como da quantidade de chuva e da fertilidade do solo.

Para se obter alta produtividade de frutos, a planta necessita de água e de solos férteis com boas condições físicas, logo a correção da acidez e da fertilidade do solo são pontos decisivos para se obter sucesso e lucratividade com essa cultura.

Maia et al. (2011) em seu estudo demonstraram que a deficiência nutricional observada no pinhão-mansinho refere-se basicamente aos macronutrientes N, P, K e à calagem, concluindo que em solos ácidos o pinhão mansinho não se desenvolve, sendo necessário a correção pela calagem com base na análise química do solo.

Após a análise estatística foram gerados os semivariogramas para os valores de produtividade de frutos e sementes e quantidades de óleo, que estão apresentados na Figura 2.

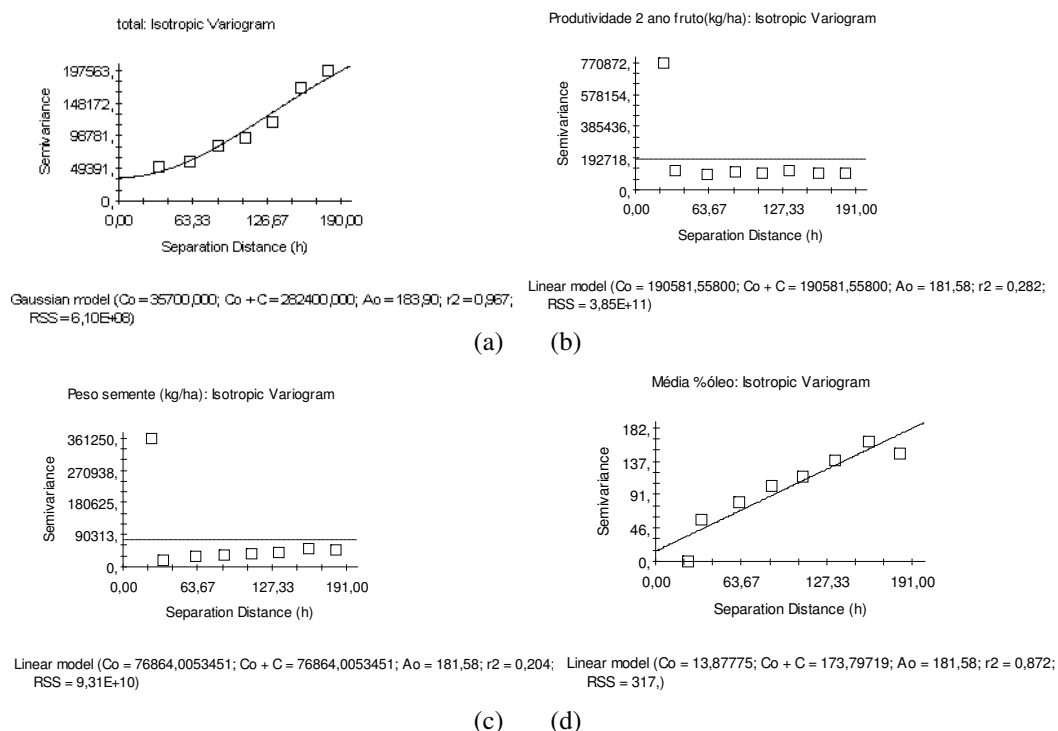


FIGURA 2. Semivariogramas das produtividades de frutos de 2010/11 (a) e 2011/12 (b), de sementes (c) e da porcentagem de óleo nas sementes (d).

Na Figura 3 estão apresentados os mapas da variabilidade espacial da produção de frutos 2010/2011, produção de frutos 2011/2012, peso das sementes, quantidade de óleo (%), produtividade de óleo (kg/ha) e relação grãos/frutos.

Pode-se verificar que a produtividade da cultura, em 2011, variou de 307 a 1.532 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que a maior parte da área apresentou produtividade abaixo de 613 kg ha<sup>-1</sup>.

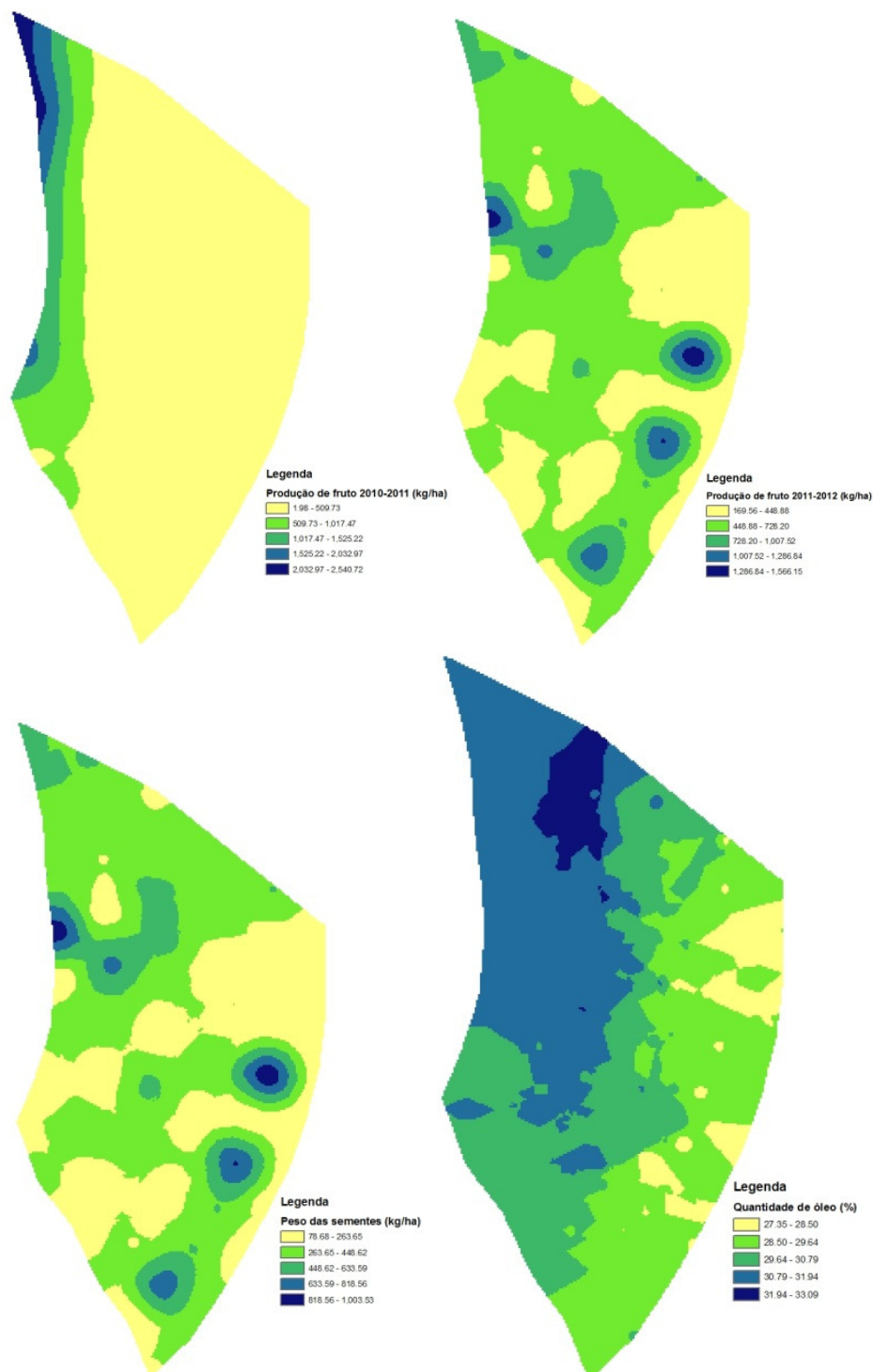


FIGURA 3. Mapas da variabilidade espacial da produção de frutos 2010/2011, produção de frutos 2011/2012, peso das sementes, quantidade de óleo (%), produtividade de óleo (kg/ha) e relação grãos/frutos.

A produtividade se manteve baixa nas duas colheitas, sendo mais pronunciada na colheita 2010/2011. Para Carnielli (2003) o pinhão-mansó leva de três a quatro anos para atingir a idade produtiva, que se estende por 40 anos e produz, no mínimo, duas toneladas de óleo por hectare. O maior valor para produção de óleo, em porcentagem, foi o de 33,09%.

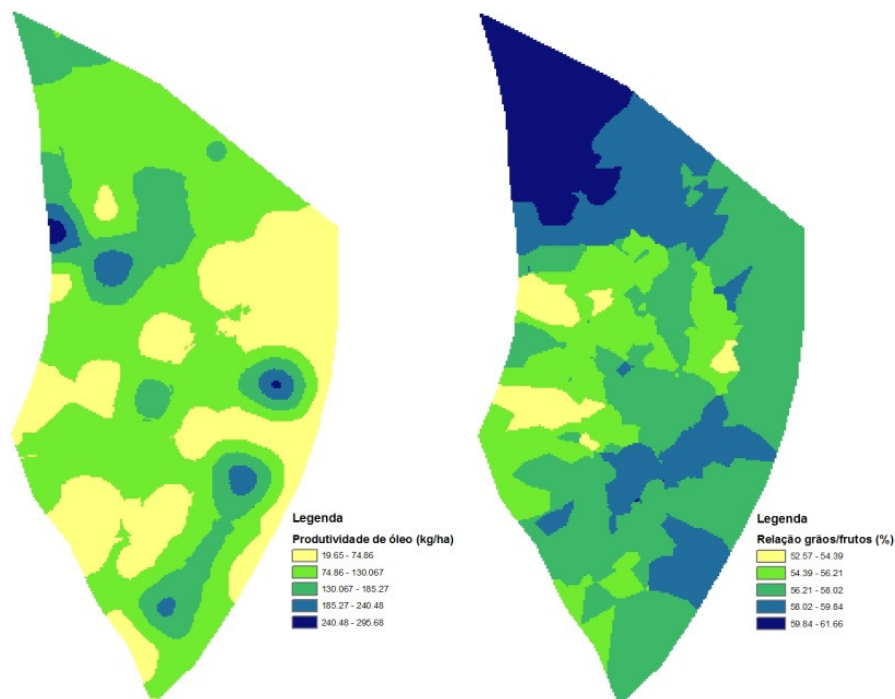


FIGURA 3. Mapas da variabilidade espacial... (continuação).

## CONCLUSÃO

Houve correlação positiva e significativa entre a produtividade dos grãos e os atributos químicos zinco, cálcio, cobre, manganês, soma de bases, capacidade efetiva de troca de cátions e matéria orgânica. A maior correlação positiva e significativa foi observada para o cobre, seguido pelo manganês, indicando que os micronutrientes são importantes para a fertilidade do solo visando elevar a produtividade da cultura.

A porcentagem de óleo nos grãos apresentou correlação direta positiva e significativa com a acidez potencial, capacidade de troca cátions e o micronutriente ferro.

A correlação negativa e significativa não foi observada podendo indicar que não há excesso de nenhum nutriente no solo, que esteja provocando redução da produtividade do pinhão-mansó.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORKERT, C.M.; YORINORI, J.T.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; ALMEIDA, A.M.R.; FERREIRA, L.P.; SFREDO, G.J. **Seja o Doutor da sua Soja**. Piracicaba: Potafós. Informações Agronômicas, n.66, 1994. 16 p.

BOTTEGA, E.L. **Variabilidade espacial da produtividade de soja e dos atributos do solo em sistema de plantio direto sob rotação de culturas**. 2011. 128p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CARVALHO, J.R.P. de. **Amostragem de solo em plantio direto para aplicação em agricultura de precisão**. Campinas: Embrapa-CNPTIA, 1999. 4 p.

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. **Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002.

CARNIELLI, F. **O combustível do futuro**. Boletim Informativo, Belo Horizonte, v.29, n.1413, 2003. Disponível em: <<http://www.ufmg.br/boletim/bol1413/quarta.shtml>>. Acesso em: 05/10/12.

COUTO, E.G.; SCARAMUZZA, J.F.; MARASHINI, L. Influência dos métodos de interpolação dos dados nos mapas usados na agricultura de precisão. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2, 2002. Viçosa. **Anais Eletrônicos...** Viçosa 2002.

FARIAS, P.R.S.; BARBOSA, J.C.; VIEIRA, S.R.; SÁNCHEZ-VILA, X.; FERRAZ, L.C.C.B. Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Rotylenchulus reniformis* on cotton cultivated in crop rotation. *Russian Journal of Nematology*. Moscow, v.10, p.1-9, 2002.

FILHO, D.B.F.; SILVA JUNIOR, J.A. **Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)**. Revista Política Hoje, vol. 18, n. 1, 2009.

FREITAS, R.F.S; CASTRO, C.A.; MODENESSI FILHO, G.D.; SILVA, J.C.; MARQUES, J.A.; TEIXEIRA, K.R.; TOLEDO, L.G.; PRADOS, L.M.Z. **Contribuição ao estudo da extração do óleo do pinhão-mansão**. Congresso Brasileiro de mamona, Simpósio internacional de oleaginosas energéticas. João Pessoa. Inclusão Social e Energia: Anais... Campina grande: Embrapa Algodão, 2010. p. 1859-1865.

GOLDEMBERG, J.; PALETTA, F.C. **Série energia e sustentabilidade: energias renováveis**. São Paulo. Editora Blucher, 2012. 110 p.

GOMES, R. **Manual do biodiesel**. Litexa Editora, 2006. 134 p.

LAVIOLA, B.G.; DIAS, L. A. S. **Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão manso**. R. Bras. Ci. Solo, 32:1969-1975, 2008.

LEAL, C.A.M.; ARAUJO, R.F.; SAMPAIO, C.P.; SANTOS, S.B.; DONZELES, S.M.L. **Avaliação da qualidade do óleo de sementes de pinhão-manso armazenadas**. EPAMIG. Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica. 5p. Belo Horizonte, 2012.

MAIA, J.T.L.S.; GUILHERME, D.O.; PAULINO, M.A.O.; SILVEIRA, H.R.O.; FERNANDES, L.A. **Efeito da omissão de macro e micronutrientes no crescimento de pinhão-manso**. Revista Caatinga, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 174-179, abr.-jun.2011.

ROCHA, R.B.; RAMALHO, A.R.; MARCOLAN, A.L.; HOLANDA FILHO, Z.F.; SPNELLI, V.M.; SILVA, F.C.G.; MILITÃO, J.S.L.T. **Avaliação da variabilidade do peso médio de sementes de pinhão manso (Jatropha curcas)**. Embrapa Rondônia. Porto Velho, RO. Circular Técnica, 104. ISSN 0103-9334. 4p. 2008.

SPINELLI, V.M.; ROCHA, R.B.; RAMALHO, A.R.; MARCOLAN, A.L.; VIEIRA JÚNIOR, J.R.; FERNANDES, C.F.; MILITÃO, J.S.L.T.; DIAS, L.A.S. **Componentes primários e secundários do rendimento de óleo de pinhão-manso**. Ciência Rural, Santa Maria, v.40, n.8, p.1752-1758, 2010.

VIEIRA, S.R. **Geoestatística Aplicada a Agricultura de Precisão**. In: Borém, A.; Giudice, M.P.; Queiroz, D.M.; Mantovani, E.C.; Ferreira, L.R.; Valle, F.X.R.; Gomide, R.L. (ed.). Agricultura de Precisão. Viçosa: UFV, 2000. p. 93-108, 2000.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solo para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todos os atributos apresentaram grau de dependência espacial forte, exceto Mg, que apresentou dependência espacial moderada, na profundidade de 0-20 cm. Na profundidade de 20-40 cm os atributos pH CaCl<sub>2</sub>, Ca e V% apresentaram dependência moderada, enquanto os demais atributos apresentaram dependência forte.

O modelo matemático que predominou para a descrição dos atributos na profundidade 0-20 cm foi diferente do modelo mais adaptado para a profundidade 20-40 cm. Isso indica que, quando se estuda uma cultura perene como o pinhão-manso, é importante fazer um estudo individualizado para as diferentes profundidades.

Houve correlação positiva e significativa entre a produtividade dos grãos e os atributos químicos zinco, cálcio, cobre, manganês, soma de bases, capacidade efetiva de troca de cátions e matéria orgânica. A porcentagem de óleo nos grãos apresentou correlação direta positiva e significativa com a acidez potencial, capacidade de troca cátions e o micronutriente ferro.

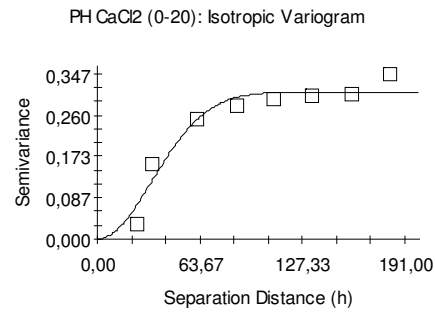
A correlação negativa e significativa não foi observada podendo indicar que não há excesso de nenhum nutriente no solo, que esteja provocando redução da produtividade do pinhão-manso.

Não foi observada correlação significativa entre as produtividades de frutos do pinhão-manso das duas safras estudadas, como também não houve correlação significativa entre as produtividades de frutos e de óleo com os atributos químicos do solo.

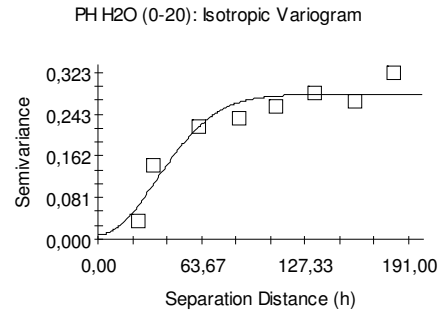
As técnicas de geoestatística utilizadas possibilitaram o ajuste dos modelos teóricos que melhor representaram a semivariância experimental, possibilitando assim a construção de mapas temáticos da distribuição espacial dos valores dos atributos do solo estudados e permitindo definir zonas específicas de manejo na cultura do pinhão-manso, a fim de proporcionar maior controle e eficiência da produção.

## APÊNDICES

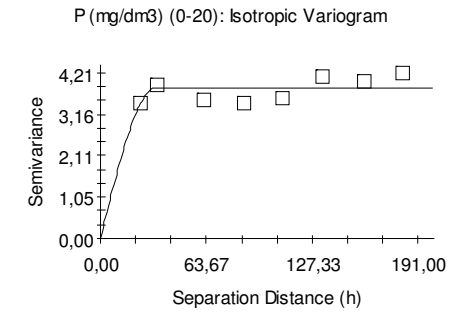
Semivariogramas para os atributos químicos em Latossolo Vermelho Distrófico, na profundidade 0-20 cm, amostrados na safra 2010/2011.



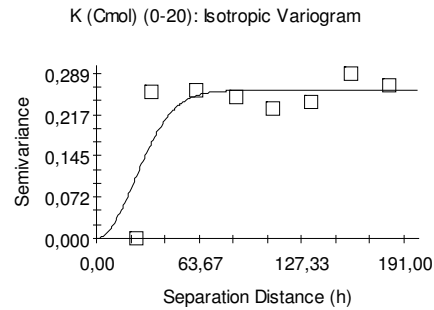
Gaussian model ( $C_0 = 0,00010$ ;  $C_0 + C = 0,30920$ ;  $A_0 = 48,00$ ;  $r_2 = 0,942$ ;  $RSS = 4,463E-03$ )



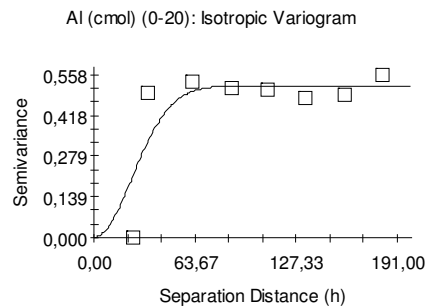
Gaussian model ( $C_0 = 0,0090000$ ;  $C_0 + C = 0,2810000$ ;  $A_0 = 51,20$ ;  $r_2 = 0,914$ ;  $RSS = 5,079E-03$ )



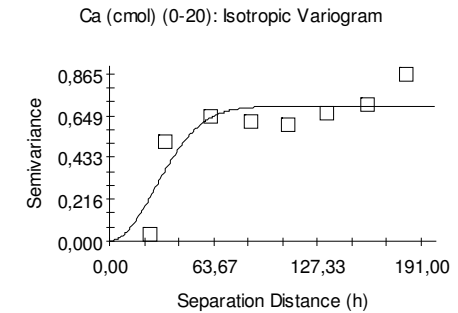
Spherical model ( $C_0 = 0,01000$ ;  $C_0 + C = 3,82400$ ;  $A_0 = 33,10$ ;  $r_2 = 0,170$ ;  $RSS = 0,571$ )



Gaussian model ( $C_0 = 0,00010$ ;  $C_0 + C = 0,25920$ ;  $A_0 = 33,60$ ;  $r_2 = 0,681$ ;  $RSS = 0,0214$ )

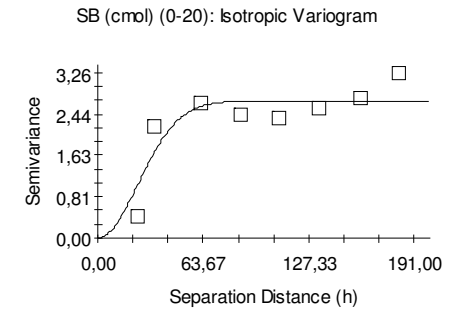
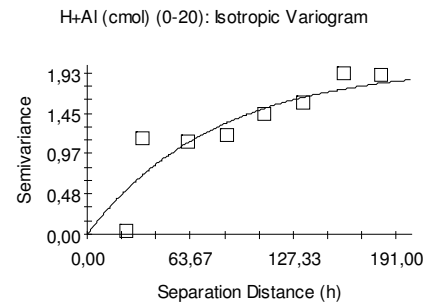
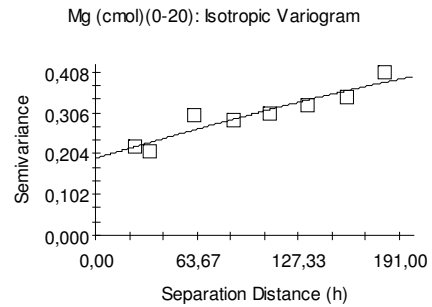


Gaussian model ( $C_0 = 0,0010000$ ;  $C_0 + C = 0,5200000$ ;  $A_0 = 34,10$ ;  $r_2 = 0,716$ ;  $RSS = 0,0757$ )

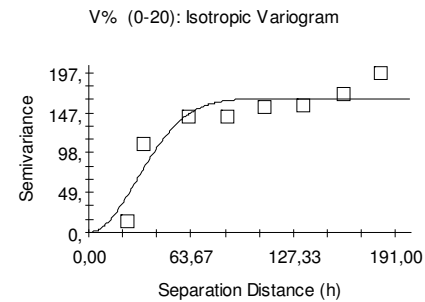
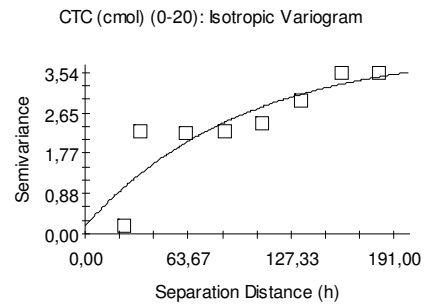


Gaussian model ( $C_0 = 0,00100$ ;  $C_0 + C = 0,69900$ ;  $A_0 = 39,60$ ;  $r_2 = 0,779$ ;  $RSS = 0,0974$ )

Semivariogramas para os atributos químicos em Latossolo Vermelho Distrófico, na profundidade 0-20 cm, amostrados na safra 2010/2011  
(continuação...).

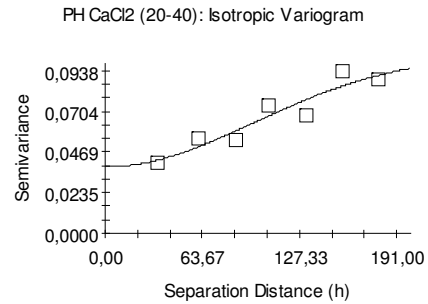


Spherical model ( $C_0 = 0,19290$ ;  $C_0 + C = 0,45680$ ;  $A_0 = 343,50$ ;  $r_2 = 0,891$ ;  $RSS = 3,081E-03$ )    Exponential model ( $C_0 = 0,00100$ ;  $C_0 + C = 2,01100$ ;  $A_0 = 78,80$ ;  $r_2 = 0,808$ ;  $RSS = 0,510$ )    Gaussian model ( $C_0 = 0,00100$ ;  $C_0 + C = 2,69900$ ;  $A_0 = 34,40$ ;  $r_2 = 0,772$ ;  $RSS = 1,17$ )

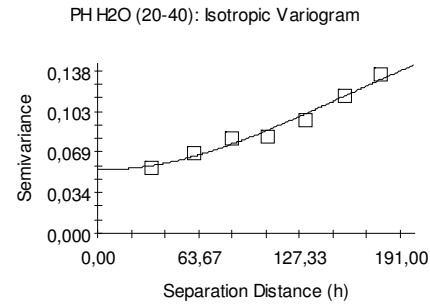


Exponential model ( $C_0 = 0,17000$ ;  $C_0 + C = 4,03900$ ;  $A_0 = 96,90$ ;  $r_2 = 0,760$ ;  $RSS = 1,87$ )    Gaussian model ( $C_0 = 0,10000$ ;  $C_0 + C = 165,40000$ ;  $A_0 = 42,40$ ;  $r_2 = 0,843$ ;  $RSS = 3501,0$ )

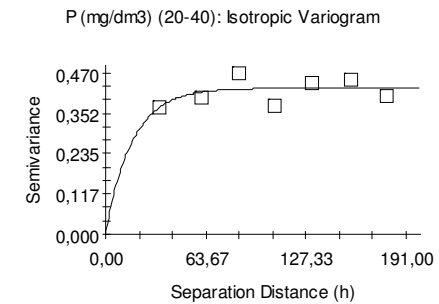
Semivariogramas para os atributos químicos em Latossolo Vermelho Distrófico, na profundidade 20-40 cm, amostrados na safra 2010/2011.



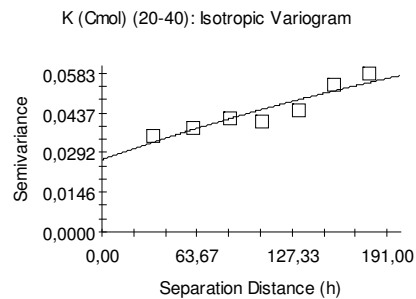
Gaussian model ( $C_0 = 0,03840$ ;  $C_0 + C = 0,10330$ ;  $A_0 = 137,70$ ;  $r_2 = 0,892$ ;  $RSS = 2,422E-04$ )



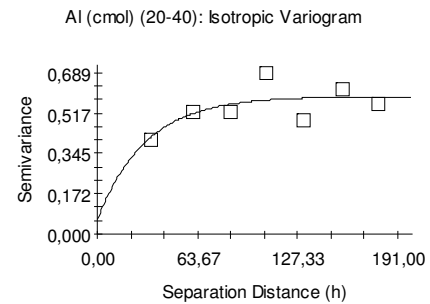
Gaussian model ( $C_0 = 0,05360$ ;  $C_0 + C = 0,21020$ ;  $A_0 = 217,70$ ;  $r_2 = 0,977$ ;  $RSS = 1,042E-04$ )



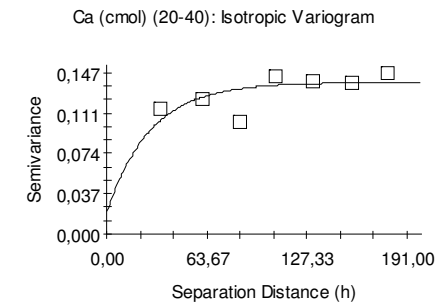
Exponential model ( $C_0 = 0,01100$ ;  $C_0 + C = 0,42600$ ;  $A_0 = 17,10$ ;  $r_2 = 0,281$ ;  $RSS = 6,415E-03$ )



Exponential model ( $C_0 = 0,02660$ ;  $C_0 + C = 0,10690$ ;  $A_0 = 410,90$ ;  $r_2 = 0,862$ ;  $RSS = 5,895E-05$ )

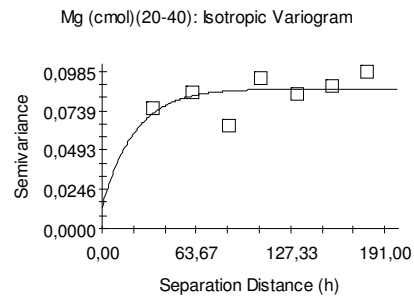


Exponential model ( $C_0 = 0,06400$ ;  $C_0 + C = 0,58900$ ;  $A_0 = 30,90$ ;  $r_2 = 0,496$ ;  $RSS = 0,0255$ )

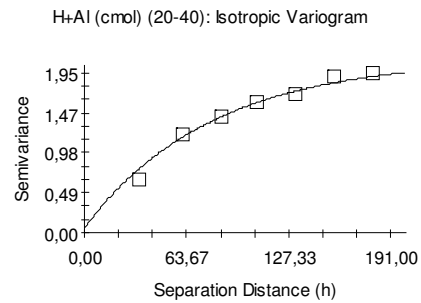


Exponential model ( $C_0 = 0,02030$ ;  $C_0 + C = 0,13860$ ;  $A_0 = 27,80$ ;  $r_2 = 0,329$ ;  $RSS = 1,201E-03$ )

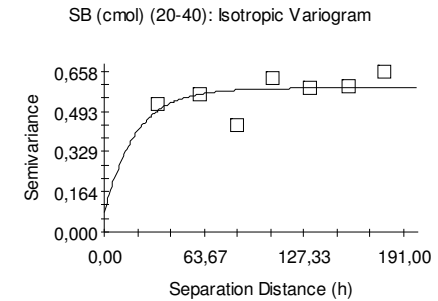
Semivariogramas para os atributos químicos em Latossolo Vermelho Distrófico, na profundidade 0-20 cm, amostrados na safra 2010/2011  
(continuação...).



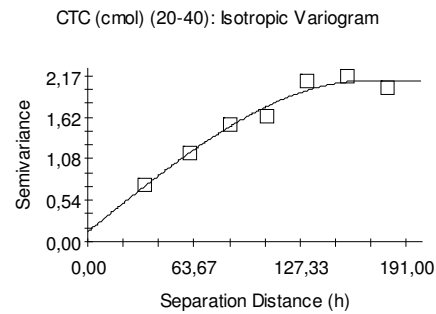
Exponential model ( $C_0 = 0,01330$ ;  $C_0 + C = 0,08790$ ;  $A_0 = 22,00$ ;  $r_2 = 0,171$ ;  
RSS = 6,724E-04)



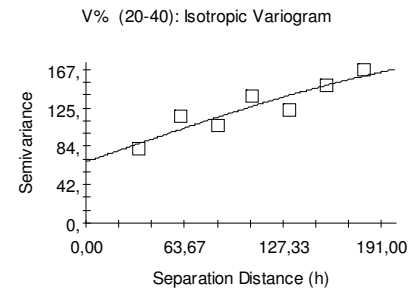
Exponential model ( $C_0 = 0,06600$ ;  $C_0 + C = 2,13200$ ;  $A_0 = 80,00$ ;  $r_2 = 0,990$ ;  
RSS = 0,0259)



Exponential model ( $C_0 = 0,07900$ ;  $C_0 + C = 0,58900$ ;  $A_0 = 20,00$ ;  $r_2 = 0,136$ ;  
RSS = 0,0288)



Spherical model ( $C_0 = 0,13000$ ;  $C_0 + C = 2,10300$ ;  $A_0 = 167,30$ ;  $r_2 = 0,971$ ;  
RSS = 0,0485)



Spherical model ( $C_0 = 66,70000$ ;  $C_0 + C = 187,70000$ ;  $A_0 = 308,70$ ;  $r_2 = 0,851$ ;  
RSS = 746,)