

## **CORRELAÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE TOMATE INDUSTRIAL**

**Danilo Gomes de Oliveira<sup>1</sup>; Marcos Paulo Oliveira Martins<sup>2</sup>; Anderson da Silva Umbelino<sup>3</sup>; Elton Fialho dos Reis<sup>4</sup>; Daniel Santana Colares<sup>5</sup>**

1 Professor Mestre em Engenharia Agrícola, IFTO- Campus Colinas do Tocantins –TO, danilo.oliveira@ifto.edu.br;

2 Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis (GO);

3 Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis (GO);

4 Professor Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis (GO).

5 Professor Mestre em Engenharia Agrícola, IFTO- Campus Colinas do Tocantins –TO;

**1 RESUMO:** Com a mecanização em todas as etapas de manejo das culturas, o solo passou a receber maior carga superficial, o que provoca mudanças em suas propriedades físicas e altera a estrutura de poros. Este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade e a correlação espacial dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho com a produtividade do tomate industrial. Para isso montou-se uma malha amostral utilizando um receptor *global positioning system* (GPS), com 84 pares de pontos espaçados de 80 x 80 m. Após a construção da malha foram retiradas em campo amostras na camada 0,00-0,20 m para mensurar os atributos físicos do solo e dados da planta. As variáveis medidas foram: densidade do solo (Ds), resistência do solo à penetração (RP), a textura do solo e a produtividade do tomate. Os valores obtidos foram analisados utilizando-se a geoestatística, e foram classificados segundo o grau de dependência espacial. Logo após, utilizando o método de interpolação por krigagem ordinária e cokrigagem ordinária foram estimados os valores para locais não amostrados, permitindo a confecção de mapas de isovalores e a definição de zonas de manejo no campo. A densidade do solo foi influenciada pela areia, mostrando uma correlação espacial de 66,0%. A região nordeste do mapa de produtividade total foi a região onde apresentou maiores produtividades, com valores de 115 t ha<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** Atributos do solo, geoestatística e variabilidade espacial.

## **2 INTRODUÇÃO**

O solo é um sistema complexo, resultante de vários fatores e processos, que juntos, conferem características e propriedades específicas de cada solo (SILVA *et al.*, 2015). A variabilidade espacial do solo é uma característica que deve ser considerada em todos os tipos de amostragem de solo, principalmente, para o uso agrícola. Este tipo de estudo, possibilitando maior detalhamento da área o que pode indicar locais com necessidades de tratamentos diferenciados quanto ao manejo.

No Brasil a produção de tomates tem se destacado nos últimos anos em função do elevado nível de tecnologia adotado pelos produtores (HOTT *et al.*, 2014). Os maiores produtores são os Estados de Goiás, São Paulo, Minas Gerais, Pernambuco e Bahia, responsáveis por 77% da produção anual de tomate. Uma das hortaliças mais consumidas, sendo considerada pelos nutricionistas um dos frutos mais completos para consumo humano (ASSUNÇÃO *et al.*, 2013).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade e a correlação espacial dos atributos

físicos de um Latossolo Vermelho com a produtividade do tomate industrial.

### 3 METODOLOGIA

O trabalho foi conduzido na fazenda Madeira, município de Gameleira de Goiás, GO, com altitude de 940 m, e coordenadas 16° 22'17,3''S 48°35'20,5''O. O solo é classificado como Latossolo Vermelho textura franco-argiloso (Embrapa, 2013). A cultivar utilizada foi a Cangata. Utilizaram-se linhas duplas de plantio com espaçamento de 1,2 m entre linhas, resultando em 30 mil plantas por ha.

Foi construída uma malha amostral de 84 pares de pontos, espaçados de 80 x 80 m, totalizando uma área de pivô com 57 ha. Para isso, utilizou-se um receptor *global positioning system* (GPS) com sistema de correção diferencial em tempo real (SAD69).

As amostras foram coletadas em cada um dos 84 pontos do grid. Foram coletadas amostras de solo deformadas e indeformada na camada de 0,0 a 0,20 m de profundidade.

Para a Ds e umidade do solo a coleta foi realizada com auxílio de um amostrador do tipo "Uhland", utilizando cilindros de aço inoxidável com volume aproximado de 100 cm<sup>3</sup>, e foi levado à estufa a 105 °C, por 24 horas conforme metodologia proposta por (DONAGEMA *et al.*, 2011). Para a determinação da textura do solo utilizou-se metodologia descrita em Donagema *et al.* (2011).

A resistência do solo à penetração foi determinada com um penetraógrafo eletrônico da marca *Falker PLG1020* seguindo as normas da ASAE S 313 (ASABE, 2006). Foram realizadas cinco medições de resistência do solo à penetração, em um raio de 3 metros a partir da coordenada de cada ponto amostral, na camada e de 0,0-0,20 m.

A avaliação da produtividade foi realizada demarcando uma área de 1 m<sup>2</sup> em cada ponto da malha amostral georreferenciado, no período da colheita dos frutos do tomate industrial. Posteriormente colhidos os frutos foram pesados em uma balança de precisão.

Para análise dos dados realizou-se a estatística descritiva. Para os cálculos dos semivariogramas e seus respectivos ajustes, utilizou-se o software geoestatístico GS+versão 7.0. Os modelos foram selecionados como base a escolha do maior valor de R<sup>2</sup> e na menor soma de quadrados dos resíduos (RSS) conforme descrito em (DALCHIAVON *et al.*, 2011). Os modelos foram classificados de acordo com o grau de dependência espacial (GDE), proporção entre o efeito pepita (C<sub>0</sub>) em relação ao patamar (C<sub>0</sub> +C), seguindo classificação, proposta por Dalchiavon e

Carvalho, (2012). Com ( $GDE < 20\%$  Muito baixa), ( $20\% \leq GDE < 40\%$  Baixa), ( $40\% \leq GDE < 60\%$  Média), ( $60\% \leq GDE < 80\%$  Alta), ( $80\% \leq GDE < 100\%$  Muito alta). Após a escolha do melhor modelo, realizou-se a construção dos mapas de isolinhas e interpolações pelo o método da krigagem e da cokrigagem.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises descritivas dos atributos físicos do solo estão apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Estatística descritivas dos atributos físicos do Latossolo Vermelho e componentes de produção do fruto do tomate industrial.

	Ds (Mg m <sup>-3</sup> )	Argila	Areia	Silte	RP MPa	Us g g <sup>-1</sup>	Produtividade
Média	1,41	430	340	228	1,29	0,26	80,09
Mediana	1,42	450	320	230	1,17	0,26	78,74
DP	0,16	8,5	11,47	3,7	3,59	0,10	18,41
Mínimo	1,06	170,00	170,00	120	0,74	0,11	34,44
Máximo	1,60	550,00	710,00	300	2,32	0,48	121,76
CV (%)	11,34	19,71	33,68	16	27,87	36,29	0,22
R	10,59	1,66	-6,00	15,78	15,93	-7,81	-

CV(%) - coeficiente de variação; Ds - densidade do solo; RP - resistência do solo a penetração; Us - umidade do solo; r - correlação de Pearson com a produtividade total.

Os elevados valores de CV verificados para os atributos do solo sugerem alta heterogeneidade em torno da média. Esta heterogeneidade pode ter diferentes causas, dentre as quais podem ser destacadas a gênese do solo e a declividade que influencia na distribuição das partículas do solo, devido ao arraste, conforme Betoni e Lombardi Neto (2008). O valor médio de resistência do solo à penetração (RP) na profundidade de (0,00-0,20) foi de 1,28 Mpa (Tabela 1), onde segundo Hoffer *et al.* (2015), este valor não é crítico ao desenvolvimento e crescimento das plantas.

Em relação aos componentes de produção do tomate industrial o coeficiente de variação (CV) de 22%, com média de produção de 80 t ha<sup>-1</sup>, variando de 34 a 121 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 1) valores próximos aos encontrados por Marouelli *et al.* (2005) para o fruto do tomate industrial. A média da produtividade da cultura foi superior ao estado de Goiás, conforme CONAB (2014). A correlação Pearson dos atributos físicos do solo com a produtividade (Tabela 1), a Ds, teor de argila, areia, silte, RP e umidade apresentaram os valores de correlação, sendo classificado segundo a adaptação feita por Figueiredo Filho e Silva Junior (2009), como correlação nula e fraca, onde Kitamura *et al.*

(2007) encontrou dados semelhantes entre a produtividade do feijão e a granulometria do solo.

Na Tabela 2 verifica-se que a Ds foi explicada pelo modelo Linear, já MIGUEL (2010) ajustaram ao modelo exponencial para explicar a mesma variável do solo.

TABELA 2. Semivariogramas simples para os atributos físicos do solo, produtividade do tomate e cruzado entre os atributos Ds vs teor de areia.

Geoestatística								
$\gamma(h)$ simples dos atributos físicos do solo								
	Camada	Modelo	$C_0$	$C_0+C_1$	A	$R^2$	RSS	GDE
Ds	(0-20)	Linear	0,011	0,013	747,72	0,165	$3 \cdot 10^{-5}$	84,61
Us	(0-20)	Esférico	1,70	101,6	111,00	0,090	$110^{-3}$	1,67
RP	(0-20)	Exponencial	14800,0	131300,0	29,00	0,073	$4 \cdot 10^{-8}$	11,27
Arg	(0-20)	Gaussiano	10,300	73,86	96,00	0,884	$1 \cdot 10^{-2}$	13,94
Are	(0-20)	Gaussiano	19,100	136,200	98,00	0,780	$1 \cdot 10^{-2}$	14,02
$\gamma(h)$ simples para os componentes de produção								
Total		Exponencial	29,80	310,00	109,00	0,52	$2 \cdot 10^4$	9,61
$\gamma(h)$ Cruzado para solo vs solo								
Ds x areia		Gaussiano	0,327	2,66	1546,0	0,660	$1 \cdot 10^{-3}$	12,29

Ds - densidade do solo; Us - umidade do solo; RP – resistência do solo à penetração; Arg - teor de argila; Are - teor de areia; Ds x Areia - semivariogramas cruzado para densidade e teor de areia no solo;  $C_0$  - Efeito pepita;  $C_0+C_1$  - Patamar; A - alcance;  $R^2$  - Coeficiente de determinação; RSS - soma de quadrado do resíduo; GDE - grau de dependência espacial.

Para a densidade do solo houve uma menor a proporção de  $C_0$  para o patamar ( $C_0+C_1$ ) (0,013) bem como maior a proporção de  $C_1$  (0,002) para o patamar, indicando semelhança entre os valores vizinhos, apresentando maior continuidade do fenômeno e menor variância da estimativa (Tabela 2), conforme Miguel, 2010. A RSP apresentou o modelo exponencial com melhor explicação dos dados avaliados, sendo com grau de dependência espacial muito baixo. O alcance variou em torno de 29 m, ou seja, abaixo da distância definida na malha de amostragem (80 m). Com GDE classificado como muito baixa com valores de 11,3%, (DALCHIAVON *et al.*, 2012). O alcance, segundo Andriotti (2013), representa uma zona de influência que separa as observações correlacionadas das independentes, ou seja, os dados que se encontram acima do alcance não se correlacionam espacialmente, como pode ser observado nos semivariogramas da argila e areia (Tabela 2).

Os atributos argila e areia apresentaram dependência espacial muito baixa com um GDE de 13,9 e 14,02%, (Tabela 2), onde o melhor modelo explicado para os dois atributos foi o Gaussiano. Com um alcance chegando a 96 e 98 m, respectivamente, para a argila e areia, tendo os seus valores maiores as que a malha amostral utilizada para a coleta dos dados. Embora os valores da

produtividade apresentar CV baixo, os mesmos são capazes de detectar a variabilidade espacial existente, sendo então possível termos a presença da dependência espacial, explicada pelo modelo exponencial, pois segundo Landim (2006), é possível captar pequenas variabilidades a menores distâncias, com um GDE muito baixo e um alcance próximo a 109 m. Resultados semelhantes foram observado por Boesing *et al.* (2014) em uma lavoura comercial de soja.

Os melhores parâmetros resultantes das cokrigagem para os atributos físicos do solo foram da  $D_s$  vs conteúdo de areia, ( $D_s=f(\text{areia})$ ), onde os coeficientes de determinação espacial foram de 0,66 com alcances de 1.546 m. Corroborando com as correlações espaciais feitas por Martins *et al.* (2009). Já Montanari *et al.* (2010), constataram que apenas a umidade resultou em cokrigagem com a produtividade de grãos de feijão, cujo coeficiente de determinação espacial ( $r^2$ ) foi de 0,63, equivalente ao GDE de 61,6%.

Na (Figura 1A) mostra o mapa de densidade do solo, sendo possível visualizar que a região norte e a região sul, foram os locais onde apresentou os maiores valores de  $D_s$ , com média variando entre 1,28 à 1,48  $\text{Mg m}^{-3}$ , valores estes próximos aos encontrados por Lovera *et al.* (2015), que apresentou média  $D_s$  de 1,37  $\text{Mg m}^{-3}$ . Segundo Montanari *et al.* (2012), o limite crítico para densidade nesta classe de solo é de 1,50  $\text{Mg m}^{-3}$ , que aumenta com a redução do teor de argila do solo e dos espaços vazios entre partículas do solo, como pode ser verificado no mapa de areia (Figura 1B).

Quanto à textura do solo, nota-se um comportamento padrão entre os teores de argila (Figura 1C) e silte (Figura 1D) e inversos entre os teores de areia (Figura 1B). Para a argila os menores valores estão ao sudoeste do talhão 217  $\text{g kg}^{-1}$  e para areia estão os maiores valores 523  $\text{g kg}^{-1}$ , constatando a presença de solos com textura média segundo classificação feita por Donagema *et al.* (2011).

Observa-se no mapa de contorno da RP na profundidade (0,00-0,20 m) que existe uma variabilidade dentro da área em estudo (Figura 1E), apresentando uma amplitude de variação, com regiões isoladas de valores mais elevados de RP, que podem apresentar compactação, pois apresentam valores acima de 2 MPa, conforme Cerri, (2005).

Na Figura 1F encontra-se o mapa interpolado da umidade do solo, observa-se que a amplitude de variação foi baixa, as maiores umidades encontram-se a norte e sul do mapa.

Os valores de umidade do solo obtida durante a determinação da RP foi em média igual à 0,29  $\text{kg kg}^{-1}$  (Tabela 1). Esta diferença no conteúdo de água mesmo que pequena é de extrema

importância em razão de ser o parâmetro que mais afetam os valores da RP.

Na Figura 1E e 1F é possível verificar que as regiões de maiores umidades equivalem as de menor RP e as de menor umidade apresentam valores superiores de RP. Uma análise de correlação de Pearson demonstrou que a RP correlaciona-se negativamente com a umidade solo no valor de -0,47.

Com o auxílio dos parâmetros e modelos que melhor se ajustaram aos semivariogramas experimentais, para cada fase de desenvolvimento do tomate industrial, foi possível obter os mapas temáticos para cada componente.

Com isso, verificou-se que a região nordeste do mapa de produtividade total (Figura 1G) foi à região onde apresentou maiores produtividades, com valores de 115 t ha<sup>-1</sup>.

Em relação aos mapas de cokrigagem observado na Figura 1L é possível verificar a relação entre teor areia e a densidade do solo, pois as regiões onde encontra-se maior quantidade de areia, apresenta maiores valores de densidade do solo.

A Ds foi influenciada pela textura do solo (LIBARDI, 2005), solos arenosos apresentam densidade superior ao solo argiloso, sob as mesmas condições, enquanto que os solos siltosos apresentam comportamento intermediário. A densidade dos solos arenosos pode variar de 1,3 a 1,8 Mg m<sup>-3</sup>, enquanto em solos argilosos esta variação pode ir de 0,9 a 1,6 Mg m<sup>-3</sup> (CARVALHO *et al.*, 2011).

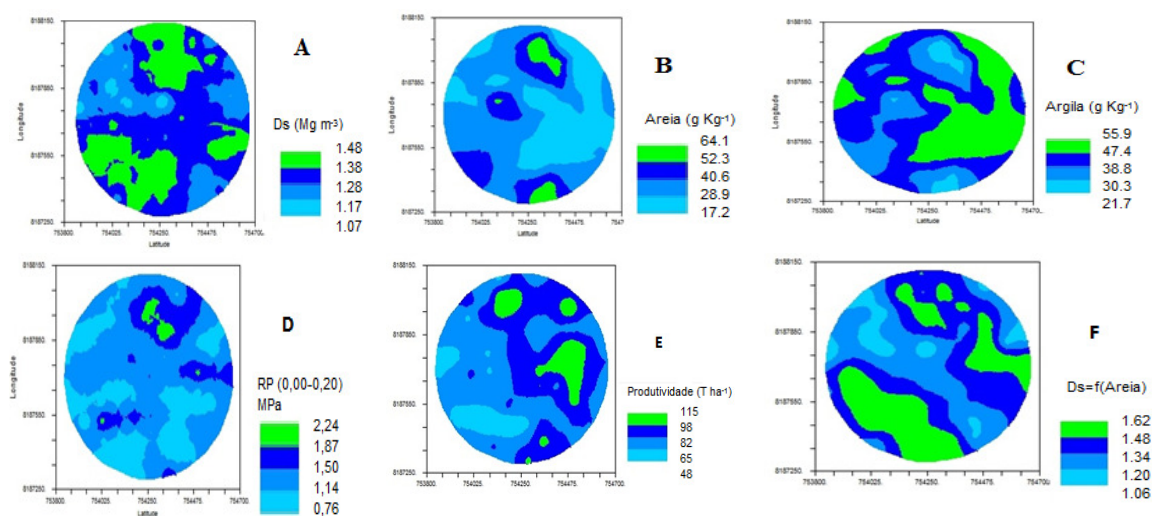


FIGURA 1. A - Mapa de contorno para densidade do solo; B - Mapa de contorno para o teor de areia (g kg<sup>-1</sup>); C - Mapa de contorno para o teor de argila (g kg<sup>-1</sup>); D - Mapa de contorno para a resistência do solo a penetração de 0,0 m a 0,20 m (MPa); E - Produtividade (t ha<sup>-1</sup>); F - Mapa de contorno para os semivariogramas cruzados para os atributos do solo densidade e teor de areia

no solo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapa de Ds apresentou regiões com valores próximo ao limite crítico ao desenvolvimento das plantas para esta classe de solo. A Ds foi influenciada pelo conteúdo de areia.

A utilização da geoestatística e a construção dos mapas por meio da krigagem e cokrigagem ordinária permitiram identificar distintas zonas de manejo bem definidas, para os diferentes atributos do solo e produtividade do tomate.

## REFERÊNCIAS

ANDRIOTTI, J. L. S; **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. Editora UNISINOS. 3ª ed.166 p. 2013.

ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers. Soil cone penetrometer. **ASABE Standard S313.2**. St. Joseph, 2006, p.903-904.

ASSUNÇÃO, P. E. V.; SPINELLI, E. M.A.; CARDOSO, J. S. Caracterização da produção de tomate-industrial no município de Morrinhos/GO: da utilização de defensivos à vantagem dos contratos. **Teoria e Evidência Econômica**, Passo Fundo, v. 19, n. 40, p. 153-168, 2013.

BERTONI, J. ; LOMBARDI, F. N. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008.355p.

BOESING, B. F. B.; BOTTEGA, E.L.; CATEN, A.T.; SARTORI, L.; ARAMOTO, R.H. VARIABILIDADE ESPACIAL DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NA CULTURA DA SOJA EM ESTÁDIO REPRODUTIVO. In. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP, 2014, São Pedro – SP. Anais... São Pedro: USP/ESALQ, 2014.

CARVALHO, L.A.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C.A.; CAVALIERI, K.M.V.; SANTOS, C.F.B. Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 15:940-949, 2011.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: TOMATE INDUSTRIAL Safra 2014.< <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t>> Maio. 2016.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; MONTANARI, R.; ANDREOTTI, M.; BEM, E. A. D. Inter-relações da produtividade de cana soca com a resistência à penetração, umidade e matéria orgânica do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n.2, p. 255-264, 2014.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; NOGUEIRA, D. C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F. L.; ASSIS, J. T.; OLIVEIRA, M. S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n.2, p. 8-19, 2011.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. **Manual de métodos de análise de solos**. — Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

EMBRAPA. **Cultivo de tomate para industrialização**. 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial/expediente.htm>>. Acesso em: 15 Mai. 2016.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JUNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)\*. **Revista Política Hoje**, Recife, v. 18, n.3, p. 115-146, 2009.

HOFFER, H.; DEBASTIANI, A. B.; NETO, R. P. M.; MENEGATTI, D.; NETO, S. L. R. Variabilidade espacial do estado de compactação do solo em um sítio experimental de Mimosa Scabrella Benth. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.11, n.21; p. 1903, 2015.

HOTT, M. O.; LIMA, V. L. S.; PEREIRA, L.R.; SOUZA, J.M.; REIS, E. F. Produção de biomassa na fase vegetativa do tomateiro em função da tensão de água no solo. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v.10, n.18; p. 2389 2014.

KITAMURA, A. E.; CARVALHO, M. P.; LIMA, C. G. R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 31, p.361-369. 2007.

LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. **Terra Didática**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.

LOVERA, L.H.; LIMA, E.S.; MONTANARI, R.; PANOSSO, A.R.; SILVA, T.S. VARIABILIDADE ESPACIAL DA SOJA E DE ALGUNS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO In. IV Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias, 2015. Botucatu. **Anais...** São Paulo: UNESP, 2015.

MARTINS, M.V.; CARVALHO, M.P.; ANDREOTTI, M. & MONTANARI, R. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.31, n.1, p.147-154, 2009.

MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L. C.E.; SILVA, H.R. da. Manejo da irrigação em hortaliças. 5.ed. Brasília: **EMBRAPA-SPI**, 72p. 1996.

MIGUEL, F. R. M. **Variabilidade espacial de atributos do solo e produtividade em área cultivada com cana-de-açúcar**. 2010. 80 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agrônomo. Campinas.

MONTANARI, R.; CARVALHO M. P.; ANDREOTTI M.; DALCHIAVON F. C.; LOVERA L. H. ; HONORATO M. A. O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n.1, p. 1811-1822, 2010.

SILVA, J. T. A.; SIMÃO, F. R.; ALVES, J. J. M. Desenvolvimento vegetativo e produção do



pinhão-mansão em resposta à adubação fosfatada. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n.3, p. 319-322, 2015.