

Variabilidade espacial de atributos físicos e características agronômicas de tomate industrial em solo do cerrado

Anderson da Silva Umbelino¹ (IC) *, Marcos Paulo de Oliveira Martins² (PG), Mateus Prolo Massola³ (PG), Elton Fialho dos Reis (PQ)⁴

¹Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo, anderson-umbelino@hotmail.com;

²Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo;

³Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo, Anápolis;

⁴Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo, Anápolis.

Resumo: O estudo da variabilidade espacial em sistema de cultivo é importante para que se possa aprimorar as opções de manejo. Objetivou-se avaliar a variabilidade espacial de atributos físicos e características agronômicas de tomate industrial em solo do cerrado. Na camada de 0,00 a 0,20 metros foram quantificados os atributos físicos do solo: Resistência do solo à penetração (RP), densidade (DS), umidade e granulometria, com subsídio de uma malha amostral formada por 61 pontos espaçados por 90mX90m. A produtividade foi determinada demarcando-se uma área de 1m² em cada ponto georreferenciado e o volume de frutos foi medido em um recipiente graduado com água, obtido pela média de três frutos medidos separadamente. Todo procedimento geoestatístico foi realizado no software GS+ versão 7.0 estudado por meio da krigagem. A granulometria do solo apresentou maior variabilidade dentre os atributos estudados, silte e areia apresentaram coeficiente de variação muito alto (35,10% e 30,82% respectivamente) já argila apresentou coeficiente de variação médio (19,11%). A produtividade apresentou dependência espacial baixa e o mapa de distribuição proporcionou maiores produtividades em locais com menor DS. A malha utilizada não detectou a dependência espacial da Clorofila e RP restringindo a confecção dos mapas dos mesmos.

Palavras-chave: Dependência espacial. Krigagem. Produtividade. *Solanum lycopersicum* L.

Introdução

A heterogeneidade existente no solo tanto de caracteres químicos como físicos variam continuamente no espaço e no tempo, podendo ser evidenciadas na implementação de técnicas da agricultura de precisão (BAZZI et al., 2013), que por sua vez, busca melhorar a qualidade do solo de forma isolada espacialmente, por meio da utilização de diferentes unidades de manejo. O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma hortaliça que ocupa posição destacada no mercado, seja por

sua importância econômica ou nutritiva. Este fruto é produzido em todo o mundo, com tecnologias cada vez mais eficientes do ponto de vista produtivo, e que, na maioria das vezes, não priorizam a racionalização dos recursos naturais (NETO et al., 2016).

O início da agricultura de precisão (AP) teve foco em máquinas dotadas de receptores GPS (Global Positioning System) e mapas de produtividade. Talvez, devido a essa fase, estabeleceu-se no Brasil, um senso comum de que o tema AP é uma área do conhecimento relacionada à sofisticação das máquinas agrícolas constituindo um tema abrangente, sistêmico e multidisciplinar (FRANÇA et al., 2016). Com o desenvolvimento da agricultura de precisão, o conhecimento da distribuição espacial de variáveis de solo e planta tornou-se indispensável para o planejamento e otimização da agricultura de uma forma geral (FREITAS et al., 2015), tendo uma visão de que é um sistema de gestão que leva em conta a variabilidade espacial do campo, com o objetivo de obter um resultado sustentável social, econômico e ambiental (FRANÇA et al., 2016).

A proposta da agricultura de precisão consiste em manejar o campo atendendo a variabilidade espacial da produção, analisando assim sua lavoura com mais propriedade e exatidão (BREVIK et al., 2006; BAZZI et al., 2013). A variabilidade espacial ou a heterogeneidade de produtividade pode estar associada a uma série de fatores que interagem de forma complexa e condicionam a expressão da cultura (VIAN et al., 2016). Essa técnica pode ser aplicada para atributos da planta, de forma a possibilitar o gerenciamento mais preciso do processo de colheita e, também, o acompanhamento do desenvolvimento da planta (FERRAZ et al., 2017). De acordo com Vian et al., (2016) o estudo da variabilidade espacial de atributos de solo e de planta é fundamental para o entendimento do potencial produtivo da cultura e sua variabilidade em uma área agrícola, podendo levar a aplicação de práticas de manejo sítio-específicas, visando à maximização do potencial produtivo em diferentes zonas da lavoura. OLIVER et al., (2010) afirmam que atributos não alteráveis do solo, como textura e topografia, são bons critérios para definir a variabilidade do potencial produtivo dos campos. No entanto, o entendimento dos processos de maturação do tomate e as características de qualidade dos frutos em prol do armazenamento são fundamentais para a comercialização (FERREIRA et al., 2010). Contudo o estudo da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo utilizando a geoestatística, permite por meio desta análise detectar a variabilidade e distribuição espacial dos atributos estudados e, portanto, constitui importante ferramenta na análise e descrição

detalhada da variabilidade dos atributos do solo (ALVES et al., 2014). Neste contexto a geoestatística, por levar em consideração as distribuições espaciais das amostras, se apresenta como uma ferramenta adicional de análise permitindo definir o raio de correlação espacial entre elas (FREITAS et al., 2015). Com isso objetivou-se avaliar a variabilidade espacial de atributos físicos e características agronômicas de tomate industrial em solo do cerrado.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado na Fazenda Barcellos, localizada no município de Anápolis – Go com altitude média de 995 m e coordenadas 16° 25' 57,62" latitude sul e 48° 50' 29,61" longitude oeste e clima do tipo Aw (Clima Tropical Chuvoso), conforme classificação de Köppen. A área comercial é constituída por uma topografia com pouca declividade, sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho-Escuro com textura Franco Argilosa. A malha amostral foi constituída de 61 pontos espaçados de 90 X 90 m e com auxílio de um receptor *global positioning system* (GPS). Foram coletadas amostras deformadas em que, cada amostra foi composta por cinco subamostras simples, na camada de 0,0-0,20 m a fim de se realizar a análise de umidade e quantificar a composição granulométrica do solo (areia, silte e argila) e matéria orgânica, e amostras indeformadas, também na camada de 0,0-0,20 m para a determinação da densidade do solo e umidade do solo, ambos os métodos propostos pela Embrapa (2011). As amostras foram coletadas em um raio de 3 metros, em torno de cada ponto do grid amostral, em seguida embaladas, vedadas e encaminhadas para ao Laboratório de Mecânica dos Solos do curso de Engenharia Agrícola e Civil do Campus CCET para as referentes análises de solo. Foi coletado cinco dados de resistência à penetração obtendo a média dos valores adquiridos nas profundidades de 0 a 0,20 m, empregando-se um penetrógrafo eletrônico Falker PLG 1020, seguindo-se as normas da ASAE S 313 (ASABE, 2006).

Os valores do índice de clorofila foram determinados utilizando o clorofilômetro, ClorofilLOG® modelo CFL 103, o qual fornece valores de clorofila total expressas em unidades chamadas Índice de Clorofila Falker (ICF). Este processo foi repetido em 5 folhas por ponto amostral, obtendo-se assim o valor de clorofila total, representado pela média das cinco medições realizadas.

A produtividade foi determinada no período da colheita demarcando-se uma área de 1m² para cada ponto georreferenciado. Posteriormente foram pesados os frutos, utilizando uma balança de mão com resolução de 0,01g com capacidade

máxima de 40 kg. O volume de frutos foi medido em um recipiente graduado com água, obtido pela média de três frutos medidos separadamente.

A fim de avaliar a variabilidade dos dados e verificar a existência de distribuição normal, foi realizada estatística descritiva. A relação das variáveis em estudo foi analisada pela correlação de Pearson, ambas análises realizadas com o auxílio do programa Microsoft Excel, versão 2010. O coeficiente de variação foi classificado conforme Gomes e Garcia (2002), considerando-se alto ($20\% < CV < 30\%$), médio ($10\% < CV < 20\%$) e baixo ($CV < 10\%$). A dependência espacial dos atributos estudados foi avaliada pela geoestatística e a partir dos valores de semivariância construiu os semivariogramas experimentais para o conjunto de dados, gerados pelo software GS+ versão 7.0 (Gamma Design Software®). Os modelos foram classificados de acordo com o coeficiente de determinação (R^2) e soma de quadrados de resíduos (RSS). A classificação da dependência espacial foi classificada conforme Dalchiavon et al. (2012), em que o Grau de Dependência Espacial (GDE) $< 20\%$, considerada dependência espacial muito baixa; $20\% \leq GDE < 40\%$, considerada dependência espacial baixa; $40\% \leq GDE < 60\%$, considerada dependência espacial média; $60\% \leq GDE < 80\%$, considerada dependência espacial alta; $80\% \leq GDE < 100\%$, considerada dependência espacial muito alta. Em seguida a escolha do melhor modelo de ajuste aos dados foi elaborado os mapas de isolinhas pelo software GS+ versão 7.0, realizados pela krigagem por meio das interpolações do software.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentados a descrição quantitativa da distribuição dos atributos agrônômicos do tomate e atributos físicos do solo e matéria orgânica. Na análise descritiva verificou-se que a produtividade média do tomate maduro na área em estudo foi de $100,90 \text{ t ha}^{-1}$, valor superior comparado a outros, como Rabelo (2015), em que, trabalhando com tomate industrial no município de Ceres localizado na mesorregião do Centro Goiano, encontrou produtividade média abaixo de 67 t ha^{-1} . Basílio (2016) também encontrou produtividade inferior ao deparado nesse estudo. O autor avaliando dois híbridos de tomate industrial em morrinhos por dois anos seguidos, encontrou no primeiro ano produtividades de $74,24 \text{ t ha}^{-1}$ e $91,9 \text{ t ha}^{-1}$ para as cultivares HEINZ 9553 e BRS SENA respectivamente. No entanto no segundo ano de experimento o autor encontrou produtividade de 110 t ha^{-1} para as duas cultivares.

Tabela 1 - Estatística descritiva para Produtividade (PR), Volume de Frutos (VF), Clorofila, Matéria Orgânica (MO), Densidade do Solo (DS), Umidade (U), Resistência do solo à Penetração (RP), Argila, Silte e Areia.

Parâmet. Estatíst.	PR (T ha ⁻¹)	VF (%)	CLOR. (ICF)	MO (%)	DS (g cm ³)	U (%)	RP (kpa)	Argil. (%)	Silte (%)	Areia (%)
Nº	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
Amost.										
Média	100,99	302,79	419,64	1,48	0,92	21,94	1620,46	36,98	21,38	41,64
Mínimo	35,20	170,00	267,40	1,00	0,72	16,52	979,94	27,00	11,00	10,00
Máximo	139,60	425,00	487,20	2,00	1,04	30,53	2252,00	53,00	41,00	58,00
Mediana	101,00	300,00	423,20	1,60	0,95	21,22	1593,11	37,00	18,00	47,00
Assimet.	-0,48	-0,15	-0,94	0,46	-1,33	0,88	0,06	0,46	0,99	-0,90
Curtose	0,13	-0,92	1,79	-1,19	1,13	-0,01	-0,34	-0,90	-0,06	-0,21
D.	23,18	64,45	42,10	0,33	0,07	3,30	267,27	7,07	7,50	12,83
Padrão										
Variância	537,57	4158,77	1772,14	0,11	0,01	10,92	71436,86	49,98	56,31	164,73
C.V. (%)	22,96	21,30	10,00	22,40	7,62	15,07	16,49	19,11	35,10	30,82
C.PER.	1,00	-0,52	0,17	0,09	-0,27	0,17	0,05	-0,01	0,05	-0,02

C.V- Coeficiente de variação; C. Per. - Correlação de Person em Relação à Produtividade.

A granulometria do solo apresentou maior variabilidade dentre os atributos estudados, em que a análise de silte e areia resultaram em coeficiente de variação muito alto (35,10% e 30,82% respectivamente) já argila apresentou CV médio (19,11%) seguido de RP (16,49%) e U (15,07%). Já produtividade e volume dos frutos apresentaram CV alto (22,96% e 21,30% respectivamente) como MO com CV de 22,40%. Por fim os únicos atributos que apresentaram CV considerado baixo foram DS (7,62%) e Clorofila (10,00%).

Na camada de 0,0 – 0,20 m a resistência mecânica do solo à penetração RP apresentou média de 1620,46 kpa. Trevisan et al., (2017) encontraram RP de 2100 kpa trabalhando em Latossolo Vermelho-Amarelo sob integração lavoura-pecuária. Ainda são poucas as informações acerca da RP em que podem prejudicar o desenvolvimento de raízes, já que o mesmo varia com o tipo de solo, espécie vegetal e o teor de água do solo, dificultando conclusões sobre os valores de RP encontrados. Contudo pesquisas destacadas por alguns autores e aceito no meio científico, alegam que a resistência à penetração limitante ao crescimento radicular é de 2,0 MPa (SILVA et al., 2008), em que pode indicar baixa compactação no caso desse estudo se fosse

indicado pela média. No entanto o valor de RP apresentou máximo valor de 2252 kpa de acordo com a Tabela 1. E por meio da metodologia de análise geoestatística, auxilia quantificar a magnitude e a estrutura de dependência espacial de todas as variáveis em estudo (FERRAZ et al., 2017), auxiliando na identificação das localidades com valores altos e baixos de um atributo, evidenciando maior precisão no manejo abordando de forma pontual a necessidade da planta e solo.

Na tabela 2 são apresentados os modelos de semivariogramas experimentais ajustados as variáveis. O melhor modelo matemático ajustado para os atributos físicos do solo foi o gaussiano, com exceção de densidade (Esférico) e resistência do solo à penetração (Exponencial). Já atributos agrônômicos ajustaram-se aos modelos exponencial (produtividade e clorofila) e gaussiano (volume de frutos).

TABELA 2 - Modelos teóricos dos semivariogramas ajustados aos parâmetros físicos do solo e agrônômicos na cultura do tomate industrial.

Parâmetros	Geoestatística						
	Modelo	Co	Co+C1	A	R ²	RSS	GDE%
Produtividade	Exponencial	203,00	691,20	290,00	0,925	10638	29,37
	Gaussiano	1500,00	5940,00	307,00	0,943	1,48. 10 ⁰⁶	25,25
Volume de Frutos	Exponencial	241,000	1819,000	52,00	0,362	1,34.10 ⁰⁵	13,25
ICF	Gaussiano	0,0410	0,4060	933,00	0,985	6,76.10 ⁻⁰⁴	10,10
Matéria Orgânica	Esférico	0,00034	0,00532	347,00	0,633	7,00.10 ⁻⁰⁶	6,39
Densidade	Gaussiano	2,000	35,000	720,00	0,985	12,7	5,71
Umidade do Solo	Exponencial	5400,00	68410,00	35,00	0,037	6,25.10 ⁰⁸	7,89
Resistência do solo à Penetração	Gaussiano	30,1000	117,460	865,00	0,972	91,00	25,62
% Argila	Gaussiano	7,700	216,300	804,00	0,988	282	3,56
% Silte	Gaussiano	35,00	580,9000	803,00	0,980	3244	6,02
% Areia							

Co – efeito pepita; Co+ C1 – patamar; a – alcance (m); GDE = Co/ (Co+ C1) – grau de dependência (%). GDE – Grau de dependência espacial (muito baixa < 20%; baixa 20 a 40%; c) média 40 a 60%; d) alta 60 a 80%; muito alta 80 a 100% e efeito pepita puro 100%) segundo classificação proposta por Dalchiavon et al. (2012).

Analisando os valores de alcance observou-se que para clorofila e RP, não foi possível detectar a dependência espacial com a malha experimental utilizada, devido ao valor do alcance ser menor que 90 m. As coletas de dados realizadas a distâncias maiores que o alcance têm distribuição aleatória e, por essa razão, são independentes entre si, devendo ser aplicada a estatística clássica (MATIAS et al., 2015). Contudo, dados coletados em distâncias menores que o alcance, são correlacionadas, o que permite que se façam interpolações para espaçamentos menores que os amostrados

(NEGREIROS NETO et al., 2014). Com isso não foi possível realizar a interpolação por krigagem e confeccionar os mapas para clorofila e RP. Por outro lado, todos os demais atributos apresentaram semivariograma com alcance superiores a 90 m, sendo confeccionados os mapas de isolinhas dos mesmos (Figura 1) por meio da krigagem ordinária.

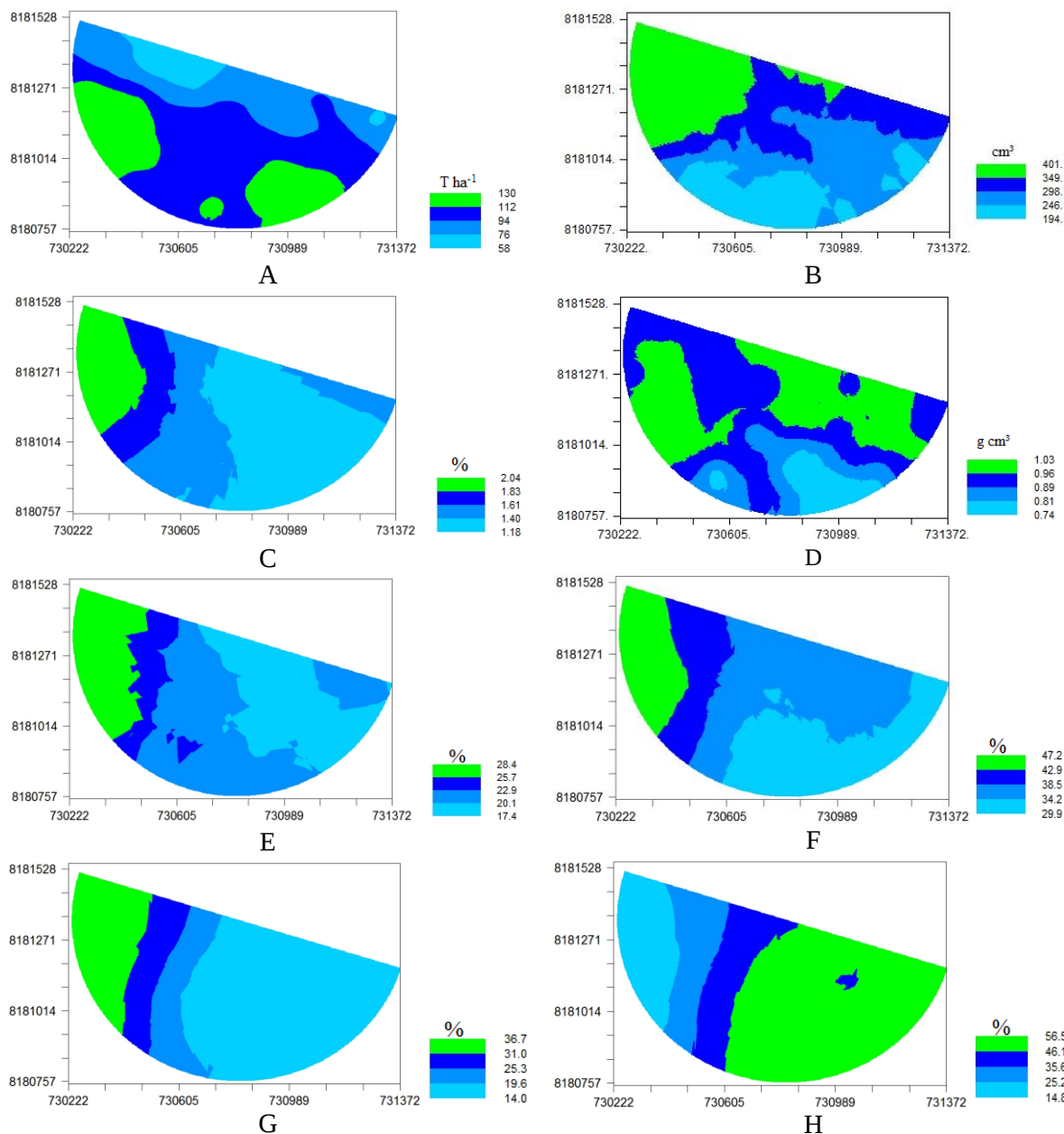


Figura 1 - Mapas de distribuição espacial. A – Produtividade; B – Volume de Frutos; C – Matéria Orgânica; D – Densidade do Solo; E – Umidade do Solo; F – Argila; G – Silte; H – Areia.

A produtividade apresentou maior dependência espacial (29,37%) e ao analisar o mapa de distribuição espacial com diferentes escalas de produtividade, pode-se observar que a região ao sul da área apresenta maior produtividade, comparado a região sudeste e sudoeste com valor de 112 a 130 t ha⁻¹.

Por meio dos mapas de distribuição espacial, é possível visualizar que não houve correlação expressiva da produtividade com os atributos analisados, já exibida na correlação simples de Person da tabela 1, como pode ser observado na figura 1A, 1F e 1H em que, apresentou maior produtividade tanto em solo com mais argila e com mais areia. Entretanto na figura 1A, e 1C detecta-se as zonas definidas e distribuídas inversamente, mostrando que maiores produtividades ocorreram em locais com menor DS, apesar que na área estudada a DS encontra-se abaixo do valor posto como crítico ($1,60 \text{ g cm}^{-3}$) para o desenvolvimento das culturas em alguns estudos (SILVA et al., 2008).

Considerações Finais

A produtividade apresentou dependência espacial baixa e o mapa de distribuição proporcionou maiores produtividades em locais com menor DS.

A malha amostral utilizada não detectou a dependência espacial da Clorofila e RP restringindo a confecção dos mapas dos mesmos.

Volume de frutos apresentou diferentes níveis de variabilidade na área e correlação negativa com a produtividade.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão da bolsa.

Ao professor orientador Elton Fialho dos Reis pela importante orientação, ensinamentos, confiança e paciência.

Aos colegas da graduação e Pós-Graduação pela colaboração no desenvolvimento do projeto.

Referências

ALVES, S.M.F., QUEIROZ, D.M., ALCÂNTARA, G.R., REIS, E.F. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo usando técnicas de análise de componentes principais e geoestatística. **Bioscience Journal**, 30:22-30, 2014.

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

BASÍLIO, Ê. A. **Intervalos de irrigação na cultura de tomate para processamento no sul goiano**. 2016. 41p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

- BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; NÓBREGA, L. H. P.; ROCHA, D. M. Management zones definition using soil chemical and physical attributes in a soybean area. **Engenharia Agrícola**, v.34, n.5, p.952-964, 2013.
- BREVIK, E.; FENTON, T.; LAZARI, A. Soil electrical conductivity as a function of soil water content and implications for soil mapping. *Precision Agriculture*, v.7, p.393-404, 2006.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 43, n. 3, 2012.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 2011. 230 p.
- FERRAZ, G. A. S.; SILVA, F. M.; OLIVEIRA, M. S.; CUSTÓDIO, A. A. P.; FERRAZ, P. F. P. Variabilidade espacial dos atributos da planta de uma lavoura cafeeira. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 81-91, 2017.
- FERREIRA, S. M. R.; QUADROS, D. A. Q.; KARKLE, E. N. L.; LIMA, J. J.; TULLIO, L. T.; FREITAS, R. J. S. Qualidade pós-colheita do tomate de mesa convencional e orgânico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 4 p. 858-864, 2010.
- FRANÇA G. E. S.; ALMEIDA M. V. F. N.; VIEGAS NETO A. L. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área cultivada com milho. **Revista Eletrônica da Faculdade de Ciências Exatas e da Terra Produção/construção e tecnologia**, v. 5, n. 8, 2016.
- FREITAS, G. A.; CHAGAS, J. F. R.; MELO, M. P.; SILVA, R. R.; SANTOS, A. C. Variabilidade espacial de salinidade por sódio em área irrigada com resíduo líquido de frigorífico. **Revista agropecuária científica no semiárido**, v. 11, n. 1, p. 157-163, 2015.
- GOMES, F. P.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações pra uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq, 2002. 309p.
- MATIAS, S. S. R.; BAPTISTEL, A. C.; NÓBREGA, J. C. A.; ANDRADE, F. R.; SILVA, J. B. L. Variabilidade espacial dos atributos do solo em duas áreas de manejo convencional no Cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias**, v.58, n.2, p. 217-227, 2015.

NEGREIROS NETO, J. V.; SANTOS, A. C.; GUARNIERI, A.; SOUZA, D. J. A. T.; DARONCH, D. J.; DOTTO, M. A.; ARAÚJO, A. S. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n. 1, p. 193-204, 2014.

NETO, J. S.; ESTRADA, K. R. F. S.; SENA, J. O. A.; JARDINETTI, V. A.; ALENCAR, M. S. R. Qualidade de frutos de tomateiro cultivado em sistema de produção orgânico e tratados com subprodutos de capim limão. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 633-642, 2016.

OLIVER, Y. M.; ROBERTSON, M. J.; WONG, M. T. F. Integrating farmer knowledge, precision agriculture tools, and crop simulation modelling to evaluate management options for poor-performing patches in cropping fields. **European Journal of Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 40-50, 2010.

RABELO, K. C. C. **Fertilizantes organomineral e mineral: aspectos fitotécnicos na cultura do tomate industrial**. 2015. 69p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

Silva, G. J., Valadão Júnior, D. D., Bianchini, A., Azevedo, E. C., Maia, J. C. S. Variação de atributos físico-hídricos em Latossolo Vermelho-amarelo do cerrado Matogrossense sob diferentes formas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2135-2143, 2008.

Trevisan, R. G.; Freddi, O. S.; Wruck, F. J.; Tavanti, R. R.; Peres, F. S. C. Variabilidade de atributos físicos do solo e do arroz cultivado sob plantas de cobertura em sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**, Campinas, v. 76, n. 1, p.145-154, 2017.

VIAN, A. L.; SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; SIMON, D. H.; DAMIAN, S. J.; BREDEMEIER, C. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.3, p.464-471, 2016.