

## **CORRELAÇÃO ESPACIAL DOS ÍNDICES VEGETATIVOS DA CULTURA DO TOMATE INDUSTRIAL**

**Danilo Gomes de Oliveira<sup>1</sup>; Anderson da Silva Umbelino<sup>2</sup>; Marcos Paulo Oliveira Martins<sup>2</sup>; Elton Fialho dos Reis<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup> Membros externos colaboradores -UEG - Universidade Estadual de Goiás;

**Resumo:** As folhas são os órgãos da planta que melhor refletem o seu estado nutricional durante o desenvolvimento da cultura, e pode ser obtida em tempo real. Este trabalho teve por objetivo avaliar a relação entre os índices vegetativos e a produtividade do fruto da cultura do tomate industrial. A cultivar transplantada foi a Cangata, com densidade populacional de 30000 plantas por ha<sup>-1</sup> sob condição irrigada. Para avaliar a variabilidade foi montada uma malha amostral utilizando um receptor *global positioning system* (GPS), com 84 pares de pontos espaçados de 80 m x 80 m. Após construção da malha foram obtidas em campo os índices vegetativos da cultura como teor de clorofila, as curvas espectrais e o nitrogênio na folha e na maturação a produtividade do fruto do tomate industrial. As variáveis obtidas foram analisadas pela geoestatística e 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. O índice de SPAD e o teor N foliar apresentou correlação positiva com a produtividade. Já o teor foliar de N correlaciona-se de forma negativa com o NDVI, na fase vegetativa. Os mapas de distribuição espacial dos índices de vegetação na fase vegetativa apresentam comportamento espacial semelhante, enquanto na fase reprodutiva os índices de clorofila não se mantêm constante.

**Palavras-chave:** índices vegetativos, *solanum lycopersicum* L., variabilidade espacial

### **1 INTRODUÇÃO**

O tomateiro é uma dicotiledônea e uma das principais espécies oleráceas cultivadas no Brasil e no mundo (BENETT et al., 2014). Os maiores produtores nacionais são os Estados de Goiás, São Paulo, Minas Gerais, Pernambuco e Bahia, responsáveis por 77% da produção anual de tomate (FAEG, 2014). No Brasil a produção de tomates tem se destacado nos últimos anos em função do elevado nível tecnológico adotado pelos produtores na atividade (HOTT et al., 2014).

Dentre estas técnicas destaca-se o uso de ferramentas que permitem conhecer o comportamento espectral da vegetação com base nas características de reflectância e da resposta eletromagnética pelo conjunto de plantas (dossel da cultura) e plantas individuais (JOHNSON e TROUT, 2012). Na literatura são encontrados diversos índices de vegetação, dentre os mais citados, destaca-se o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizado) proposto Rouse et al. (1974). Este índice possibilita fazer o acompanhamento e avaliação de rendimento de culturas, além de monitorar as propriedades ópticas da lavoura através de alterações nos padrões de reflectância dos dosséis (SILVA et al., 2015).

Todavia, devido à alta complexidade das interações que ocorrem com o N no solo (BARBOSA FILHO et al., 2008), não existe uma variável interpretativa que permita inferir precisamente a disponibilidade desse nutriente no solo para as plantas. Diante disso, uma alternativa para otimizar o uso dos fertilizantes nitrogenados, é o monitoramento do teor de clorofila das folhas, a partir do uso de clorofilômetros portáteis (MENEGOL et al., 2015). Em diversos estudos, essa ferramenta tem apresentado boa correlação com a produtividade (BARBOSA FILHO et al., 2008). Com isso objetivou-se com este trabalho avaliar a relação espacial entre os índices vegetativos e a produtividade do fruto da cultura do tomate industrial.

## 2 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em propriedade particular, produtora comercial de tomate industrial, onde foi construída uma malha amostral utilizando um receptor *global positioning system* (GPS) com sistema de correção diferencial em tempo real (SAD69). A malha amostral foi dividida em 84 pares de pontos, espaçados de 80 x 80 m, totalizando uma área de pivô com 57 ha.

Localizada no município de Gameleira de Goiás – GO, com altitude de 940 m, e coordenadas de 16° 22' 17.3" S e 48° 35' 20.5" O. A área possui solo classificado como Latossolo Vermelho com textura franco-argiloso, segundo classificação feita por Donagema et al. (2011).

Foi determinado o índice de clorofila da folha de tomate, em campo, utilizando um medidor portátil de clorofila, da marca Falker, modelo ClorofiLOG® CFL 1030, gerando o Índice de Clorofila Falker (ICF). As folhas utilizadas para as leituras dos índices de clorofila foram coletadas utilizando uma tesoura de poda e acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas ao Laboratório comercial para a determinação do teor de nitrogênio foliar.

A aquisição das leituras de radiometria foi realizada por meio de um espectrorradiômetro da Ocean Optics, modelo USB 2000+RAD. Esse aparelho foi usado na obtenção dos dados de reflectância na região espectral de 400 a 900 nm com resolução de 0,34 nm.

Para cada comprimento de onda, o cálculo da reflectância do dossel foi determinado pela Equação 1, conforme Gitelson et al. (2003). Na equação, o fator de reflectância do painel foi introduzido para obtenção da reflectância. A região espectral usada situou-se entre 400 e 900 nm.

$$\rho_{\lambda} = \left( \frac{L_{\lambda}^f}{E_{\lambda}^f} \right) \cdot \left( \frac{E_{\lambda}^p}{L_{\lambda}^p} \right) \cdot 100 \cdot \rho_{\lambda}^p \quad (1)$$

em que,

$\rho_{\lambda}$  - reflectância no comprimento de onda  $\lambda$  (%);

$\rho_{\lambda}^p$  - reflectância do painel (%);

$L_{\lambda}^f$  - intensidade da radiação refletida do tomateiro (valor digital por unidade de área);

$L\lambda p$  - intensidade da radiação refletida no painel (valor digital por unidade de área);

$E\lambda f$  - intensidade da irradiação incidente no tomateiro (valor digital por unidade de área);

$E\lambda p$  - intensidade da irradiação incidente no painel (valor digital por unidade de área).

Assim, foram utilizados os valores de reflectância médio das seguintes bandas (Banda 3 e Banda 4), com base nas faixas espectrais dos sensores dos satélites Ikonos II e QuickBird (MOREIRA et al., 2005):

- Banda 1 - Az (azul; 450 a 520 nm);
- Banda 2 - Vd (verde; 520 a 600 nm);
- Banda 3 - Vm (vermelho; 630 a 690 nm); e
- Banda 4 - IV (infravermelho próximo; 760 a 900 nm).

Estes valores foram utilizados para determinação dos índices de vegetação NDVI, conforme Equação (2) proposta por Rouse et al. (1974).

$$NDVI = \frac{IV - Vm}{IV + Vm} \quad (2)$$

Em que,

NDVI - (*Normalized Difference Vegetation Index*) - índice de vegetação da diferença normalizado;

IV - valor médio de reflectância na banda 4; e

Vm- valor médio de reflectância na banda 3.

A avaliação da produtividade foi realizada no período da colheita demarcando-se uma área de 1m<sup>2</sup> para cada ponto do malha amostral georreferenciado. Posteriormente foram retirados todos os frutos e pesados, em uma balança de precisão.

Para o cálculo dos semivariogramas e seus respectivos ajustes utilizou-se o software geoestatístico GS+ versão 7.0, verificando dentre os modelos fornecidos pelo software (linear, esférico, exponencial e gaussiano), qual melhor se ajustou ao modelo experimental. Os modelos foram classificados de acordo com o Grau de Dependência Espacial (GDE), proporção entre o efeito pepita ( $C_0$ ) em relação ao patamar ( $C_0 + C$ ), seguindo classificação, proposta por Dalchiavon e Carvalho (2012). Com (GDE < 20% Muito baixa), (20% ≤ GDE < 40% Baixa), (40% ≤ GDE < 60% Média), (60% ≤ GDE < 80% Alta), (80% ≤ GDE < 100% Muito alta). Após a escolha do melhor modelo de ajuste aos dados foi possível realizar a construção dos mapas de isolinhas pelo software GS+ versão 7.0, que realiza as interpolações utilizando-se o método da krigagem e da cokrigagem.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Verificou-se que não houve uma mesma visualização entre a correlação do índice NDVI com a produtividade, com os demais índices de vegetação teor de N e o índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*). Apresentando uma correlação classificada, como fraca e inversa de -21,16% e os demais índices vegetativos como correlação fraca de 20,50% e 12,38%, respectivamente, segundo adaptação de Figueiredo Filho e Silva Junior (2009) (Tabela 1).

Notou-se ainda, neste trabalho e nos trabalhos de Suszek (2011), que quanto maior a quantidade de N presente na folha melhor a produtividade, obtida, devido ao N estar diretamente ligado ao crescimento das plantas e, portanto, deficiências desse nutriente reduzem o número e o tamanho dos frutos (SUSZEK, 2011). Houve uma diminuição nos valores de média NDVI e N encontrada na fase vegetativa em relação à fase reprodutiva da cultura do tomate industrial. Isso pode ser atribuído ao fato da exigência do nitrogênio na cultura ser mais intenso a partir de 70 dias após o transplante (Fontes e Araújo, 2007).

Em relação à quantidade de nitrogênio na planta, foi observado que o teor foliar de N na fase vegetativa correlacionou-se com os índices SPAD e NDVI com 21,90% e -19,08%, respectivamente, (Tabela 1).

O coeficiente de variação (CV) da produtividade do tomate industrial foi de 22%, com média de produtividade de 80 t ha<sup>-1</sup>, cujos valores mínimos e máximos variaram de 34 a 121 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 1), valores de produtividade próximos aos encontrados por Marouelli et al. (2005) para o cultivo de tomate industrial, em Brasília-DF.

TABELA 1- Estatística descritiva e correlação com a produtividade dos índices de vegetação da cultura do tomate industrial na fase vegetativa e reprodutiva e produtividade

Estatística descritiva	Vegetativa			Produtividade
	N1	SPAD1	NDVI1	Kg/ha
Média	26,37	543,39	0,27	80
Mediana	5,30	559,50	0,24	78,74
Ds padrão	110,70	114,68	0,19	18,41
Mínimo	4,90	-0,47	0,66	34,44
Máximo	612,30	666,80	0,11	121,76
CV (%)	419,79	21,10	70,30	22,00
C. Per 2 N1	1	21,90*	-19,08*	20,50
C. Per 3 SPAD1	-	1	-19,42*	12,38
C. Per 4 NDVI1	-	-	1	-21,16

\* - significativo a 5%; CV(%) - Coeficiente de variação; N - Nitrogênio medido em laboratório; NDVI - Índice vegetativo da diferença normativa; C. Per 2 N1 - Correlação de Pearson com N fase vegetativa; C. Per 3 SPAD1 - Correlação de Pearson com SPAD fase vegetativa; C. Per 4 NDVI1 - Correlação de Pearson com NDVI fase vegetativa.

Os modelos que mais se destacaram dos semivariogramas da produtividade e índices vegetativos do tomate industrial foram os modelos gaussiano, exponencial e esférico (Tabela 2). Na fase vegetativa da cultura, as variáveis N e o índice de clorofila SPAD ajustaram ao modelo

gaussiano com um GDE variando entre baixo e moderado, respectivamente, enquanto o NDVI foi explicado pelo modelo esférico, corroborando com os dados encontrados por Souza et al. (2011). Ainda para o índice de vegetação (NDVI), a relação  $C_0/(C_0+C_1)$  em porcentagem foi de 0,001%, indicando um grau de dependência espacial fraca, segundo a classificação proposta por Dalchiavon et al. (2012).

Tomando como referência o GDE do NDVI, verifica-se alteração em função do avanço do desenvolvimento da cultura, passando de muito fraca para fraca (Tabela 2), sendo que o mesmo foi observado por Haramoto et al. (2014) trabalhando com os índices vegetativos para a cultura da soja. Os melhores parâmetros resultantes das cokrigagem para os atributos planta x planta, foram da  $N1 = f(\text{NDVI1})$ , e  $N1 = f(\text{SPAD1})$ , com os coeficientes de determinação espacial de 0,92 e 0,82, respectivamente, e alcances variando entre 753 a 820m (Tabela 2). Desta forma a correlação espacial visualizada pelo NDVI1 e o N1, tem-se um coeficiente de determinação no valor de 92% com um alcance de 753 m explicado pelo modelo gaussiano, que teve o maior destaque neste trabalho.

TABELA 2 - Semivariograma para os índices vegetativos da cultura e produtividade do tomate industrial

Parâmetros	Geoestatística						
	$\gamma(h)$ simples para os índices vegetativos						
Fase Vegetativa da cultura do Tomate							
	Modelo	$C_0$	$C_0+C_1$	A	$R^2$	RSS	GDE
N	Gaussiano	0,003	0,103	761,00	0,950	$1.10^{-4}$	29,12
Índice SPAD	Gaussiano	1358,0	3164,0	437,00	0,957	$1.10^5$	42,92
NDVI	Esférico	0,000001	0,011	518,00	0,861	$1.10^{-5}$	0,001
$\gamma(h)$ simples para produtividade do tomate industrial							
Produtividade	Exponencial	29,80	310,00	109,00	0,52	$2.10^4$	9,61
$\gamma(h)$ Cruzado para planta x planta							
N1 X NDVI1	Gaussiano	-0,230	-31,45	753,00	0,920	$4.10^{-2}$	0,73
N1 X SPAD1	Gaussiano	-2500,0	-46100,0	820,0	0,820	1.108	5,42

N1 x NDVI1 - Nitrogênio X NDVI fase vegetativa; N1 x SPAD1 - Nitrogênio X ClorofiLOG fase vegetativo;  $C_0$  - Efeito pepita puro;  $C_0+C_1$  - Patamar; A - Alcance;  $R^2$  - Coeficiente de determinação; RSS - soma de quadrado do resíduo; GDE - Grau de dependência espacial.

Embora os valores da produtividade total apresentou CV baixo, foi possível detectar a variabilidade espacial existente entre os pontos amostrados, sendo então possível constatar a presença da dependência espacial, explicada pelo modelo exponencial, corroborando as afirmações de Landim (2006), para o qual é possível captar pequenas variabilidades a menores distâncias, com um GDE muito baixo e um alcance próximo a 109 m.

Pelo mapa da variabilidade espacial das leituras dos índices de vegetação nas fases vegetativa da cultura do tomate industrial pode averiguar que o mesmo apresenta contorno do índice de clorofila SPAD, e que apresenta uma variação de 503 a 602 (Figura 1A), valores

próximos aos encontrado por Valente (2010), que verificou uma variabilidade espacial dos índices de vegetação na cultura do café.

Pode-se constatar que as leituras na Figura 1B apresentam pouca variação, sendo que os valores observados variaram de 0,11 a 0,59, valores estes com uma amplitude maior que os encontrados por Bernardi et al. (2014), que foi de 0,64 a 0,88 para pastagem de capim-Mombaça. Na Figura 1C, verifica-se para o teor foliar de N que na região norte do mapa foi o local onde verificou-se os maiores valores de N, variando de (5,44 - 5,55).

Os mapas de distribuição espacial dos índices de vegetação estudados, demonstram que o comportamento espacial da refletância da cultura e os índices de clorofila não se mantiveram constante. Assim, estes mapas podem servir como base na investigação de fatores do campo de produção relacionados ao desenvolvimento da cultura. Foi possível verificar ainda que os parâmetros analisados apresentaram efeito pepita, com valores negativos, o que demonstra que está correlação espacial dos índices de vegetação é inversa, ou seja, as zonas de maior teor foliar N foram encontradas nas regiões de menor índice de NDVI e SPAD na fase vegetativa da lavoura (Figura 1G, H). Esta mesma correlação foi observada na fase reprodutiva da cultura do tomate industrial (Figura 1I), sendo verificado o mesmo comportamento das zonas de manejo.

Já na Figura 1J temos o mapa de contorno da produtividade onde foi possível verificar que a região nordeste do mapa apresentou maiores produtividades, com valores de 115 t ha<sup>-1</sup> (FIGURA 1J).

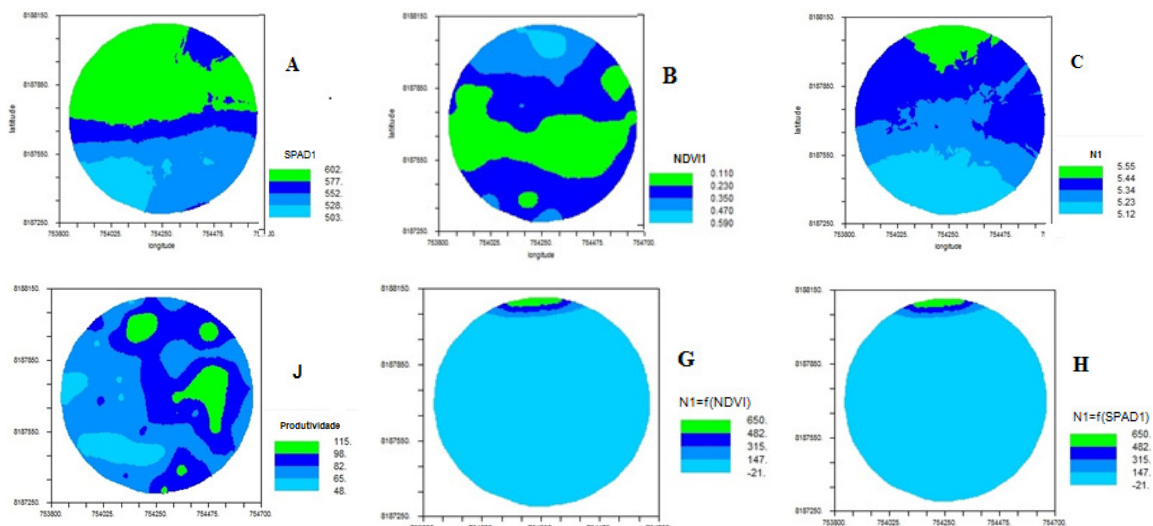


FIGURA 1. A - Mapa de contorno para índices de vegetação na fase vegetativa da cultura para índice de clorofila (SPAD); B - Mapa de contorno para índices de vegetação na fase vegetativa da cultura para nitrogênio; C- Mapa de contorno para índices de vegetação na fase vegetativa da cultura para índices da diferença normativa NDVI G - mapa de contorno para os semivariogramas cruzados para os índices de vegetação planta x planta  $N1=f(NDVI)$ ; H - mapa de contorno para os semivariogramas cruzados para os índices de vegetação planta x planta  $N1=f(SPAD1)$ ; J - Produtividade do tomate industrial (t ha<sup>-1</sup>).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O índice de SPAD e o teor foliar de N avaliado na fase vegetativa da cultura de tomate industrial apresenta correlação positiva com a produtividade. Já o teor foliar de N correlaciona-se de forma negativa com o NDVI, na mesma fase.

A correlação espacial do SPAD com o teor de N foliar também apresentou um coeficiente de correlação elevado, sendo de 82% no estágio vegetativo.

Os mapas de distribuição espacial dos índices de vegetação na fase vegetativa apresentam comportamento espacial semelhante, enquanto na fase reprodutiva os índices de clorofila não se mantêm constante.

#### REFERÊNCIAS

BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1843-1848, 2008.

BENETT, K.S.S.; FARIA JUNIOR, M. J. A.; BENETT, C.G.S.; SELEGUINI, A.; LEMOS, O. L. Utilização de paclobutrazol na produção de mudas de tomateiro. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v.5, n.2, p.164-169, 2014.

BERNARDI, A. C.C.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R.Y.; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G. Variabilidade espacial de parâmetros físico-químicas do solo e biofísicos de superfície em cultivo do sorgo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.6, p.623-630, 2014.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n.2, p. 541-552, 2012.

FAEG. FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DE GOIÁS. Index: Notícias, 2014. Disponível em: <<http://sistemafaeg.com.br/noticias?start=30>>.

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.

FONTES, P. C. R.; ARAUJO, C. **Adubação nitrogenada de hortaliças: princípios e práticas com o tomateiro**. Viçosa: Ed. UFV, 2007, 148p.

GITELSON, A. A.; VIÑA, A.; ARKEBAUER, T. J.; RUNDQUIST, D. C.; KEYDAN, G.; LEAVITT, B. Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. **Geophysical Research Letters**, Bracknee, v. 30, n.5, 4p., 2003.

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.

JOHNSON, L. F.; TROUT, T. J. Satellite NDVI assisted monitoring of vegetable crop evapotranspiration in California's San Joaquin Valley. **Remote Sensing of environment**, Amsterdã, v. 4, n. 2, p. 439-455, 2012.

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

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. E. Frequência de irrigação por gotejamento durante o estágio vegetativo do tomateiro para processamento industrial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40. n. 7. p. 661-666, 2005.

MENEGOL D. R.; PIAS, O. H. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; BERGHETTI, J.; SIMON, D. H. Índice de suficiência de clorofila no manejo da adubação nitrogenada do feijoeiro comum. **Revista Agroambiente**. Boa Vista, RR, v. 9, n. 2, p. 119-128, 2015.

MOREIRA, L. M.; FONSECA, D. M.; VÍTOR, C. M. T. et al. Renovação de pastagem degradada de capim-gordura com a introdução de forrageiras tropicais adubadas com nitrogênio ou em consórcios. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n.2, p.442-453, 2005.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ERTS-1 SYMPOSIUM, Washington. **Anais...** Washington: NASA, 1974. v.1, p.309-317.

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.

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P.; PAGANI, F. A. Aplicação de nitrogênio e inoculação com rizóbio em feijoeiro cultivado após milho consorciado com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 4, p. 370-377, 2011.

SUSZEK, G. **Variabilidade espacial e temporal das propriedades químicas do solo e das folhas, qualidade do fruto e produtividade em pomar de laranja monte parnaso**. CASCAVEL. 2011. 139p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2011.



VALENTE, D. M. **Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para definir zonas de manejo em cafeicultura de precisão.** 2010. 103f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.