

## ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DO DOSSEL DO FEJJOEIRO NA AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DO SOLO

**DANIEL MARIANO LEITE<sup>1</sup>, HAROLDO CARLOS FERNANDES<sup>2</sup>, MARCELO MARQUES COSTA<sup>3</sup>, ELTON DA SILVA LEITE<sup>4</sup>, MARCONI RIBEIRO FURTADO JÚNIOR<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Lic. em Ciências Agrícolas, Professor do Colegiado de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Tel.: (87) 2101-4833, E-mail: daniel.mariano@univasf.edu.br

<sup>2</sup> Eng. Agrícola, Professor Associado do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Professor da Universidade Federal de Goiás, Jataí – GO.

<sup>4</sup> Eng. Florestal, Professor da Universidade Federal do Recôncavo Baiano – Cruz das Almas – BA.

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – MG.

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

**RESUMO:** Vários fatores ambientais podem limitar o bom desempenho da cultura do feijoeiro, principalmente os relacionados ao solo. Sendo assim objetivou-se neste trabalho avaliar a correlação entre alguns índices de vegetação e a densidade do solo, obtidos por diferentes sistemas de preparo do solo, na cultura do feijoeiro, em diferentes estádios fenológicos, utilizando um sistema de sensoriamento remoto de baixo custo. Para isso, utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso com seis repetições, sendo os tratamentos quatro sistemas de manejo do solo. Foram avaliados a resposta espectral utilizando índices de vegetação (NDVI, RS, GNDVI, VARI, WDRVI e SAVI), calculados a partir dos valores dos números digitais das imagens e dos valores estimados da reflectância. Para aquisição das imagens foi utilizado uma plataforma contendo duas câmeras digitais, uma sensível na região do visível (RGB) e a outra sensível na região do infravermelho próximo, esta plataforma foi acoplada a um balão inflado com gás hélio. O sistema de aquisição de imagens mostrou-se capaz de obter imagens para avaliação da dinâmica da cultura do feijão. O índice SAVI ( $L= 0,25$ ) aos 66 dias após o plantio, obtido a partir da reflectância estimada apresentou maior coeficiente correlação com a densidade de solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** compactação do solo, imagens digitais, sensoriamento remoto

## INDICES OF VEGETATION CANOPY BEAN IN EVALUATION OF DENSITY OF SOIL

**ABSTRACT:** Several environmental factors may limit the performance of bean crops, especially those related to soil. Therefore, this study aimed to evaluate the correlation between some vegetation indices and soil density, obtained by different systems of soil preparation, in bean plants at different phenological stages, using a low-cost sub-orbital remote sensing system to obtain digital images. For such, the experiment was arranged in a randomized block design, with six replications and four treatments (direct planting, conventional preparation, minimum plantation using disk harrow crusher-leveler and minimum plantation using scarificator). The spectral response was evaluated using vegetation indices (NDVI, RS, GNDVI, VARI, WDRVI and SAVI) calculated from the values of the digital numbers of the images and estimated reflectance values. Image was acquired with the use of a platform containing two digital cameras; one of them was sensitive in the

visible region (RGB) and the other, in the near infrared region. The platform was attached to a balloon inflated with helium. The image acquisition system was capable of obtaining images to assess bean dynamics. The SAVI index ( $L = 0.25$ ) at 66 days after planting, obtained from the estimated reflectance, showed a higher correlation coefficient with soil density.

**KEYWORDS:** soil compaction, digital imaging, remote sensing

## INTRODUÇÃO

O crescimento vegetal está diretamente relacionado com a compactação do solo. Solos compactados limitam o desenvolvimento das plantas, restringindo o crescimento radicular, afetando no volume de solo explorado das raízes, na disponibilidade de água, de oxigênio, além de alterar a temperatura interna do solo, este fenômeno é também conhecido como efeito de vaso no solo.

A compactação do solo é a compressão do solo não saturado, o que ocorre um aumento da densidade, promovida pela redução de volume que é ocasionada pela expulsão do ar (DIAS JUNIOR & PIERCE, 1996).

A cultura do feijão é muito sensível à compactação do solo, desta forma o manejo adequado do solo é essencial para uma boa produção (GUIMARÃES et al., 2002). Collares et al. (2008), constataram que a compactação do solo não só afeta o crescimento radicular como também a área foliar do feijoeiro.

As técnicas empregadas no sensoriamento remoto permitem obter informações úteis para o acompanhamento e tomada de decisão no manejo das culturas agrícolas, uma vez que possibilita a identificação de áreas agrícolas e suas dinâmicas (YI et al., 2007 & RAMIREZ et al. 2010).

Os sistemas de aquisição de imagens convencionais são caros e de difícil operação. Jesen et al. (2007) buscando alternativas de baixo custo, apresentaram um sistema com balões inflados a gás hélio não tripuláveis e câmeras comerciais com filtros na região do visível e infravermelho, na avaliação da dinâmica da cultura do trigo, estes sistemas além de apresentarem vantagens pelo baixo custo destaca-se pela facilidade de manuseio, a possibilidade de controle da altura.

Os índices de vegetação ou espectrais são modelos matemáticos utilizados para avaliar a cobertura vegetal, que geralmente são correlacionados com algumas variáveis mensuradas em campo. Estes índices podem ser calculados a partir de dados dos valores de radiância, reflectância ou diretamente dos números digitais das imagens. Os índices de vegetação são importantes ferramentas em análises e detecção de mudanças ocorridas na superfície terrestre em especial na cobertura vegetal.

Desta forma, objetivou-se neste trabalho avaliar a correlação entre alguns índices de vegetação e a densidade do solo, obtidos a diferentes sistemas de manejo do solo, na cultura do feijoeiro, em diferentes estádios fenológicos, utilizando um sistema de sensoriamento remoto sub-orbital de baixo custo na obtenção de imagens digitais.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área pertencente à Universidade Federal de Viçosa, localizada no município de Viçosa, MG, à 20° 45' 38" latitude sul e 42° 49' 30" de longitude oeste, com altitude de 693 m. O solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico segundo a classificação da Embrapa (2006), com declividade média de 1%.

Na área experimental foram coletadas amostras simples de solo que comporam uma amostra composta, na faixa de 0 a 0,20 m de profundidade. De posse dos resultados da análise química e física do solo foram realizadas recomendações para adubação de plantio.

Os tratamentos foram constituídos de quatro sistemas de manejo do solo: PC = Preparo convencional, constituído de uma aração e duas gradagens, na profundidade de 0,30 m; CM-E = Cultivo mínimo, executado com escarificador, na profundidade de 0,25 m; CM-G = Cultivo

mínimo, executado com grade destorroadora-niveladora e PD = Plantio direto.

Foi utilizada a espécie de feijão-comum *Phaseolus vulgaris* L., cultivar BRSMG Madrepérola.

A semeadora-adubadora foi regulada para trabalhar em um espaçamento de 0,45 m entre linhas, distribuindo 15 sementes por metro linear, depositando a semente a 0,03 m de profundidade. Para a adubação de plantio foi utilizado uma dosagem de 350 kg ha<sup>-1</sup> na formulação NPK 8-28-16.

Para cada unidade experimental foi determinada a densidade do solo pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 2011), na faixa de 0 a 0,30 m de profundidade, estratificadas a cada 0,10 m, em 3 repetições.

Para determinação da resistência do solo à penetração foi utilizado um penetrômetro digital da marca DLG, modelo PNT – 2000. Foram feitas amostragens em 15 pontos por unidade experimental, na profundidade máxima de 0,40 m, sendo que resistência à penetração foi registrada a cada 0,01 m de profundidade.

Também foram coletadas amostras deformadas de solo em cada unidade experimental para a determinação do teor de água, pelo método gravimétrico em estufa a 105 °C por 24 h.

As amostras referentes à densidade do solo, resistência do solo à penetração e teor de água no solo foram coletadas logo após o plantio.

Foram feitas três coletas de imagens, sendo aos 27, 41, e 66 dias após o plantio, utilizando um sistema composto por um balão da marca Skyhook Helikite inflado com gás hélio (99,999% de pureza) e o sistema de câmeras (Figura 1).



FIGURA 1. Balão utilizado para levante da plataforma de aquisição de imagens.

Este balão é uma combinação de balão com pipa, que proporciona um voo com altitude e direção estável, utilizando o gás hélio e a força do vento como elementos propulsores, sendo a sua orientação feita por meio de uma corda.

A plataforma de aquisição de imagens foi composta de duas câmeras digitais e um sistema acionador das câmeras.

Foram utilizadas câmeras digitais da marca FUJIFILM<sup>®</sup>, modelo FinePix Z20fd, que foram acionadas simultaneamente por um sistema de transmissão de dados via radiofrequência, ativado por um controlador manual. Essas câmeras são equipadas com um CCD (“charge-coupled device”) de 1/2,5”. Em uma das câmeras foi removido o filtro limitador de sensibilidade da faixa do infravermelho (695 a 1050 nm) e acoplado um filtro óptico modelo RT-830 (725 a 1000 nm) para aquisição de imagens na banda do infravermelho próximo. As câmeras foram configuradas para obtenção de imagens com 10 mega pixels.

Para obtenção das imagens o conjunto de aquisição de imagens esteve a aproximadamente 60 m de altura.

Devido às interferências ocasionadas pela variação da iluminação e de visada, as imagens foram calibradas radiométricamente. A calibração se baseia em corrigir os valores radiométricos das imagens em relação a uma imagem tida como referência (de refletância conhecida).

Como referências foram utilizados três painéis em diferentes níveis de cinza, situados ao centro da área experimental durante a obtenção das imagens.

Para mensuração da reflectância dos painéis foi utilizado um espectrorradiômetro, modelo FieldSpec® HandHeld 2TM ASD Inc. , que atua nos comprimentos de onda compreendidos entre 300 e 1100 nm, com a resolução espectral de 1 nm, composto de uma fibra óptica com campo de visão de 25°.

As imagens foram calibradas em função da reflectância, através de equações de regressão linear simples, onde foram obtidos os ajustes para cada banda espectral.

O processamento das imagens digitais foi realizado no sistema computacional Matlab® com o recorte para eliminação da bordadura e em seguida de posse das médias dos valores de pixels de cada banda (RGB e NIR) foram obtidos os índices espectrais tanto para com os valores números digitais das imagens como também com os valores estimados de refletância, de acordo com as Equações:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (2)$$

$$RS = \frac{R}{NIR} \quad (3)$$

$$WDRVI = \frac{a \cdot NIR - R}{a \cdot NIR + R} \quad (4)$$

$$GNDVI = \frac{NIR - G}{NIR + G} \quad (5)$$

$$VARI = \frac{G - R}{G + R - B} \quad (6)$$

$$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} \cdot (1 + L) \quad (7)$$

em que,

NDVI - Índice de vegetação diferença normalizada (ROUSE et al.,1974);

RS - Índice de vegetação razão simples, proposto por (PEARSON & MILLAR, 1972);

WDRVI - Índice de vegetação dinâmico de amplo alcance (GITELSON, 2004);

GNDVI - Índice de vegetação diferença normalizado utilizando a banda do verde (GITELSON et al.,1996);

VARI - Índice de vegetação resistente à atmosfera na região do visível (GITELSON et al., 2003);

SAVI - Índice de vegetação ajustado para o solo (HUETE, 1988);

B - Valor médio da imagem na banda do azul;

G - Valor médio da imagem na banda do verde;

R - Valor médio da imagem na banda do vermelho;

NIR - Valor médio da imagem na banda do infravermelho próximo;

a - Coeficiente de ponderação, foram avaliados os valores 0,05, 0,1 e 0,2; e

L - Coeficiente de ponderação, foram avaliados os valores 0,25 e 1,0.

Os tratamentos foram dispostos em um delineamento em blocos casualizados com 6 repetições, totalizando 24 parcelas experimentais.

As parcelas experimentais foram de 2,5 x 20 m, o que permitiu o plantio de 5 linhas para cada unidade experimental. Foram excluídas as linhas laterais de cada parcela no intuito de desconsiderar o efeito de bordadura no momento da aquisição dos dados. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SAS 9.2.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os valores de densidade do solo. Conforme se pode observar na faixa 0 – 0,10 m de profundidade que o tratamento PD apresentou maior densidade ( $1,32 \text{ g cm}^{-3}$ ), seguido dos tratamentos CM-G ( $1,28 \text{ g cm}^{-3}$ ), CM-E ( $1,17 \text{ g cm}^{-3}$ ) e PC ( $1,06 \text{ g cm}^{-3}$ ). O tratamento PD não diferiu estatisticamente dos tratamentos CM-G e CM-E, diferindo apenas do PC.

TABELA 1. Valores médios da densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )

Tratamentos	Faixa de Profundidade (m)		
	0,0 – 0,10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,30
PD	1,32 a	1,43 a	1,42 a
PC	1,06 b	1,23 b	1,33 a
CM-E	1,17 a b	1,41 a	1,42 a
CM-G	1,28 a	1,43 a	1,43 a
CV (%)	11,55	8,67	8,11

As médias seguidas de pelo menos uma letra na mesma coluna, não se diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

Na faixa de profundidade de 0,10 – 0,20 m, somente tratamento PC diferiu dos demais tratamentos. Já na camada 0,20 – 0,30 m de profundidade apesar do tratamento PC manter a média inferior aos demais tratamentos, no entanto não foi encontrado diferença significativa entre os tratamentos.

Como esperado, a atuação dos implementos de mobilização do solo alteraram a densidade solo nas diversas profundidades avaliadas. O sistema de plantio direto, com o solo minimamente mobilizado, apresentou os maiores valores de densidade, concordando com os relatados por Stone & Silveira (2001), caracterizando maior compactação do solo em relação aos demais sistemas de preparo.

Guimarães et al. (2002) constataram que valores de densidade do solo acima de  $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ , afetaram negativamente o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea do feijoeiro.

Na Figura 2 são apresentados os valores médios da resistência do solo à penetração. No momento da coleta do solo, este apresentou um teor de água igual a  $0,19 \text{ kg kg}^{-1}$ .

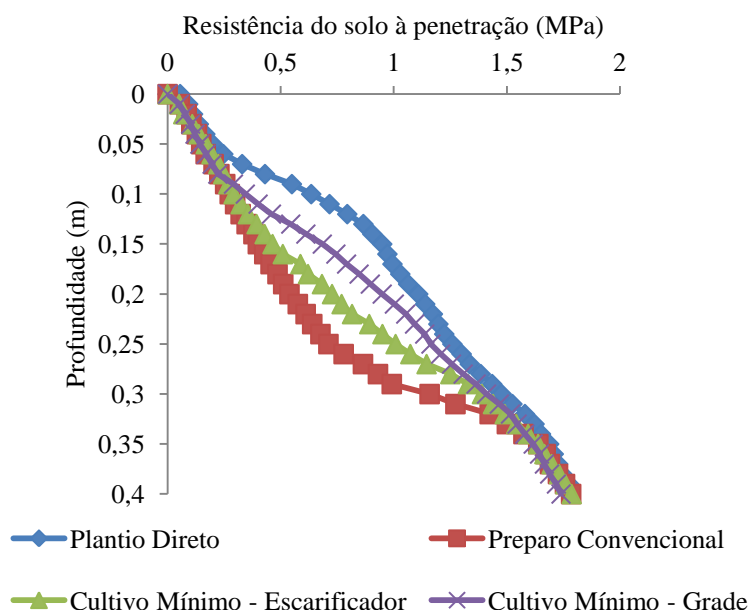


FIGURA 2. Resistência do solo à penetração, em função da profundidade.

Como observado, o tratamento PD apresentou valores de resistência mecânica do solo à penetração acima dos demais tratamentos em todo perfil analisado. Os tratamentos PC, CM-E e CM-G apresentaram valores muito próximos na camada de 0 – 0,08 m, a partir desta camada até 0,33 m o tratamento CM-G tendeu a apresentar maiores valores de resistência à penetração em relação aos tratamentos CM-E e PC, aproximando seus valores de resistência à penetração na faixa de 0,33 – 0,40 m de profundidade.

As imagens digitais coloridas (RGB) e infravermelhas foram obtidas em três momentos, aos 27, 41, e 66 dias após o plantio.

De posse das imagens obtidas pela plataforma de aquisição, foram calculados os índices de vegetação com os valores dos números digitais das imagens e também com os valores estimados de reflectância.

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os resultados da correlação entre a densidade do solo e os índices de vegetação encontrados neste trabalho.

TABELA 2. Correlação entre os índices obtidos a partir do número digital das imagens em relação à densidade do solo

Prof. (m)	DAP	NDVI	RS	GNDVI	VARI	WDRVI (a=0,05)	WDRVI (a=0,1)	WDRVI (a=0,2)	SAVI (L=0,25)	SAVI (L=0,5)	SAVI (L=1,0)
0 - 0,1	27	-0,04	0,04	-0,15	0,13	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04
	41	-0,15	0,15	-0,07	-0,23	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15
	66	0,30	-0,30	0,23	0,37	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
0,1 - 0,2	27	0,16	-0,16	0,10	0,22	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
	41	-0,37	0,36	-0,25	-0,47	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37	-0,37
	66	0,32	-0,32	0,28	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
0,2 - 0,3	27	-0,13	0,14	-0,17	-0,05	-0,12	-0,12	-0,12	-0,13	-0,13	-0,13
	41	-0,49	0,49	-0,39	-0,56	-0,48	-0,48	-0,48	-0,49	-0,49	-0,49
	66	0,66	-0,66	0,64	0,64	0,65	0,65	0,65	0,66	0,66	0,66

DAP = Dias após o plantio.

Com o uso do número digital da imagem para obtenção dos índices de vegetação, os melhores resultados de correlação em função da densidade do solo, foram obtidos na faixa de 0,20 – 0,30 m

de profundidade aos 66 DAP, com os índices NDVI e SAVI (L=0,25; 0,5 e 1,0) que apresentaram 0,66 e o RS apresentou -0,66.

Nos índices WDRVI e SAVI não apresentaram variações nos coeficientes de correlação entre seus coeficientes.

Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes de correlação entre a densidade do solo e os índices obtidos a partir da reflectância estimada.

TABELA 3. Correlação entre a densidade do solo e os índices obtidos a partir da reflectância estimada

Prof. (m)	DAP	NDVI	RS	GNDVI	VARI	WDRVI (a=0,05)	WDRVI (a=0,1)	WDRVI (a=0,2)	SAVI (L=0,25)	SAVI (L=0,5)	SAVI (L=1,0)
0 - 0,1	27	-0,02	-0,10	0,06	0,17	-0,43	0,19	0,01	0,14	0,11	0,12
	41	-0,07	0,08	-0,13	-0,15	-0,07	-0,07	-0,07	0,15	-0,13	0,07
	66	-0,44	0,44	-0,36	0,25	-0,41	-0,42	-0,42	-0,43	-0,35	0,05
0,1 - 0,2	27	0,05	0,09	0,02	0,27	-0,33	0,37	0,27	0,31	-0,22	-0,14
	41	-0,16	0,15	-0,25	-0,39	-0,21	-0,20	-0,19	0,23	-0,26	0,03
	66	-0,46	0,46	-0,40	0,18	-0,44	-0,44	-0,45	-0,46	-0,38	0,01
0,2 - 0,3	27	0,13	-0,08	0,22	0,02	-0,23	0,29	0,37	0,25	-0,01	-0,01
	41	-0,26	0,25	-0,37	-0,50	-0,31	-0,30	-0,29	0,41	-0,22	-0,10
	66	-0,68	0,68	-0,59	0,56	-0,67	-0,68	-0,68	-0,74	-0,71	-0,14

DAP = Dias após o plantio.

Conforme apresentado na Tabela 3, os maiores níveis de correlação com os índices obtidos a partir da reflectância estimada em relação à densidade do solo foram encontrados na faixa de 0,20 – 0,30 m de profundidade aos 66 dias após o plantio, apresentando correlação de -0,74 no índice SAVI (L=0,25), o que indica que compactação do solo aumenta à medida que há um decréscimo da reflectância do dossel do feijoeiro. Esta maior interação pode ser explicado devido o estágio fenológico da cultura de enchimento de vagem, onde o feijoeiro necessita de maiores quantidades de água e nutrientes, o que realçou a influencia da compactação do solo nesta faixa de profundidade.

## CONCLUSÕES

O sistema de aquisição de imagens mostrou-se capaz de obter imagens para avaliação das dinâmicas da cultura do feijão.

O índice SAVI (L= 0,25) aos 66 DAP, obtido a partir da reflectância estimada apresentou maior coeficiente correlação com a densidade de solo, mostrando a potencialidade desta ferramenta em estudos das propriedades físicas do solo.

Ainda se faz necessário maiores estudos correlacionando outros índices de vegetação em relação à densidade do solo, na cultura do feijoeiro, afim da seleção de índices exclusivos para a variável de interesse.

## REFERÊNCIAS

COLLARES, G. L.; REINERT; D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação de um latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.933-942, 2008.

DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.175-182, 1996.

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2011. 230p.

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

GITELSON, A. A. Wide Dynamic Range Vegetation Index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. **Journal Plant Physiology**. n.161, p.165-173, 2004.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.58, p.289-298, 1996.

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**, v.30, n.5, 2003.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; MOREIRA, A. A. J. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. II: efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, p.213-218, 2002.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, p.295-309, 1988.

JENSEN, T.; APAN, A.; YOUNG, F.; ZELLER, L. Detecting the attributes of a wheat crop using digital imagery acquired from a low-altitude platform. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.59, p.66-77, 2007.

PEARSON, R. L.; MILLER, R. D. Remote mapping of starting crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 8., Ann Arbor, 1972. **Proceedings...** Ann Arbor: MI, ERIM, 1972. v.2, p.1355-1373.

RAMIREZ, G. M.; ZULLO JUNIOR, J. Estimativa de parâmetros biofísicos de plantios de café a partir de imagens orbitais de alta resolução espacial. **Engenharia Agrícola**, vol.30, n.3, p.468-479, 2010.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation**. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, 1974, 371p.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.395-401, 2001.

YI, J. L. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; QUINTANILHA, J. A. Identificação e mapeamento de áreas de milho na região sul do Brasil utilizando imagens MODIS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.3, 2007.