

Análise espacial do índice de área foliar de pastagens utilizando Crop Circle e imagem WorldView-2

Ricardo Guimarães Andrade¹, Luiz Eduardo Vicente¹, Célia Regina Grego¹, Sandra Furlan Nogueira¹, Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues¹

¹Pesquisador, Embrapa Monitoramento por Satélite, Av. Soldado Passarinho, 303, CEP 13070-115, Campinas, SP

*E-mails: ricardo.andrade@embrapa.br, luiz.vicente@embrapa.br, celia.grego@embrapa.br, sandra.nogueira@embrapa.br, cristina.rodrigues@embrapa.br

Resumo: Dados de sensoriamento remoto vêm sendo aplicados em diversos estudos da vegetação. Contudo, no Brasil são raras as pesquisas que utilizam técnicas de sensoriamento remoto na análise da área foliar de pastagens. Assim, este trabalho objetivou realizar análise espacial do índice de área foliar (IAF) de pastagens ao utilizar imagem do satélite WorldView-2 do dia 13 de abril de 2013 e dados coletados em campo por meio do Crop Circle ACS-430. O estudo foi realizado em pastagem de um piquete localizado na fazenda da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS. O IAF estimado a partir da imagem WorldView-2 apresentou similaridade com o padrão de variação do IAF obtido no campo e teve alta correlação no local dos pontos amostrais ($r = 0,8$). Assim, para grandes piquetes, dados oriundos do satélite WorldView-2 torna-se uma alternativa interessante em tomadas de decisões relacionadas com o controle da perda do potencial produtivo das pastagens.

Palavras-chave: Crop Circle, pastagem Worldview-2, índice de vegetação

Spatial analysis of the leaf area index of pastures using data of Crop Circle instrument and WorldView-2 image

Abstract: Remote sensing data have been applied in several studies of vegetation. However, in Brazil are few studies that use remote sensing techniques in the analysis of the leaf area of pasture. This study aimed to accomplish spatial analysis of leaf area index (LAI) of the pasture by data of the WorldView-2 satellite of April 13th, 2013 and data collected in the field by the Crop Circle ACS-430. The study was conducted in a pasture paddock located on the farm of Embrapa Beef Cattle, Campo Grande, Brazil. The LAI estimate from WorldView-2 image show similarity with the pattern of variation of LAI obtained in field and had high correlation in the location of sampling points ($r = 0.8$). Thus, for large paddocks, data from the WorldView-2 satellite becomes an interesting alternative in making decisions related to loss control of the productive potential of pasture.

Keywords: Crop Circle, pasture, Worldview-2, vegetation index

1. Introdução

O índice de área foliar (IAF) é um parâmetro importante em diversos estudos da estrutura da vegetação devido, por exemplo, à associação com processos de evapotranspiração, crescimento das plantas, fluxos de CO₂ entre outros. Para Busato et al. (2010) a área foliar é uma característica importante na avaliação da eficiência fotossintética das plantas, na determinação de danos bióticos e abióticos, na análise de crescimento, relacionado com o acúmulo de matéria seca, metabolismo, produtividade, qualidade e maturação das plantas. Liu et al. (2004) relatam que a área foliar pode ser um indicativo da variabilidade da concentração de nitrogênio na planta, pois a carência de nitrogênio contribui para a diminuição da clorofila, da fitomassa e do IAF. Assim, pode ocorrer redução da atividade fotossintética afetando a quantidade da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelas plantas (APAR). Essas alterações na estrutura da vegetação pode ocasionar acréscimo do espalhamento da radiação na faixa do visível e decréscimo da radiação na faixa do infravermelho próximo (IVP) que é refletida pelo dossel da vegetação (OVIDEO; RUDORFF, 2000).

Variações da radiação na faixa espectral do vermelho e do IVP se correlacionam com variações do IAF (TUCKER, 1979) que por sua vez correlaciona-se com outros parâmetros biofísicos da vegetação e pode, por exemplo, ser utilizado para o monitoramento das condições de crescimento da cultura. Nesse sentido, as técnicas de sensoriamento remoto tem sido promissoras em diversos estudos tanto na identificação de áreas de cultivo quanto na obtenção de parâmetros biofísicos dos alvos de interesse. Xavier, Vettorazzi e Machado (2004) avaliaram a correlação entre valores de IAF de diferentes tipos de cobertura do solo existentes em uma microbacia rural com valores de frações de componentes puros oriundos de um modelo linear de mistura espectral (MLME), gerados a partir de dados do Landsat 7 - ETM+. Já Sanches et al. (2008) utilizaram o produto IAF do sensor MODIS para analisar variações do IAF em áreas de floresta de transição entre Amazônia e Cerrado. Por outro lado, Sugawara et al. (2009) utilizaram produtos MODIS para estimativa do IAF em plantios de cana-de-açúcar.

Em diversos estudos, os índices de vegetação tem sido uma das formas de relacionar a área foliar aos dados de sensoriamento remoto como, por exemplo, no estudo da caracterização espectral de dosséis de trigo (CAMARGO et al., 2007) e em estudos relacionados com a cultura da cana-de-açúcar (XAVIER; VETORAZZI, 2004). No entanto, poucos são os estudos no Brasil que utilizam dados de sensoriamento remoto para avaliar a variabilidade espacial da área foliar de pastagens, apesar de algumas iniciativas (ANDRADE et al., 2013). Além disso, não há relatos do uso de imagens de alta resolução espacial na estimativa do IAF de pastagens. Diante do exposto, este trabalho objetivou analisar a variabilidade espacial do IAF de pastagens utilizando dados coletados em campo por meio do sensor ativo Crop Circle ACS-430 e imagem de alta resolução espacial proveniente do satélite WorldView-2.

2. Material e Métodos

O presente estudo foi realizado para pastagem do gênero *Brachiaria* de um piquete experimental (área de 31,78 ha) do projeto GeoRastro localizado na fazenda da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, Mato Grosso do Sul (Figura 1). Para a estimativa do IAF da pastagem foram utilizados dados coletados em campo por meio do sensor ativo Crop Circle ACS-430 e uma imagem do dia 13 de abril de 2013 obtida pelo satélite WorldView-2.

O satélite WorldView-2 foi lançado em 8 de outubro de 2009 e entrou em plena capacidade de operação no dia 04 de janeiro de 2010. O satélite possui órbita polar síncrona com o sol a uma altitude de 770 km e possibilita o imageamento em 8 bandas multiespectrais com 16,4 km de largura da faixa nominal. Além disso, possui revisita média de 1,1 dias, resolução radiométrica de 11 bits. Já a resolução espacial pode chegar até 0,46 m no pancromático e até 1,84 m no multiespectral. Porém, as bandas são comercializadas na resolução espacial de 0,50 m (pancromático) e de 2,0 m (multiespectral).

Para transformação dos números digitais (ND) da imagem WorldView-2 em valores de radiância espectral de cada banda no topo da atmosfera

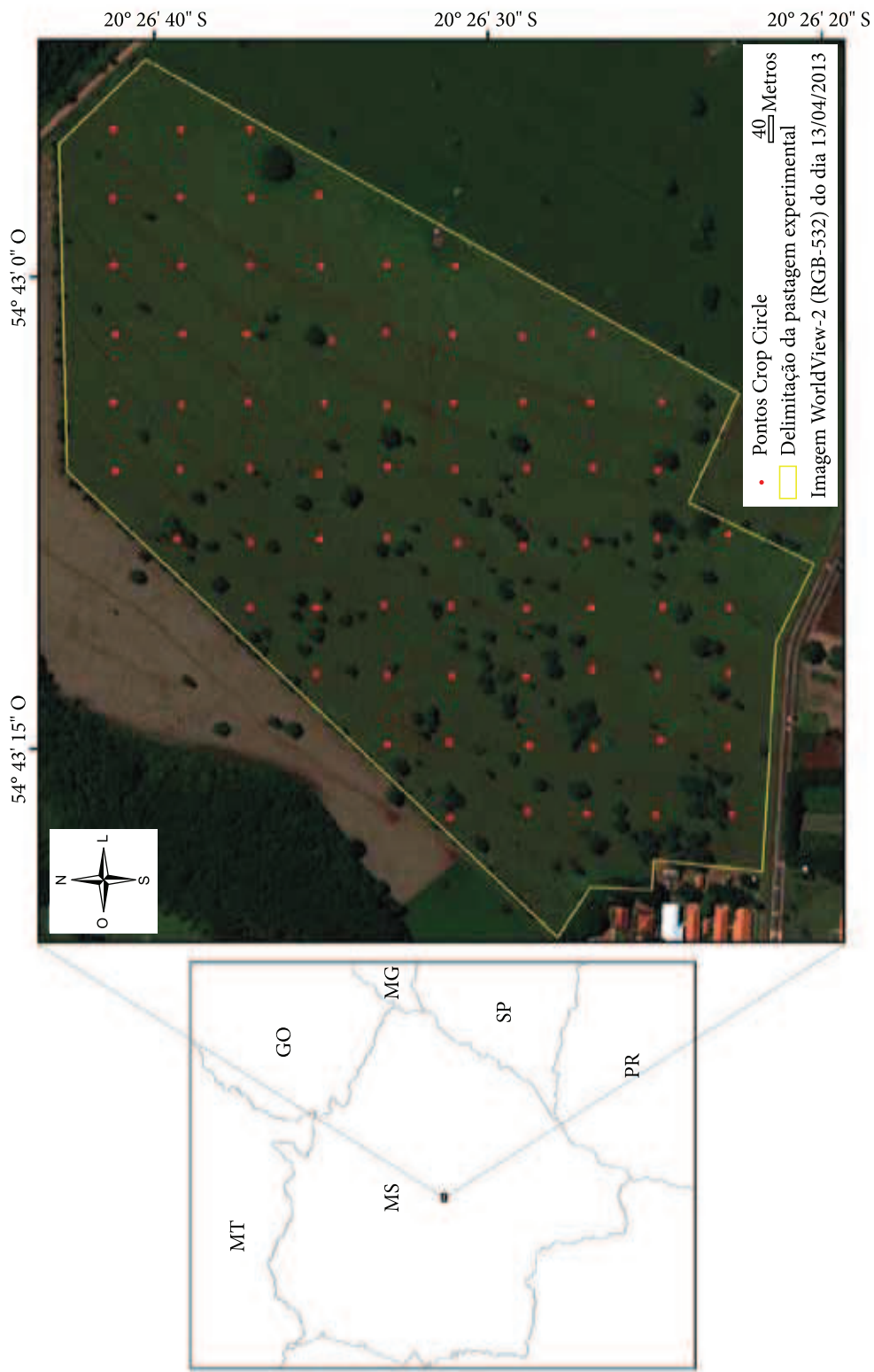


Figura 1. Visualização da imagem WorldView-2 (RGB-532) referente a área de pastagem do gênero *Brachiaria* em piquete experimental do projeto GeoRastro localizado na fazenda da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. A delimitação da área pode ser visualizada por meio da linha amarela e os pontos em vermelho representam os locais de utilização do Crop Circle ACS-430 para as coletas de amostras de campo.

(L_{λ_i} , dada em $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) ou calibração radiométrica absoluta, utilizou-se a equação:

$$L_{\lambda_i} = \frac{ND \times F_{calibração}}{largura_{bandas}} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde, $F_{calibração}$ é o fator de calibração radiométrica absoluta e $largura_{bandas}$ é o valor da efetiva largura de bandas (*Effective Bandwidth*), os quais estão disponíveis nos arquivos de metadados da imagem (arquivo de extensão .IMD).

Posteriormente, a L_{λ_i} foi transformada em reflectância no topo da atmosfera (ρ_{TOA}) ao empregar a equação:

$$\rho_{TOA} = \frac{d_{ES}^2 \pi L_{\lambda_i}}{E_{S(\lambda_i)} \cos \theta_s} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde, θ_s é o ângulo zenital solar; L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda no topo da atmosfera e $E_{S(\lambda_i)}$ é a irradiância solar espectral média de cada banda no topo da atmosfera ($W m^{-2} \mu m^{-1}$) (Tabela 1). O termo d_{ES} é a distância relativa terra-sol em unidades astronômicas (UA).

Para obtenção da reflectância de superfície ou corrigida para os efeitos da atmosfera foi aplicado o método *Dark Object Subtraction* (DOS) proposto por Chavez Junior (1988, 1989). Este é um método de correção do espalhamento atmosférico no qual a interferência atmosférica é estimada diretamente

a partir dos números digitais (ND) da imagem de satélite.

Em seguida, obteve-se o índice de vegetação ajustado para correção dos efeitos do solo (*Soil Adjusted Vegetation Index* - SAVI), conforme Huete (1988):

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IVP} - \rho_{VERM})}{(L + \rho_{IVP} + \rho_{VERM})} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde, ρ_{IVP} e ρ_{VERM} são as reflectâncias de superfície nas bandas do infravermelho próximo (IVP-1) e do vermelho, respectivamente. Já o L representa o grau de fechamento do dossel e varia de 0 a 1, neste caso foi aplicado o fator L de 0,5.

De posse do SAVI foi possível estimar o IAF da pastagem ao aplicar a equação (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2002):

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad \text{Eq. 4}$$

Neste estudo, também foi utilizado o sensor ativo Crop Circle ACS-430 para coleta de dados de reflectância de superfície nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo numa malha de pontos regular de aproximadamente 60 x 60 m totalizando 74 pontos observacionais. Em cada ponto da malha foram registradas pelo menos

Tabela 1. Especificações do satélite WorldView-2 referente as bandas, comprimento de onda e irradiância solar espectral no topo da atmosfera

Bandas	Comprimento de onda (μm)	Irradiância solar espectral no topo da atmosfera ($W m^{-2} \mu m^{-1}$)
Pancromática	0,450-0,800	1580,8140
Costal	0,400-0,450	1758,2229
Azul	0,450-0,510	1974,2416
Verde	0,510-0,580	1856,4104
Amarelo	0,585-0,625	1738,4791
Vermelho	0,630-0,690	1559,4555
RedEdge	0,705-0,745	1342,0695
IVP-1	0,770-0,895	1069,7302
IVP-2	0,860-1,040	861,2866

Fonte: DigitalGlobe.

50 amostras que posteriormente foram utilizadas para obter o valor médio no ponto.

Com os dados de reflectância de superfície oriundos do sensor ativo Crop Circle ACS-430 foi possível aplicar as equações 3 e 4 para estimar o SAVI e, posteriormente, o IAF da pastagem em nível de campo. Na sequência, empregou-se a análise geoestatística para identificar a existência de dependência espacial nos dados de IAF, com o cálculo e ajuste do semivariograma e, posteriormente, a interpolação de dados nos locais não amostrados pelo método da krigagem ordinária.

3. Resultados e Discussão

Na Figura 2a tem-se uma visualização parcial da área de pastagem do piquete. Já a Figura 2b apresenta o mapa da estimativa do IAF da pastagem ao utilizar os dados de reflectância do satélite WorldView-2. Nota-se que os valores de IAF entre 0 e $0,76 \text{ m}^2/\text{m}^2$ (cor preta) estão localizados em áreas de pastagens sombreadas pelas copas das árvores. Nesse caso o sombreamento interferiu na quantidade de radiação refletida pelo dossel da pastagem e, conseqüentemente, nas estimativas do IAF. Por outro lado, vale ressaltar que os bovinos utilizam as áreas sombreadas em períodos

mais quente do dia. Nessas áreas o pisoteio dos animais contribui para compactação do solo e propicia alguns pontos de pastagem mais rala e até exposição do solo. Os maiores valores de IAF ($1,51$ a $1,65 \text{ m}^2/\text{m}^2$) foram observados em pixels da imagem que representam, na maior parte, as copas de árvores e áreas de pastagem localizadas próximas à cerca ao leste e em alguns pixels representativos da pastagem ao sul do piquete. O valor do IAF médio da pastagem do piquete foi de $0,98 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Para estudo utilizando imagem Landsat 5 - TM em áreas de pastagens do gênero *Brachiaria* localizadas no município de Guararapes, São Paulo, Andrade et al. (2013) obtiveram valores médios de IAF que variaram de acordo com as condições das pastagens e com o parâmetro L utilizado no método de estimativa. Nesse caso, os valores médios de IAF estimado variaram de $1,98$ a $4,36 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Sendo que a média do IAF obtido no campo a partir do instrumento LAI-2000 oscilou entre $1,20$ e $4,21 \text{ m}^2/\text{m}^2$.

A Figura 3 mostra os parâmetros de dependência espacial decorrentes do semivariograma juntamente com a espacialização por krigagem ordinária do IAF da pastagem estimado a partir dos dados coletados com o sensor ativo Crop Circle ACS-430. Apesar dos parâmetros decorrentes da análise geoestatística indicarem fraca dependência espacial entre os pontos do IAF estimado, nota-se que o padrão de variação espacial do IAF é

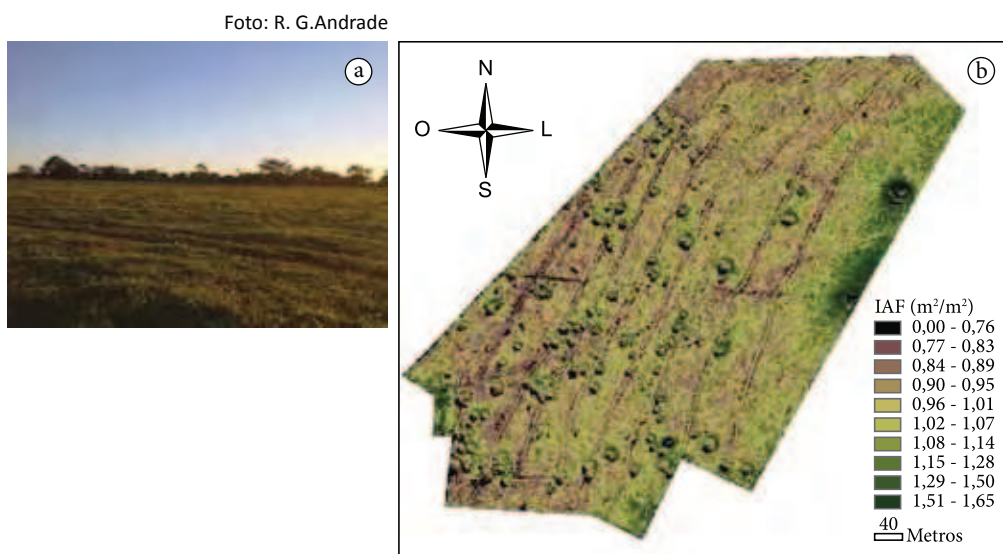


Figura 2. (a) Visualização de parte representativa da área de pastagem do piquete experimental e (b) mapa da estimativa do IAF da pastagem ao utilizar os dados de reflectância do satélite WorldView-2.

semelhante visualmente ao estimado para cada pixel da imagem WorldView-2 (Figura 2b). Nesse caso, na Figura 3 fica evidenciado que os maiores valores de IAF (1,08 a 1,14 m²/m²) estão localizados na parte nordeste e sul do piquete. O valor médio do IAF estimado a partir dos dados do sensor ativo Crop Circle ACS-430 foi de 0,96 m²/m². Esse valor médio é praticamente o mesmo encontrado para o IAF estimado com os dados de reflectância da imagem WorldView-2. Além disso, esses resultados são próximos àqueles observados por Roberts et al. (1996), que ao analisar o IAF de pastagens de *Urochloa brizantha* nos meses de agosto e setembro de 1992, obtiveram respectivamente valores médios de IAF da ordem de 1,55 ± 0,72 m²/m² e 1,66 ± 0,52 m²/m².

A título de validar a semelhança de padrão de variação dos IAF, a Figura 4 apresenta uma análise de regressão entre o valor do IAF do pixel da imagem WorldView-2 e o valor do IAF estimado a partir dos dados oriundos do sensor ativo Crop Circle ACS-430. Verifica-se uma correlação de 80% (r = 0,80) entre os dados de IAF para os 74 pontos amostrais. Esse dado estatístico é considerado satisfatório, pois apesar da alta

resolução da imagem (≈ 1,84 m), o IAF obtido para cada pixel representa um valor integrado para uma área de pastagem de aproximadamente 3,4 m². Já as medições realizadas com o sensor ativo Crop Circle abrangem menos de 1,0 m² de área. Além disso, ressalta-se também que os dados de campo foram coletados no dia 09 de maio de 2013 e apresentam-se defasados em 26 dias com relação à data da imagem WorldView-2. Nesse período, podem ter ocorrido alterações das condições das pastagens principalmente devido aos fatores climáticos e manejo do rebanho no piquete.

4. Conclusões

A variação espacial da estimativa do IAF da pastagem ao utilizar imagem WorldView-2 é semelhante ao padrão de variação espacial do IAF encontrado para os pontos de campo que foram espacializados por krigagem. Além disso, o IAF estimado a partir da imagem WorldView-2 apresentou alta correlação com os pontos de IAF estimado por meio dos dados do sensor ativo Crop Circle ACS-430.

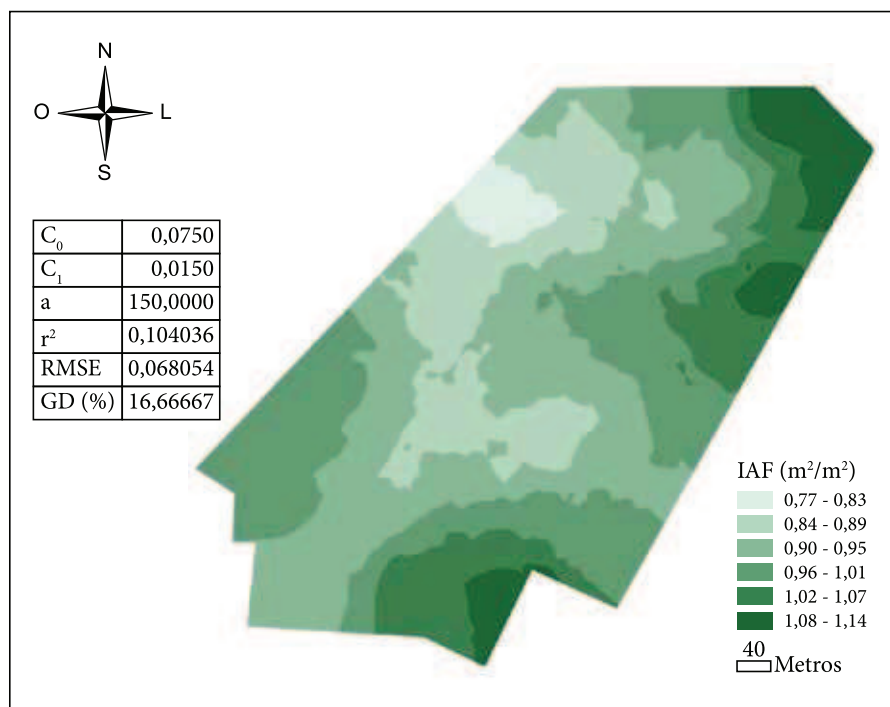


Figura 3. Parâmetros de dependência espacial (efeito pepita - C_0 ; variância estrutural - C_1 e alcance - a) e espacialização por krigagem ordinária de dados de IAF estimados a partir dos dados do sensor ativo Crop Circle ACS-430.

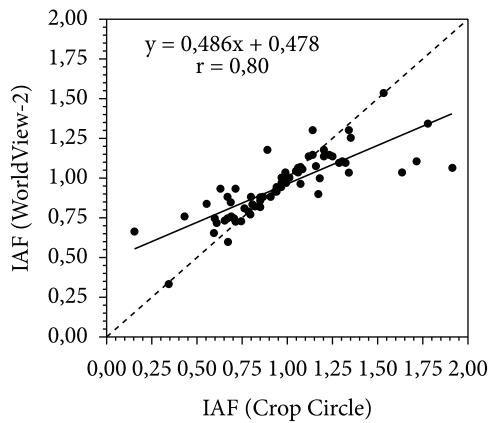


Figura 4. Análise de regressão entre o IAF estimado a partir dos dados do satélite WorldView-2 e a estimativa do IAF nos pontos amostrais ao utilizar o sensor ativo Crop Circle ACS-430.

De forma geral, as estimativas do IAF da pastagem foram consistentes com a literatura, tanto ao utilizar Crop Circle quanto a imagem WorldView-2. Assim, para grandes piquetes os dados do satélite WorldView-2 torna-se uma alternativa interessante em tomadas de decisões voltadas para o controle da perda do potencial produtivo das pastagens.

Agradecimentos

Sinceros agradecimentos aos colegas Pedro Paulo Pires, Quintino Izidio dos Santos Neto e Davi José Bungenstab da Embrapa Gado de Corte pelo apoio de sempre e parceria no âmbito do projeto GeoRastro.

Referências

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL**: Surface Energy Balance Algorithms for Land. Advanced Training and Users Manual. version 1.0. Idaho Implementation, 2002. 98 p.

ANDRADE, R. G.; RODRIGUES, C. A. G.; SANCHES, I. D.; TORRESAN, F. E.; QUARTAROLI, C. F. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de processos de degradação de pastagens. *Engenharia na Agricultura*, v. 21, n. 3, p. 234-243, 2013.

BUSATO, C.; FONTES, P. C. R.; BRAUN, H.; BUSATO, C. C. M. Estimativa da área foliar da batateira, cultivar Atlantic, utilizando dimensões lineares. *Revista Ciência Agronômica*, v. 41, n. 4, p. 702-708, 2010.

CAMARGO, F. E.; ADAMI, M.; BREUNIG, F. M.; MANTELLI, L. R.; COSTA, M. C.; PONZONI, F. J.; FREITAS, J. G. Avaliação de índices de vegetação e de índice de área foliar na caracterização espectral de dosséis de trigo (*Triticum aestivum*, L. - IAC-370). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: SBSR, 2007. p. 103-110.

CHAVEZ JUNIOR, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, v. 24, p. 459-479, 1988.

CHAVEZ JUNIOR, P. S. Radiometric calibration of Landsat thematic mapper multispectral images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 55, p. 1285-1294, 1989.

HUETE, A. R. Soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v. 25, p. 89-105, 1988.

LIU, L.; WANG, J.; HUANG, W.; ZHAO, C.; ZHANG, B.; TONG, Q. Estimating winter wheat plant water content using red edge parameters. *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, n. 17, p. 3331-3342, 2004.

SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T.; FARIA, V. G. C. Avaliação de três métodos de estimativa de índice de área foliar aplicados à cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. *Anais...* Natal: SBSR, 2009. p. 499-506.

OVIEDO, A. F. P.; RUDORFF, B. F. T. Índice de área foliar e resposta espectral da cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) submetida ao estresse hídrico. *Revista Biotécnicas*, v. 6, n. 2, p. 39-47, 2000.

ROBERTS, J. M.; CABRAL, O. M. R.; COSTA, J. P.; McWILLIAM, A. L. C.; de SÁ, T. D. An overview of the leaf area index and physiological measurements during ABRACOS. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. (Ed.). *Amazonian deforestation and climate*. New York: J. Wiley and Sons, 1996. p. 287-305.

SANCHES, L.; ANDRADE, N. L. R.; NOGUEIRA, J. S.; BIUDES, M. S.; VOURLITIS, G. L. Índice de área foliar em floresta de transição amazônia cerrado em diferentes métodos de estimativa. *Ciência e Natura*, v. 30, n. 1, p. 57-69, 2008.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, v. 2, n. 8, p. 127-150, 1979.

XAVIER, A. C.; VETTORAZZI, C. A. Mapping leaf area index through spectral vegetation indices in a subtropical watershed. *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, n. 9, p. 1661-1672, 2004.

XAVIER, A. C.; VETTORAZZI, C. A.; MACHADO, R. E. Relação entre índice de área foliar e frações de componentes puros do modelo linear de mistura espectral, usando imagens ETM+/Landsat. *Engenharia Agrícola*, v. 24, n. 2, p. 421-430, 2004.