

Avaliação de resposta de índices de vegetação aos parâmetros biofísicos da canola

Matheus Boni Vicari^{1,2}
Daniele Guterres Pinto^{1,2}
Denise Cybis Fontana¹
Genei Antônio Dalmago²
Elizandro Fochesatto^{1,2}

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Caixa Postal 96 - 13416-000 – Porto Alegre - RS, Brasil
matheus_boni_vicari@hotmail.com

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Caixa Postal 96 - 13416-000 – Porto Alegre - RS, Brasil
daniele.gutterres@gmail.com

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Caixa Postal 96 - 13416-000 – Porto Alegre - RS, Brasil
dfontana@ufrgs.br

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA/Trigo
Caixa Postal 3081 – Passo Fundo – RS, Brasil
genei.dalmago@embrapa.br

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Caixa Postal 96 - 13416-000 – Porto Alegre - RS, Brasil
elizandrofochesatto@hotmail.com

Abstract. Canola is a spring/winter crop increasingly important in South of Brazil. The application of remote sensing techniques to a crop like canola allows the creation of a number of relationships between the plants components and their reflectance. One of the most applied techniques to vegetation's reflectance is the vegetation index, which is based in the reflectance of two or more spectral bands. This paper's objective was to evaluate the relationship between 10 different vegetation indices, SR, NDVI, EVI, C_{green}, CVI, GNDVI, MTVI2, GLI, SAVI and ARVI, calculated from field radiometry data, and biophysical variables from canola, such as dry mass of the different plant's components. All the data was obtained from July until November, 2013. Among all the indices tested, the ones with better results, in general, were SAVI and GLI, followed by EVI, NDVI, SR and MTVI2. The significance analysis of the correlation coefficient showed that the most comprehensive vegetation index for canola in this study was GLI. The only biophysical component which did not had any significant correlation with any vegetation index was the leaves' dry mass, as opposed of the expected, indicating that further study is necessary to better understand the dynamic of the vegetation indices applied to canola.

Palavras-chave: remote sensing, field radiometry, agriculture, sensoriamento remoto, radiometria de campo, agricultura.

1. Introdução

A canola (*Brassica napus* L. var. oleifera) é uma cultivar de primavera/inverno criada a partir do melhoramento genético da colza (CHAVARRIA et al., 2011). As plantas do gênero *Brassica* crescem entre 70 e 170 cm, apresentam folhas inteiras ou compostas, flores que se reúnem na parte superior da planta e frutos, comumente chamados de síliquas, em um formato de involúcro alongado (THOMAS, 2003; EDWARDS e HERTEL, 2011; NIED, 2013).

No Brasil, especialmente na Região Sul, essa cultura tem apresentado uma expansão da área cultivada com um crescimento de cerca de 54% entre 2009 e 2013 (CONAB, 2014). O crescimento da cultura na Região Sul pode ser atribuído ao potencial agrônômico e econômico, sendo que a produção é destinada, principalmente, ao consumo animal e humano, além da produção de biodiesel (TOMM e FERREIRA, 2009; NIED, 2013).

As técnicas de sensoriamento remoto permitem avaliar e relacionar a interação da radiação solar com os componentes da vegetação, como transmissão, absorção e reflexão (MENESES e ALMEIDA, 2012). A quantidade de radiação que é refletida pela planta (ou conjunto de plantas) é dependente, principalmente, da composição química, estrutura morfológica e do arranjo físico de suas componentes (PONZONI e SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012).

Uma das formas de se avaliar a vegetação é através do uso de índices de vegetação (IVs), os quais são calculados a partir da relação entre duas ou mais bandas espectrais, obtidas com medições da quantidade de radiação refletida pelas plantas. Estes, se baseiam, principalmente, no padrão divergente da resposta espectral na região do espectro visível e infravermelho próximo que ocorre na vegetação em geral (HUETE et al., 1997; PONZONI e SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012).

Esse trabalho teve como objetivo avaliar o padrão de variação temporal de diferentes índices de vegetação quando aplicados às medições de radiometria de campo feitas para a canola.

2. Metodologia

Para esse trabalho foram realizadas 7 medidas de radiometria, de julho a novembro de 2013, para 5 parcelas experimentais de canola localizadas na área experimental da Embrapa Trigo, no município de Passo Fundo/RS.

As medições radiométricas foram feitas utilizando um espectroradiômetro modelo LI-1800, da LI-COR, que mede entre os comprimentos de onda de 300 nm e 1.100 nm e com resolução espectral de 2 nm (LI-COR, 1991). Essas medidas foram realizadas entre às 11 e 13 h, para se obter condições ótimas de geometria de iluminação solar e utilizaram um telescópio com abertura ótica de 15°, posicionado a 1,2 m acima do dossel da cultura, resultando em uma área de aproximadamente 0,1 m². Para se medir a radiação solar incidente foi utilizada uma placa de referência, a qual possui uma superfície lambertiana que reflete a radiação solar de forma igual para todos os comprimentos de onda e para todas as direções.

Também foram realizadas medidas biofísicas da canola nas parcelas experimentais, tais como massa seca das folhas, colmo, siliquis, e massa seca total. As medições desses parâmetros da canola ocorreram em semanas intercaladas com as medições radiométricas, como pode ser visto na Tabela 1. As plantas coletadas de forma aleatória dentro de cada parcela eram desmembradas em folhas, colmo e siliquis e postas para secagem e posterior pesagem.

Tabela 1. Datas das medições realizadas nas parcelas de canola.

Radiometria de campo	Medidas biofísicas
15/07/2013	10/07/2013
30/07/2013	26/07/2013
15/08/2013	08/08/2013
30/08/2013	22/08/2013
13/09/2013	05/09/2013
26/09/2013	17/09/2013
06/11/2013	02/10/2013

Como a canola foi semeada em maio de 2013, a primeira medição ocorreu no mês de julho de 2013, quando a cultura se encontrava em período vegetativo avançado. Dessa forma, esse trabalho mediu apenas a metade final do ciclo da cultura.

A partir dos dados de radiometria foram calculados os índices de vegetação, os quais são apresentados na Tabela 2 em detalhes.

Tabela 2. Características dos índices de vegetação calculados para esse estudo. ρ_n representa a refletância da banda do infravermelho próximo, ρ_r representa a refletância na banda do vermelho, ρ_g representa a refletância da banda do verde, ρ_b representa a refletância da banda do azul e ρ_{rb} é definida pela equação $\rho_r - (\rho_b - \rho_r)$.

Nome	Abreviação	Equação	Referências
Razão Simples	SR	ρ_n/ρ_r	(JORDAN, 1969)
Índice de Vegetação da Diferença Normalizada	NDVI	$(\rho_n - \rho_r)/(\rho_n + \rho_r)$	(ROUSE et al., 1973)
Índice de Vegetação da Diferença Normalizada Verde	GNDVI	$(\rho_n - \rho_g)/(\rho_n + \rho_g)$	(GITELSON e KAUFMAN e MERZLYAK, 1996)
Índice de Vegetação Ajustado para o Solo	SAVI	$(1 + 0,5) (\rho_n - \rho_r)/(\rho_n + \rho_r + 0,5)$	(HUETE, 1988)
Índice de Vegetação Melhorado	EVI	$2,5 (\rho_n - \rho_r)/(\rho_n + 6 * \rho_r - 7,5 * \rho_b + 1)$	(HUETE et al., 1997)
Índice da Clorofila Verde	Cgreen	$(\rho_n/\rho_g) - 1$	(GITELSON et al., 2005)
Índice de Vegetação Resistente à Atmosfera	ARVI	$(\rho_n - \rho_{rb})/(\rho_r + \rho_{rb})$	(KAUFMAN e TANRE, 1992)
Índice Foliar Verde	GLI	$(2 * \rho_g - \rho_r - \rho_b)/(2 * \rho_g + \rho_r + \rho_b)$	(LOUHAICHI e BORMAN e JOHNSON, 2001)
Índice de Vegetação da Clorofila	CVI	$\rho_n * \rho_r/\rho_g^2$	(VINCINI e FRAZZI e D'ALESSIO, 2008)
Segundo Índice de Vegetação Triangular Modificado	MTVI2	$1,5 [2,5 (\rho_n - \rho_g) - 2,5 (\rho_r - \rho_g)]/\sqrt{[(2 * \rho_n + 1)^2 - 6 * \rho_n - 5 * \sqrt{(\rho_r - 0,5)}]}$	(HABOUDANE et al., 2004)

Visando compatibilizar os dados e resultados desse trabalho para possíveis estudos da canola a partir de imagens orbitais, os intervalos de comprimentos de ondas referentes a cada banda utilizada foram definidos de acordo com os limites das bandas do sensor orbital MODIS, a bordo dos satélites Terra e Aqua (NASA, 2013).

Como as datas de medições radiométricas não coincidiram com as datas das medidas biofísicas, foi necessário realizar a interpolação linear dos IVs calculados. Após isso, foi aplicado o filtro Savitzky-Golay (MADDEN, 1978; CHEN et al., 2004), visando a remoção de ruídos da série. Após esse pré-processamento dos IVs, os mesmos foram analisados em conjunto com os dados biofísicos, inicialmente para avaliar a normalidade da distribuição de todos os dados.

Foi calculado o coeficiente de correlação entre variável biofísica e índice de vegetação. Visando obter uma análise generalizada para a canola, os dados medidos nas parcelas foram agregados calculando a média das variáveis para cada data de medição.

Além disso, para garantir a qualidade dos resultados, os dados foram avaliados quanto às suas variabilidades, procurando evitar inserir *outliers* e dados com muitos ruídos nas análises.

3. Resultados

3.1 Séries temporais de IVs

A partir das bandas espectrais geradas com os dados de radiometria de campo foram calculados os índices temporais desse estudo (Figuras 1 e 2). As séries temporais dos índices foram apresentadas separadamente de acordo com as amplitudes dos valores, visando evidenciar as dinâmicas e variações que ocorreram ao longo do período do experimento.

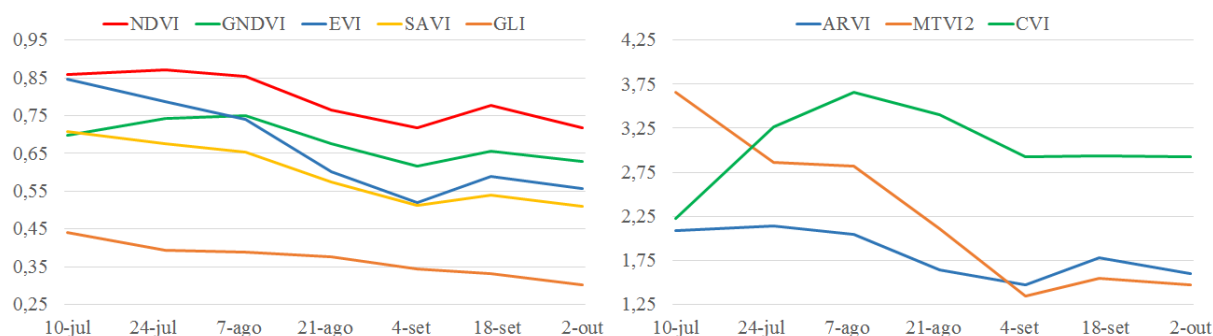


Figura 1. Séries temporais dos IVs NDVI, GNDVI, SAVI, EVI, GLI, ARVI, MTVI2 e CVI, para o experimento ocorrido de 10/07/13 a 02/10/13.

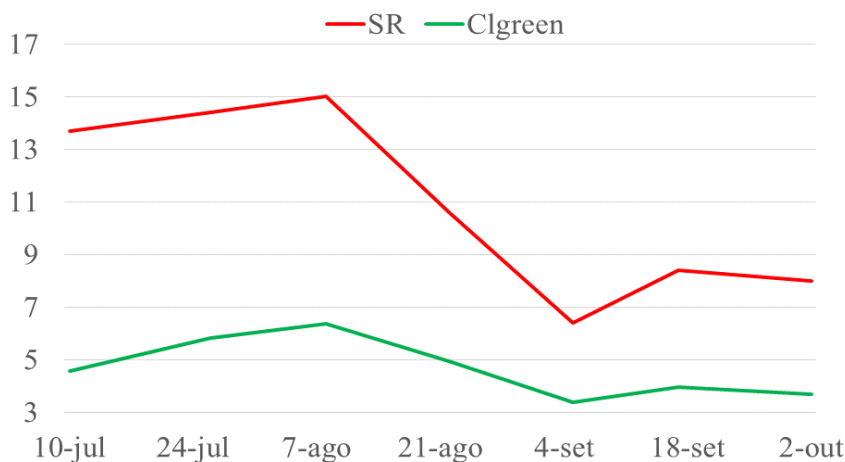


Figura 2. Séries temporais dos SR e Clgreen, para o experimento ocorrido de 10/07/13 a 02/10/13.

Todos os IVs apresentaram um perfil temporal esperado para o período das medições. Os valores foram relativamente elevados na primeira medição, quando a cultura encontrava-se no período vegetativo, seguidos por um decaimento causado pelos estádios reprodutivos e senescência das plantas.

Outro ponto importante verificado em todos os índices, com exceção do GLI, é a ocorrência de uma depressão que culminou próximo a 4 de setembro. A razão disso foi o início de uma grande produção de flores amarelas, ainda em agosto, combinada com a perda de folhas. A redução na área foliar da planta é um fenômeno natural do ciclo de desenvolvimento da canola e, em conjunto com o aparecimento de flores, implica em

alteração das respostas das bandas verde e vermelho e infravermelho próximo, utilizadas em todos os índices desse estudo.

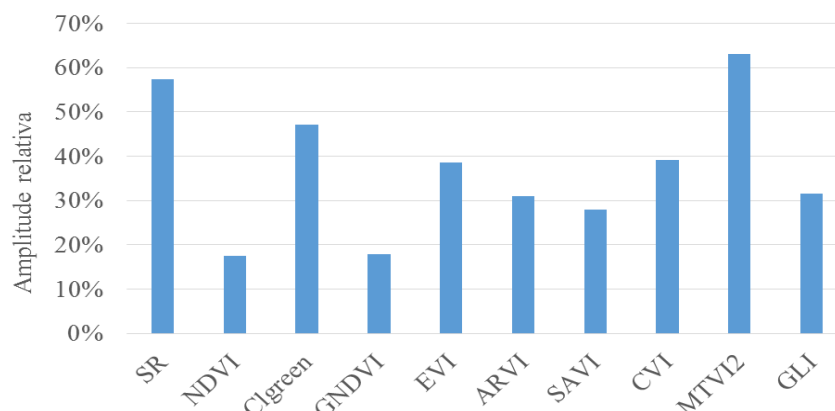


Figura 3. Avaliação da amplitude dos IVs ao longo do período de estudo.

A partir da análise da amplitude relativa dos índices (Figura 3) observa-se que o NDVI, um dos índices mais utilizados atualmente (CHEN et al., 2004; JIANG et al., 2006; REN et al., 2008), foi o que apresentou a menor variação relativa de valores ao longo do período estudado. Já o MTVI2 e o SR foram os IVs que apresentaram a maior diferença relativa entre o máximo e mínimo medido. Apesar de não ser possível realizar uma análise mais aprofundada nesse aspecto dos IVs aplicados à canola, é plausível imaginar que essa variação relativa acentuada da série temporal indique uma maior sensibilidade dos IVs em relação às mudanças que ocorreram no dossel da canola ao longo do período experimental.

3.2 Séries temporais das variáveis biofísicas da canola

A dinâmica temporal das variáveis biofísicas da canola avaliadas nesse estudo (Figuras 4 e 5) mostrou um incremento de massa para as folhas e colmo até o início do período reprodutivo. Neste, o colmo continua apresentando incremento de biomassa verde enquanto a massa de folhas começa a decrescer, chegando próxima a zero ao final do ciclo. Após o florescimento da canola, as siliquas começam a ser produzidas, tendo um ganho de biomassa muito grande próximo ao final do ciclo da cultura.

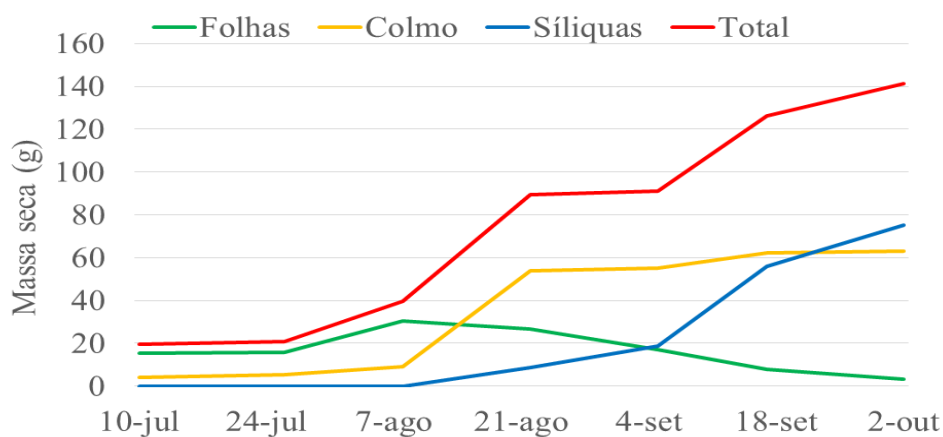


Figura 4. Perfis temporais da biomassa seca da canola ao longo do período de estudo.

3.3 Análises de correlação entre variáveis

Os coeficientes de correlação calculados entre os índices de vegetação e as variáveis biofísicas estão apresentados de forma absoluta, visando facilitar a visualização na Figura 5. Contudo, apenas a massa seca de folhas apresentou coeficientes de correlação positivos. Isso pode ser explicado pelo fato de as plantas já estarem em um estado vegetativo avançado no início do experimento, logo atingindo o máximo de área foliar e seguindo para a redução da mesma.

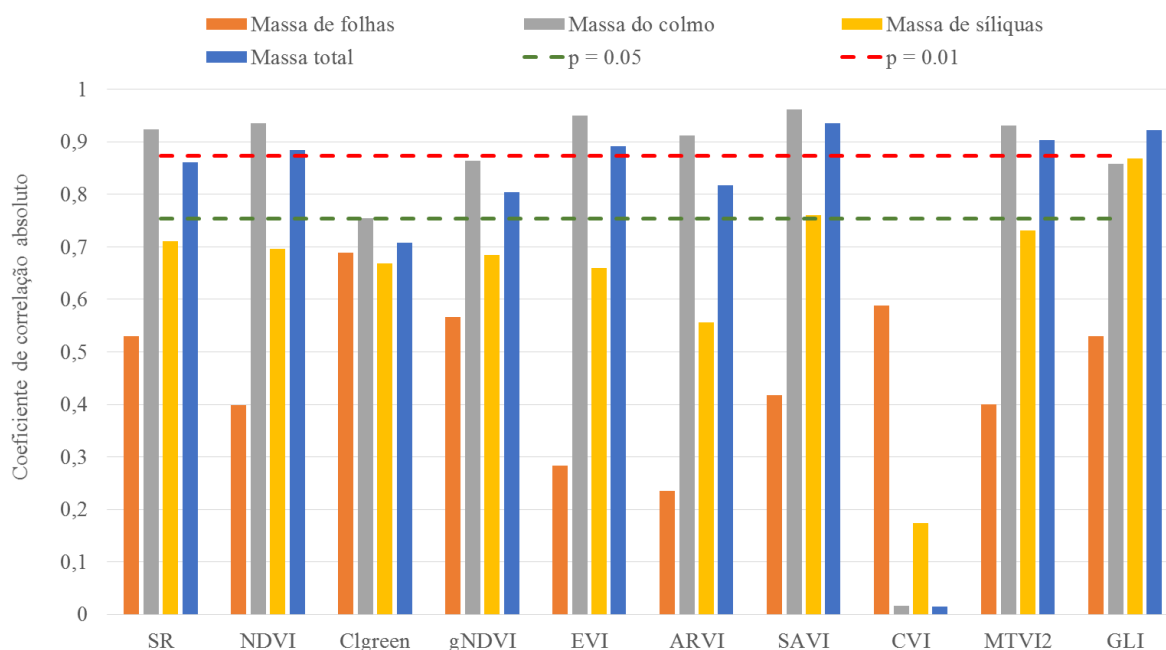


Figura 5. Coeficientes de correlação absolutos entre as variáveis biofísicas e os índices de vegetação avaliados, considerando os valores críticos de p para 1% e 5% de significância estatística.

Pode-se observar que o índice de vegetação que apresentou maiores correlações com as variáveis biofísicas, em geral, foi o SAVI, especialmente para a massa do colmo e a massa total. Outros índices que apresentaram correlações significativas com a massa do colmo e/ou a massa total, para um intervalo de confiança bilateral de 1%, foram o EVI, o MTVI2, o NDVI, o GLI e o SR.

A variável biofísica que apresentou a menor correlações foi a massa das folhas, sendo que o índice de vegetação com maior para essa variável foi o Clgreen. Esse IV se apresentou como mediano para todas as variáveis, sendo o mais estável, apesar de os valores não passarem de 0,76.

Para a massa de siliques, componente diretamente relacionado com a produtividade da canola, o único índice que apresentou correlação significativa, para um intervalo de confiança bilateral de 5%, foi o GLI, com coeficiente de correlação de 0,86.

O fato de as variáveis biofísicas relacionadas às folhas da canola apresentarem as menores correlações com os IVs, em geral, pode ser relacionado com o período em que a cultura foi avaliada, já que as plantas apresentavam uma massa relativamente alta de folhas no início do estudo e, logo após foi iniciada a sua redução, enquanto as demais variáveis continuavam a crescer. Esse padrão divergente pode ter levado a uma perda de sensibilidade dos IVs em relação à massa de folhas.

O fato dos índices NDVI e EVI apresentarem resultados próximos aos obtidos pelo SAVI, é muito importante, pois esses índices são altamente difundidos em estudos da vegetação e são disponibilizados prontos para uso através do grupo de produtos MODIS de índices de vegetação (MOD13). Isso demonstra o potencial uso desses índices e produtos para o mapeamento da canola a nível orbital.

4. Conclusão

Apesar de vários índices de vegetação terem apresentados bons resultados de correlação com as variáveis biofísicas da canola, o índice que melhor representou cultura nesse estudo foram o SAVI e o GLI. Os IVs EVI, MTVI2, NDVI e SR também apresentaram resultados relevantes e também podem ser aplicados a estudos da canola sem prejudicar resultados. A identificação da possibilidade da utilização do NDVI e EVI diretamente dos produtos MODIS para o mapeamento de canola é extremamente importante para estudos futuros. Contudo, para mapeamentos e inferências mais detalhadas, é indicado que se calculem os demais IVs destacados nesse trabalho. Ainda, é salientada a necessidade de realização de um estudo mais aprofundado e ao longo de toda o ciclo da canola para tentar identificar índices de vegetação que melhor representem a dinâmica foliar dessa cultura.

5. Referências

- CHAVARRIA, G.; TOMM, G. O.; MULLER, A.; MENDONÇA, H. F.; MELLO, N.; BETTO, M. S. Índice de área foliar em canola cultivada sob variações de espaçamento e de densidade de semeadura. **Ciência Rural**, v. 41, n. 12, p. 2084–2089, 2011.
- CHEN, J.; JÖNSSON, P.; TAMURA, M.; GU, Z.; MATSUSHITA, B.; EKLUNDH, L. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, n. 3-4, p. 332–344, jun. 2004.
- CONAB. **Séries históricas - Canola**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_10_11_15_41_40_canolaseriehist.xls>. Acesso em: 2 jul. 2014.
- EDWARDS, J.; HERTEL, K. **Canola growth and development**. [s.l.] NSW Department of Primary Industries, 2011. p. 90
- 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, n. 3, p. 289–298, dez. 1996.
- GITELSON, A. A.; VIÑA, A.; CIGANDA, V.; RUNDQUIST, D. C.; ARKEBAUER, T. J. Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. 8, p. 1–4, 2005.
- HABOUDANE, D.; MILLER, J. R.; PATTEY, E.; ZARCO-TEJADA, P. J.; STRACHAN, I. B. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, n. 3, p. 337–352, 15 abr. 2004.
- HUETE, A. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295–309, 1988.
- HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of {TM} images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440–451, 1997.
- JIANG, Z.; HUETE, A. R.; CHEN, J.; CHEN, Y.; LI, J.; YAN, G.; ZHANG, X. Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v. 101, n. 3, p. 366–378, abr. 2006.

JORDAN, C. F. Derivation of Leaf-Area Index from Quality of Light on the Forest Floor. **Ecology**, v. 50, n. 4, p. 663–666, 1 jul. 1969.

KAUFMAN, Y. J.; TANRE, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on**, v. 30, n. 2, p. 261–270, mar. 1992.

LI-COR. **Instruction Manual: LI-1800** Lincoln LI-COR, , 1991.

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. **Geocarto International**, v. 16, n. 1, p. 65–70, 1 mar. 2001.

MADDEN, H. H. Comments on the Savitzky-Golay convolution method for least-squares-fit smoothing and differentiation of digital data. **Analytical Chemistry**, v. 50, n. 9, p. 1383–1386, ago. 1978.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. DE. **Introdução ao processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2012.

NASA. **MODIS Specifications**. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>>. Acesso em: 8 dez. 2013.

NIED, A. H. **Parâmetros Bioclimáticos e Respostas da Canola ao Ambiente Físico**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 2. ed. São Paulo: [s.n.]. p. 176

REN, J.; CHEN, Z.; ZHOU, Q.; TANG, H. Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 10, n. 4, p. 403–413, dez. 2008.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. 1973.

THOMAS, P. **Canola: grower's manual**. Disponível em: <http://www.canolacouncil.org/canola_growers>. Acesso em: 16 out. 2013.

TOMM, G.; FERREIRA, P. Panorama atual e indicações para aumento de eficiência da produção de canola no Brasil. **Embrapa Trigo, Passo fundo**, 2009.

VINCINI, M.; FRAZZI, E.; D'ALESSIO, P. A broad-band leaf chlorophyll vegetation index at the canopy scale. **Precision Agriculture**, v. 9, n. 5, p. 303–319, 2008.