

Perfil temporal de NDVI da canola, medido com sensor óptico ativo, em função da adubação nitrogenada.

Daniele Gutterres Pinto¹
Denise Cybis Fontana²
Genei Antônio Dalmago²
Gilberto Rocca da Cunha²
Matheus Boni Vicari²
Elizandro Fochesatto²
Samuel Kowaleski²

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

²Universidade 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 - 99050-970 – Passo Fundo – RS, Brasil
genei.dalmago@embrapa.br

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA/Trigo
Caixa Postal 3081 - 99050-970 – Passo Fundo – RS, Brasil
gilberto.cunha@embrapa.br

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS/CEPSRM
Caixa Postal 96 - 13416-000 – Porto Alegre – RS, Brasil
matheus_boni_vicari@hotmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Caixa Postal 96 - 13416-000 – Porto Alegre - RS, Brasil
elizandrofochesatto@hotmail.com

²Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
CEP 99260-000 - Santa Maria – RS, Brasil
samtotes@hotmail.com

Abstract. The objective of this study was to evaluate the ability of NDVI, obtained by the Green Seeker sensor, for representing the variability of biomass in canola crops, in response to phenological stages and nitrogen fertilization doses. The experiment was conducted during the 2014 cropping season, in Rio Grande do Sul State, Brazil. The experimental design comprised randomized blocks in four replications, where treatments consisted of five levels of nitrogen: 10, 20, 40, 80, 160 kg per hectare. From measurements the variability of phenology in response to the NDVI was evaluated, by tracing the temporal profiles of NDVI. The NDVI values were low at beginning of the crop cycle, when the plants still showed small size and reduced number of leaves, and most of the soil surface was exposed. According to sowing dates, the values of NDVI increase up to maximum before the beginning of flowering. During the flowering period, the temporal profile of canola showed a distinct pattern in comparison to other cultivated plants, because the values presented an abrupt decrease. At beginning of grain filling the NDVI values increased again. There were no significant differences among levels of nitrogen fertilization. The NDVI obtained by Green Seeker sensor was able to represent the evolution of biomass in canola crops, as well as its evolution throughout different phenological periods. However, different doses of nitrogen fertilization did not caused changes in NDVI of canola.

Palavras-chave: vegetation index, reflectance, Green Seeker, índice de vegetação, reflectância, *Green Seeker*.

1. Introdução

A canola (*Brassica napus* var. oleífera) é uma planta oleaginosa pertencente a família brassicaceae. Foi obtida a partir do melhoramento genético convencional da colza, com o objetivo de diminuir o conteúdo de substâncias tóxicas aos homens e animais, como o ácido erúico e glucosinato (Iriate e Valetti, 2008). O nome canola deriva da abreviação dos termos Canadian Oil Low Acids (Edwards e Hertel, 2011). A produção de grãos da canola é basicamente destinada à fabricação de óleos vegetais comestíveis e para a produção de biodiesel, sendo que as sementes possuem de 30 a 45% de óleo. O resíduo da extração de óleo, o farelo de canola, pode ser destinado à alimentação animal, contendo em torno de 34 a 38% de proteínas. A canola é uma opção de cultivo no período de outono/inverno, já que no Rio Grande do Sul a área cultivada no período de primavera/verão é muito superior à área cultivada no outono/inverno, quando boa parte das áreas cultiváveis fica ociosa, podendo ser utilizada na rotação de culturas com o trigo (Tomm et al, 2009). Devido a importância do cultivo da canola com a crescente demanda por seus produtos bem como a possibilidade de expansão da área cultivada, é muito importante a geração de conhecimento a respeito da cultura e definição das técnicas de cultivo mais adequadas e que otimize o rendimento de grãos de canola. Neste sentido, técnicas de sensoriamento remoto podem contribuir para avançar no entendimento das relações clima-planta, especialmente no que se refere à representatividade espacial das mesmas, desde que estas técnicas estejam bem calibradas e adaptadas para os sistemas de produção local da canola.

Os vegetais apresentam resposta espectral particular, distinta dos demais alvos, absorvendo grande parte da radiação incidente nas bandas do visível (400 a 700 nm) e refletindo no infravermelho próximo (700 a 1300 nm) (Ponzoni et al, 2012). Este padrão de resposta espectral dos dosséis vegetais pode sofrer alterações decorrentes de diversos fatores ambientais, como deficiência hídrica, incidência de doenças, deficiência nutricional especialmente de nitrogênio.

A reflectância do dossel, capacidade de um determinado alvo em refletir a radiação eletromagnética que nele incide (Ponzoni et al. 2012), pode ser alterada pela disponibilidade de nitrogênio (Serrano, 2000). A adubação nitrogenada promove um decréscimo na reflectância do vermelho e aumenta a reflectância no infravermelho próximo (Serrano, 2000). Isso acontece, pois há uma relação direta entre teor de nitrogênio e quantidade de clorofila nos tecidos foliares. As clorofilas a e b juntamente com os carotenóides e as xantofilas são pigmentos que absorvem a radiação nas bandas do vermelho e azul para a realização da fotossíntese. Conforme aumenta o teor de nitrogênio, aumenta a quantidade de clorofila nas folhas, diminuindo a reflectância no vermelho (Daughtry et al. 2000, Souza et al, 2009).

Tendo como base os princípios físicos de interação da radiação com a vegetação, foram desenvolvidos sensores remotos adaptados para monitorar a adubação nitrogenada das culturas em taxa variável, salientando-se o *Doctor Soil, N-Sensor, Crop Circle e Green Seeker*. A utilização de sensores para este fim trás vantagens como a rapidez na obtenção dos dados de lavouras, a ausência de destruição das amostras e o uso otimizado dos insumos (Singh et al. 2006).

O *Green Seeker* foi desenvolvido na década de 1990 pela Universidade de Oklahoma, no entanto a tecnologia foi disponibilizada somente em 2001, pela *N-Tech Industries*. É um sensor ativo que emite radiação nos comprimentos de onda 650 nm (vermelho) e 770 nm (infravermelho próximo). A fração da radiação refletida pelo dossel, nos dois comprimentos

de onda, é medida pelo sensor e utilizada para o cálculo do seu produto, o NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) (Singh et al. 2006).

O NDVI foi proposto por Rouse et al. (1973) e até hoje vem sendo amplamente utilizado em diferentes abordagens que abrangem estudos climáticos, florestais e de culturas agrícolas. É calculado pela razão da diferença e da soma das reflectâncias do infravermelho próximo e vermelho (Equação 1).

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: ρ_{IVP} é a reflectância no infravermelho próximo; ρ_V é a reflectância no vermelho.

Os dados de NDVI obtidos utilizando o *Green Seeker* permitem analisar, com alto grau de controle e detalhe, a resposta das plantas aos fatores determinantes do crescimento e desenvolvimento vegetal. Este conhecimento, por sua vez, possibilita, além das aplicações no contexto da agricultura de precisão, também a melhoria na interpretação de dados obtidos por sensores a bordo de plataformas orbitais.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade do NDVI, obtido com sensor *Green Seeker*, em representar a variabilidade da biomassa em lavouras de canola em resposta à fenologia e à adubação nitrogenada.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido na safra de 2014, em uma área experimental da EMBRAPA Trigo, situada no município de Coxilha no Rio Grande do Sul, localizada sob as coordenadas geográficas 28° 11' 40" S 52° 10' 20" W, a 689 m de altitude.

O clima da região é do tipo Cfa, o tipo predominante no Estado, segundo a classificação climática de Köppen, onde a letra "C" indica clima subtropical ou temperado; a letra "f" indica que a precipitação pluvial é razoavelmente bem distribuída ao longo do ano; e a letra "a" indica verão quente com temperatura do ar do mês mais quente superior a 22°C (Köppen, 1948). Segundo Cordeiro (2010), a média anual da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul é de 1.672 mm.

O solo predominante na região é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico húmico, caracterizado por possuir boa drenagem, ser profundo a muito profundo e possuir aptidão para cultivos anuais (Streck et al, 2008).

Para a implantação do experimento foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições, sendo que os tratamentos consistiram em cinco doses de nitrogênio: 10, 20, 40, 80, 160 kg por hectare (Figura 1). A semeadura ocorreu no dia 29 de abril, tendo sido utilizado a cultivar Hyola 61, com espaçamento de 34 cm entre linhas e densidade de semeadura mínima de 40 plantas por m². A adubação de base foi calculada a partir das necessidades da cultura e com a análise do solo, visando um rendimento de grãos mínimo de 1.500 kg por hectare. A adubação de cobertura foi realizada com uréia e seguiu os tratamentos com as diferentes doses de nitrogênio sendo que nos tratamentos de 80 e 160 kg de nitrogênio por hectare as doses foram parceladas em duas e três aplicações, respectivamente.

As medições, com o *Green Seeker* (Figura 2), ocorreram a cada 15 dias aproximadamente totalizando 10 medições, tendo a primeira medição sido realizada no dia 20/05. As medições foram tomadas a uma distância de 0,8 m acima do dossel, com caminhamento em linha reta dentro das parcelas e sobre uma linha de plantas previamente marcada.

A partir das medições foi avaliada a variabilidade do NDVI em resposta à fenologia, através do traçado dos perfis temporais de NDVI. As avaliações fenológicas ocorreram a cada 15 dias aproximadamente, o critério foi que pelo menos 50 % das plantas da parcela estivessem em determinado período fenológico para a caracterização do mesmo.

A variabilidade relacionada aos níveis de adubação nitrogenada da canola foi testada a partir da análise de variância ou teste f e as médias comparadas através do teste Tukey com nível de significância 10%.

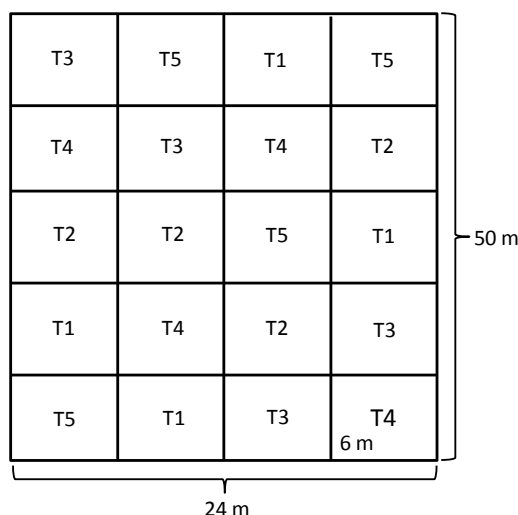


Figura 1. Croqui da área experimental, delineado em blocos casualizados apresentando 4 blocos e 5 tratamentos (T1=10; T2=20; T3=40; T4=80 e T5=160 kg ha⁻¹). Passo Fundo, RS, safra 2014.



Figura 2. Sensor ativo *Green Seeker*, com os seus componentes. Adaptado de GROHS, 2008.

3. Resultados e Discussão

O NDVI obtido com o *Green Seeker* mostrou sensibilidade às variações fenológicas da canola. O perfil temporal médio (média de todos os tratamentos) do NDVI (Figura 3), apresentou características semelhantes aos perfis temporais das lavouras anuais, como os encontrados por Junges (2011) em trigo e Klering (2012) em arroz. Os valores do NDVI próximo à semeadura foram baixos, neste período as plantas ainda apresentavam porte baixo e número reduzido de folhas, além disto, o solo da entrelinha estava exposto fazendo com que os valores do NDVI fossem baixos. A partir da data de semeadura, com o crescimento das

plantas e incremento de biomassa (Figuras 3 e 4A), os valores do NDVI aumentam até atingir o seu máximo antes do período de florescimento, quando o índice de área foliar foi também máximo. O maior valor observado foi 0,80 antes do período de florescimento. Este valor foi semelhante ao máximo medido por Holzapfel et al. (2009), de 0,82 em canola, também com sensor ativo. No trigo o valor máximo encontrado por Grohs et al. (2008) foi 0,87, superior ao encontrado na canola neste trabalho.

Durante o período de florescimento, a partir de 16/07 (Figuras 3 e 4B), o perfil temporal da canola apresentou padrão distinto das demais plantas cultivadas, tendo os valores apresentado um decréscimo abrupto. Segundo Thomas (2003), isto ocorre porque no pico do florescimento a canola produz uma camada de flores de coloração amarela intensa, com espessura em torno de 30 cm, aumentando a reflectância da radiação visível. Além disto, as flores são capazes de refletir cerca de 60% da radiação solar que inside no dossel e que poderia ser utilizada por estruturas fotossinteticamente ativas da planta.

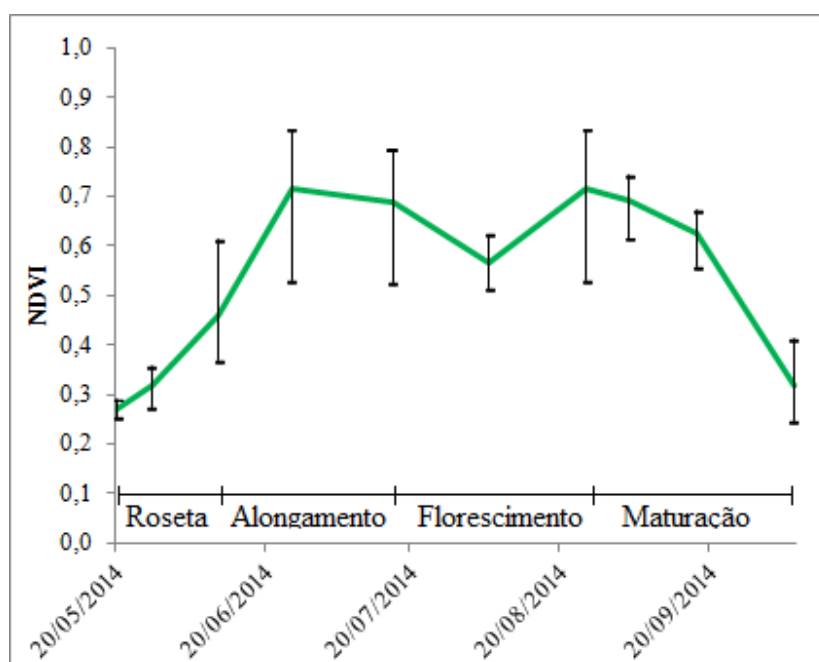


Figura 3. Perfil médio de NDVI da canola, (médias das vinte parcelas em cada data de medição), as barras indicam o mínimo e o máximo valor medidos.



Figura 4. Padrão visual da lavoura de canola em diferentes fases fenológicas (A) período de alongamento, (B) período de florescimento e (C) período de maturação dos grãos.

Quando inicia o período de enchimento de grãos (Figuras 3 e 4C), próximo a data 27/08, os valores do NDVI voltam a aumentar, chegando próximo dos valores de antes do período de

florescimento. Isso se deve a queda das flores, que refletem parte da radiação visível, como também pela interceptação e absorção da radiação solar pelas estruturas reprodutivas as siliquas, diminuindo o reflectância no visível. Segundo Nied (2013), a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa por essas estruturas (siliquas) no dossel de canola pode chegar a 80% da interceptação total do dossel e segundo Thomas (2003) 80% da fotossíntese realizada pelas plantas durante este período ocorre nas estruturas reprodutivas (siliquas). No final do ciclo os valores do NDVI decaem por ocasião da senescência das plantas.

Na Figura 5 estão apresentados os perfis temporais médios de NDVI considerando os níveis de nitrogênio. Houve diferenças visuais na amplitude do índice entre os tratamentos, o que foi mais evidente nos dois picos máximos do índice, antes e após o período de florescimento. O perfil que apresentou os menores valores no primeiro pico, dia 25/06, foi o tratamento de 10 kg de nitrogênio por hectare com valor igual a 0,62, em contraste o perfil que apresentou os maiores valores no primeiro pico foi o tratamento de 160 kg de nitrogênio por hectare com valor igual a 0,80. No segundo pico, dia 25/08, o menor valor 0,66 foi no tratamento de 20 kg de nitrogênio por hectare, em contraste com o tratamento de 160 kg de nitrogênio por hectare com valor igual a 0,80. Estes resultados concordam com os encontrados por Souza *et al.*, (2009) que verificou que ao aplicar doses crescentes de nitrogênio em milho os índices de vegetação aumentaram. Isso ocorreu porque as plantas com maior nível de adubação nitrogenada responderam aumentando a absorção no visível (maior reflectância) e aumentando a reflectância no infravermelho próximo. Resultados semelhantes também foram encontrados por Fonseca *et al.* (2002) em experimento com doses crescentes de nitrogênio em *Paspalum notatum*. As plantas com maiores níveis de nitrogênio apresentaram menor reflectância na região do visível do espectro (400 a 700 nm). Na região do infravermelho próximo (700 a 950 nm) ocorreu o oposto, os maiores valores de reflectância ocorreram em resposta aos maiores níveis de nitrogênio.

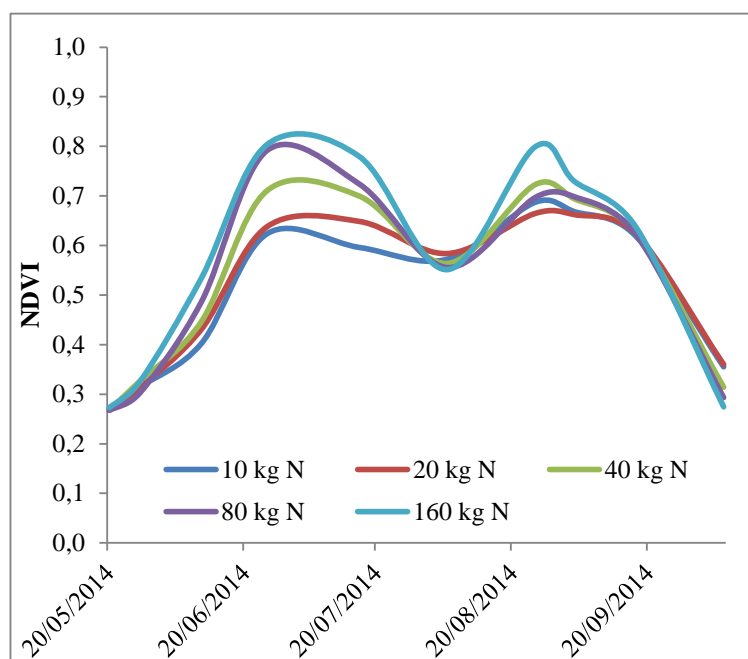


Figura 5. Perfis temporais de NDVI da canola por tratamento (10; 20; 40; 80 e 160 kg.N⁻¹).

Apesar de os perfis temporais de NDVI apresentarem-se diferentes entre si, não houve diferenças estatísticas significativas entre os valores de NDVI medidos para efeito de diferentes tratamentos (níveis de adubação nitrogenada). Apenas houve diferença estatística

significativa na interação data de medição e tratamento, pontualmente na data 07/10 o NDVI do tratamento de 160 kg de nitrogênio por hectare foi superior ao NDVI do tratamento 10 kg de nitrogênio por hectare.

Visto que o NDVI variou de acordo com as fases fenológicas da canola é possível a utilização destes dados em sistemas de monitoramento da cultura, como indicativo na construção de máscaras de cultivo e para alimentar modelos de rendimento de safra.

4. Conclusão

O NDVI obtido com sensor *Green Seeker* foi capaz de representar a evolução da biomassa da canola em função dos diferentes períodos fenológicos. No entanto as diferentes doses de adubação nitrogenada não causaram alterações no NDVI da canola.

5. Referências Bibliográficas

- CORDEIRO, A. P. A. **Tendências climáticas das variáveis meteorológicas originais, estimadas e das derivadas do balanço hídrico seriado do Rio Grande do Sul**. 2010. 273 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- DAUGHTRY, C. S. T. et al. Estimation corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote Sensing and Environment**, New York, v. 74, p. 229-239, 2000.
- EDWARDS, J.; HERTEL, K. **Canola Growth and Development**. 2011. Disponível em: <http://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0007/448450/Canola-growth-and-development.pdf>. Acesso em: 01.ago. 2013.
- FONSECA, E. L. et al. Caracterização espectral de *Paspalum notatum* em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 3, p. 365-371, mar. 2002.
- GROES, D. S. **Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada pelo índice de vegetação por diferença normalizada**. 2008. 124 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- KLERING, E. V. **Mapeamento da área cultivada e estimativa do rendimento de grãos de arroz irrigado a partir de modelos agrometeorológicos-espectrais para o Rio Grande do Sul**. 2012. 161 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- IRIARTE, L. B.; VALETTI, O. E. **Cultivo de Colza**. Buenos Aires: Inst. Nacional de Tecnologia Agropecuária, 2008. 156 p.
- JUNGES, A. H. **Distribuição espacial e temporal do cultivo de trigo no Rio Grande do Sul e ajustes de modelos agrometeorológico-espectral para estimativa de rendimento de grãos**. 2011. 173 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- KÖPPEN, W. **Climatología**. Mexico, DF: Fondo de Cultura Económica, 1948. 71 p.
- NIED, A. H. **Parâmetros bioclimáticos e resposta da canola ao ambiente físico**. 2013. 135 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- NTCH INDUSTRIES. **Green Seeker Manuals Downloads**. Disponível em: <<http://www.ntechindustries.com/greenseeker-manual.html>>. Acesso em: 29. out. 2014.
- PONZONI, F. J. et al. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2ª Edição. Cubatão: Oficina de Textos, 2012. 160 p.
- SERRANO, L. et al. Remote Sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. **Crop Science**, Madison, v. 40, p. 723-731, 2000.
- SINGH, I. et al. Crop sensors for efficient nitrogen management in sugarcane: potential and constraints. **Sugar Tech**, v. 8, p. 299-302, 2006.
- STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª Edição. Porto Alegre: EMATER/RS – ASCAR, 2008, 220 p.
- SOUZA, E. G. et al. Índices de vegetação no milho em função da hora do dia e da taxa de nitrogênio aplicada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 13, p. 865-872, 2009.
- THOMAS, P. 2003. **CANOLA: grower's manual**. Winnipeg: Canola Council of Canada, 2003. Disponível em: <<http://www.canolacouncil.org/crop-production/canola-grower's-manual-contents/chapter-2-canola-varieties/canola-varieties#brassica>>. Acesso em: 01 jul. 2014.
- TOMM, G. O. et al. **Tecnologias para a produção de canola no Rio Grande do Sul. Passo Fundo**: Embrapa Trigo, 2009. 87 p.

