



DINÂMICA TEMPORAL DO PADRÃO ESPECTRAL DA CANOLA AO LONGO DO CICLO DA CULTURA.

Daniele G. Pinto¹, Matheus B. Vicari², Denise C. Fontana³, Genei A. Dalmago⁴, Gilberto R. da Cunha⁵, Jorge A. de Gouvêa⁶, Samuel Kovaleski⁷, Elizandro Fochesato⁸, Anderson Santi⁹

¹ Eng. Agrônoma, Mestranda em Fitotecnia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, bolsista CNPq. E-mail: daniele.gutterres@gmail.com.

² Eng. Ambiental, Mestrando em Sensoriamento Remoto, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, bolsista CNPq.

³ Eng. Agrônoma, Dra. Professora da UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, Bolsista PQ2 CNPq.

⁴ Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador da EMBRAPA Trigo, Passo Fundo, RS, Brasil, Bolsista PQ2 CNPq.

⁵ Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador da EMBRAPA Trigo, Passo Fundo, RS, Brasil, Bolsista DT1 CNPq.

⁶ Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador da EMBRAPA Trigo, Passo Fundo, RS, Brasil.

⁷ Eng. Agrônomo, Mestrando em Engenharia Agrícola da UFSM. Santa Maria, RS, Brasil, Bolsista Capes.

⁸ Eng. Agrônomo, Mestrando em Fitotecnia da UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil, Bolsista FAPERGS.

⁹ Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador da EMBRAPA Trigo, Passo Fundo, RS, Brasil.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica temporal do padrão espectral da canola ao longo do ciclo fenológico da cultura, por meio de dados obtidos com espectrorradiometria de campo. O experimento foi conduzido na safra de 2013, na área experimental da EMBRAPA Trigo. O genótipo de canola utilizado foi o híbrido Hyola 61, com espaçamento entre linhas de 34 cm e a densidade de 40 plantas por m². As medições radiométricas foram tomadas a uma distância de 1 m acima do dossel em 4 pares de espectros da amostra (dossel) e da placa de referência. A partir das medidas de radiância do dossel e da placa de referência foi calculada a reflectância do dossel. As curvas de reflectância da canola possuem característica de curvas de reflectância típicas de vegetação. Durante a fase de alongamento (período vegetativo), a canola apresentou baixa reflectância na região visível, enquanto que no infravermelho próximo a canola refletiu cerca de 60% da radiação solar incidente no dossel. No florescimento (período reprodutivo) houve um acréscimo na reflectância na região do visível nas bandas do vermelho, do verde e do amarelo. No infravermelho próximo houve decréscimo na reflectância. Durante a fase de maturação (período reprodutivo), a reflectância do dossel na região do visível sofreu um decréscimo em relação ao período anterior nas bandas do vermelho, do verde e do amarelo respectivamente. Na região do infravermelho próximo a reflectância continuou diminuindo em relação a fase de alongamento. Desta forma, verifica-se que o ciclo fenológico afeta o padrão espectral da canola.

PALAVRAS CHAVE: reflectância, espectrorradiometria, fenologia.

INTRODUÇÃO

Devido à importância do cultivo da canola e a possibilidade de expansão da área cultivada com a mesma, é necessária a geração de conhecimento científico a respeito da cultura. Neste sentido técnicas de sensoriamento remoto podem ser empregadas, para fins de mapeamento, monitoramento e modelagem, desde que as técnicas estejam bem calibradas e levem em consideração os sistemas de produção locais e suas características. Isso é plenamente

possível, pois as mesmas já foram testadas e avaliadas com outras culturas como feijão (MONTEIRO et al., 2012), cereais de inverno (JUNGES, 2011).

Essencial nestes estudos é o conhecimento da reflectância espectral do alvo, que representa a capacidade que o alvo possui de refletir a radiação eletromagnética que incide sobre o mesmo. A reflectância está relacionada com as características físico-químicas do alvo, bem como, à geometria da incidência e reflexão da radiação solar determinando o padrão espectral do alvo (PONZONI, 2012).

Este padrão pode ser representado graficamente em faixas de comprimento de onda bem estreitas e adjacentes, expressando de forma detalhada, o resultado da interação da energia radiante com o alvo em estudo (STEFFEN & MORAES, 1993). A radiação eletromagnética interage com os vegetais principalmente através das folhas, que a utilizam para o processo da fotossíntese. Este processo é fundamentado na absorção da radiação solar pelos pigmentos fotossintetizantes, como as clorofilas, xantofilas e carotenos. Os pigmentos fotossintetizantes absorvem os comprimentos de onda do espectro eletromagnético na região do visível (400 a 720 nm). No entanto os comprimentos de onda referentes ao infravermelho próximo (720 a 1.100 nm) são grandemente refletidos pelos vegetais (PONZONI *et al.*, 2012). Dado que existe alta correlação inversa entre a absortância e a reflectância da vegetação, e dada a facilidade de obtenção da reflectância de forma remota, a reflectância tem sido extensamente utilizada para fins de inferência sobre a presença e o vigor da vegetação.

Como todas as plantas anuais a canola tem o seu ciclo de desenvolvimento descrito por uma escala fenológica. Segundo Iriarte e Valetti, 2008, o ciclo da canola é dividido em 5 fases: germinação, roseta, alongamento, florescimento e maturação. Essas fases ainda são subdivididas em subperíodos. Partindo da premissa de que ocorrem mudanças físicas e estruturais no dossel ao longo destas fases, as quais podem alterar o padrão espectral da cultura, definiu-se como o objetivo para este trabalho avaliar a dinâmica temporal do padrão espectral da canola ao longo do ciclo fenológico, através de dados obtidos com espectrorradiometria de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na safra de 2013, na área experimental da EMBRAPA TRIGO, no município de Coxilha, (28° 11' 40"S 52° 10' 20"W, a 689m de altitude). O clima da região é do tipo Cfa, segundo a classificação climática de Köppen (KÖPPEN, 1948). 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).

O genótipo de canola utilizado foi o híbrido Hyola 61 e foi semeado no dia 30 de abril com semeadora de parcelas. O espaçamento entre linhas foi de 34 cm e a densidade de semeadura mínima foi de 40 plantas por m². A adubação de base foi calculada a partir das necessidades da cultura e dos resultados da análise do solo, visando um rendimento de grãos mínimo de 1.500 kg ha⁻¹. A adubação de cobertura foi realizada com uréia, totalizando uma dose de 80 kg de nitrogênio por hectare.

As medições radiométricas foram realizadas utilizando o espectrorradiômetro LI-1800 da marca LICOR, que possui resolução radiométrica de 2 nm e resolução espectral de 300 a 1.100 nm. As mesmas foram feitas em dias com céu livre de nuvens, no período entre 11 e 13 horas, momento em que o sol está mais próximo do zênite. As medidas foram tomadas a uma distância de 1 m acima do dossel em 4 pares de espectros da amostra (dossel) e da placa de referência. A placa de referência foi uma superfície lambertiana de sulfato de bário (BaSO₄) a qual reflete totalmente a radiação, em todos os comprimentos de onda.

A partir das medidas de radiância do dossel e da placa de referência foi calculada a reflectância do dossel (equação 1). A mesma pode variar de 0 a 1, onde 0 significa que 0% da radiação está sendo refletida e 1 significa que 100% da radiação está sendo refletida. A reflectância do dossel foi representada graficamente em 3 fases fenológicas: alongamento, florescimento e maturação da canola.

$$\rho = \frac{\rho_{amostra}}{\rho_{referência}} \quad (1)$$

Onde: ρ corresponde a reflectância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise geral das curvas de reflectância da canola (Figura 1) mostram características típicas de vegetação, com baixa reflectância da radiação do visível (400 a 720 nm) e aumento gradual no infravermelho próximo (720 a 1.100 nm). Segundo Ponzoni et al. (2012), a menor reflectância da vegetação na região do visível ocorre pela alta absorção da radiação pelos pigmentos fotossintetizantes (clorofilas a e b, carotenoides e xantofilas), sendo que apenas a clorofila absorve na região do vermelho (645 nm), enquanto na região do azul (445 nm) todos os pigmentos absorvem a energia radiante. A energia absorvida é utilizada nos processos de fotossíntese, assim como também pode ser convertida em calor e fluorescência. Na região do infravermelho próximo observa-se um incremento da reflectância em relação à reflectância no visível, em todas as datas, sendo que cerca de 40 a 60% da radiação incidente é espalhada, este processo de espalhamento pode ser subdividido em dois processos: reflexão e transmissão, ou seja, o feixe de radiação pode ser imediatamente refletido ou pode ser transmitido para as camadas inferiores do dossel (PONZONI, 2002). A energia que foi transmitida pelas folhas superiores para as camadas inferiores do dossel, ainda pode ser refletida pelas folhas do extrato inferior, incrementando a reflectância, este mecanismo é conhecido como mecanismo de múltiplas camadas (KNIPLING, 1970; PONZONI, *et al.*, 2012; ALMEIDA, 2008).

Apesar do padrão similar, observam-se diferenças entre as datas de medição. Durante a fase de alongamento (período vegetativo – 15/07), quando as plantas ainda não apresentavam estruturas reprodutivas formadas, a reflectância da canola foi baixa na região visível. Na banda do azul (445 nm), verde (540 nm), amarelo (600 nm) e vermelho (645 nm) o dossel refletiu 2,5%, 8,6%, 5,8% e 4,0% da radiação total incidente, respectivamente. As plantas parecem verdes aos nossos olhos como consequência da maior reflectância no verde em relação as demais bandas do visível. Na região do infravermelho próximo a canola refletiu cerca de 60% da radiação incidente no dossel, consequência dos fenômenos de espalhamento e múltiplas camadas, sendo a maior entre as medições.

Durante a fase de florescimento (período reprodutivo - 30/08), houve um acréscimo na reflectância na região do visível de 10%, 53% e 100%, nas bandas do verde, do amarelo e do vermelho respectivamente. No verde houve um acréscimo na reflectância da radiação total incidente de 0,8, no vermelho 4,1 e no amarelo 3,1 pontos percentuais. Segundo Thomas (2008), 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 ou absorver cerca de 60% da radiação solar que inside no dossel e que poderia ser utilizada por estruturas fotossinteticamente ativas da planta. No infravermelho próximo houve um decréscimo na reflectância de 24%, possivelmente devido a diminuição do índice de área foliar. Segundo Nied (2013), o IAF começa a decair a partir do terço final do florescimento até o enchimento de

grãos. Neste período as folhas são gradativamente cobertas pelas estruturas reprodutivas (hastes, flores e síliquas) aumentando a contribuição da fotossíntese realizada por estas estruturas para o enchimento de grãos (MOGENSEN et al., 1997).

Durante a fase de maturação das síliquas e grãos, ainda no período reprodutivo (26/09), a reflectância do dossel na região do visível sofreu um decréscimo em relação ao período anterior de 44%, 76% e 114%, nas bandas do verde, do amarelo e do vermelho respectivamente, voltando a ser semelhante à reflectância durante a fase de alongamento. Isso se deve a queda das flores após a fase de florescimento, que refletiam parte da radiação nestas bandas, como também pela interceptação e absorção da radiação solar pelas estruturas reprodutivas. Segundo Nied, 2013 a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa por essas estruturas no dossel de canola pode chegar a 80% da interceptação total do dossel. Além disto a fotossíntese realizada pelas estruturas reprodutivas pode representar até 80% do total realizado pela planta no período de maturação dos grãos (THOMAS, 2003). Na região do infravermelho próximo a reflectância também diminuiu, chegando a um decréscimo da ordem de 34%, em relação a fase de alongamento. Isso ocorre porque o IAF diminui durante o enchimento de grãos e, apesar de as síliquas e as hastes apresentarem grande interação com radiação eletromagnética, a interação com a radiação solar na região do infravermelho próximo está muito relacionada à estrutura interna das folhas. Segundo Gates et al. (1965), a reflectância das folhas na região do infravermelho próximo é resultado da interação da radiação com o seu mesófilo. Portanto, com a diminuição do IAF diminui a quantidade deste tecido no dossel capaz de interagir fortemente com a radiação nesta banda, diminuindo a reflectância. A evolução da reflectância ao longo do ciclo biológico da cultura está representada graficamente na figura 1b.

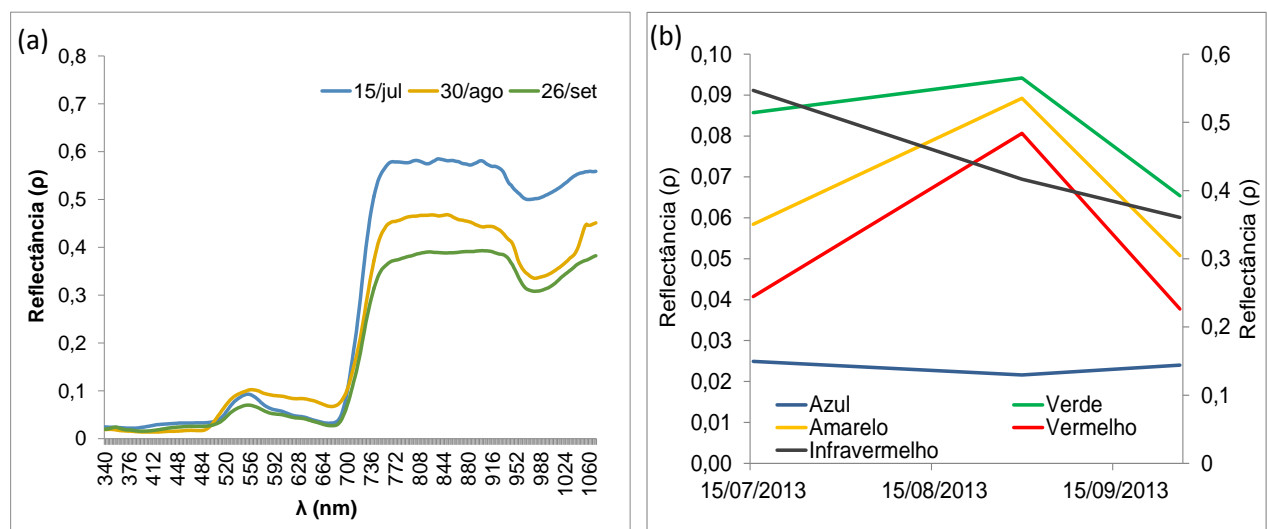


Figura 1: (a) Curvas de reflectância da cultura da canola em 3 fases distintas do ciclo de desenvolvimento: alongamento (15/jul), florescimento (30/ago) e maturação (26/set). (b) Reflectância por comprimentos de onda específicos nas bandas do visível e infravermelho próximo, em três datas de medições .

CONCLUSÃO

As alterações físicas e estruturais do dossel ocorridas ao longo do ciclo fenológico, tendo destaque as ocorridas durante a fase de florescimento que diferenciam a canola das demais plantas cultivadas, afetam o padrão espectral da cultura da canola ao longo do desenvolvimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, T. S. **Respostas espectrais da soja sob diferentes condições hídricas e de preparo do solo**. 2008. 90-f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

GATES, D. M.; KEEGAN, H. J.; SCHLETER, J. C.; WEIDNER, V. R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, v.4, n.1, p.11-20, 1965.

IRIARTE, L. B.; VALETTI, O. E. **Cultivo de colza**. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária – INTA, 2008. 156p.

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) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. México, DF: Fondo de cultura económica, 1948. 71p.

KNIPLING, E. B. (1970). Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v.1, n.2, p.155-159.

MOGENSEN, V. O.; JENSEN, C. R.; MORTENSEN, G.; ANDERSEN, J. K.; SCHJOERRING, J. K.; THAGE, J. H.; KORIBIDIS, J. Pod photosynthesis and drought adaptation of field grown rape (*Brassica napus*). *European Journal of Agronomy*, Montrouge Cedex, v.6, p.295-307, 1997.

MONTEIRO, P. F. C.; FILHO, R. A.; XAVIER, A. C.; MONTEIRO, R. O. C. Assessing biophysical variable parameters of bean crop with hyperspectral measurements. **Scientia Agricola**, v.69, n.2, p.87-94, 2012.

NIED, A. H. **Parâmetros bioclimáticos e resposta da canola ao ambiente físico**. 2013. 135f. Tese. (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnóstico a Mata Atlântica**. Disponível em: < http://ecologia.ib.usp.br/lepac/bie5759/CAP8_FJPonzoni.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2014.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2ª Edição. Cubatão: Oficina de Textos, 2012. 160 p.

RAYMER, P. L. **CANOLA: An Emerging Oilseed Crop**. Trends in new crop and new uses. 2002. ASHS Press, Alexandria, VA.

STEFFEN, C. A.; MORAES, E. C. Tutorial de radiometria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Latino-Americana de Sensoriamento Remoto/INPE, 1993. p.2-12.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. E. 2ª Edição. Porto Alegre: EMATER/RS – ASCAR, 2008, 220p.

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.

VALETTI, O. E. **O Cultivo de Colza Canola**. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária - INTA, 2008. 156p.