

Área foliar e comportamento espectral de cultivares de soja sob distintos arranjos de plantas.

Rio, A.¹; Sibaldelli, R. N. R.²; Crusiol, L. G. T.³; Carvalho, J. F. C.⁴; Ferreira, L. C.⁵; Neiverth, W.⁶; Almeida, A.M.R.⁷; Procopio, S.O.⁷; Neumaier, N.⁷; Nepomuceno, A.L.⁷; Farias, J. R. B.⁷

¹Mestrando USP/ESALQ Bolsista CAPES, Embrapa Soja, Londrina, Paraná; ² Mestrando UTFPR, Embrapa Soja, Londrina, Paraná; ³Bolsista CNPq/PIBIC, Embrapa Soja, Londrina, Paraná; ⁴Pós Doutoranda/CAPES, Embrapa Soja, Londrina, Paraná; ⁵Pós Doutorando/CNPq, Embrapa Soja, Londrina, Paraná; ⁶Bolsista CNPq/DTI-C, Embrapa Soja, Londrina, Paraná; ⁷Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, Paraná. e-mail: alexandre@cnpsa.embrapa.br

Introdução

Estresses abióticos como a seca, excesso de chuvas, temperaturas extremas (altas ou baixas) e baixa luminosidade, podem reduzir significativamente rendimentos das culturas no campo e restringir os locais, as épocas e os solos onde espécies comercialmente importantes podem ser cultivadas. Dos elementos climáticos, a temperatura, o fotoperíodo, a disponibilidade hídrica e a radiação solar são os que mais afetam o desenvolvimento e a produtividade da soja (FARIAS et al., 2007).

A radiação solar é uma forma de radiação eletromagnética e, quando disposta de acordo com seus comprimentos de onda ou frequências, forma um arranjo contínuo, conhecido como espectro eletromagnético (ECHER e SOUZA, 2001). A radiação solar, além de fornecer energia luminosa para a fotossíntese, também afeta diversos processos fisiológicos da soja, sendo um fator fundamental para determinar o crescimento da planta.

O Índice de área foliar (IAF) é definido como a razão da área foliar com a área de terra ocupada pela copa da planta; é, portanto um índice adimensional (BENINCASA, 2003). De acordo com Lei de Beer, a penetração da luz direta é descrita por um exponencial negativo em função da densidade da área foliar integrada ao longo do percurso do feixe de energia solar no interior do dossel. Assim, esta lei tem grande aplicação em problemas atmosféricos que envolvam valores de radiação solar direta. As estimativas de área foliar têm como base os mesmos princípios desta lei, pois acredita-se que a localização das folhas está distribuída aleatoriamente na copa. A Lei de Beer tem grande aplicação em problemas atmosféricos que envolvam valores de radiação solar direta (STENBERG et al., 1994).

É relevante o desenvolvimento de estudos que possibilitem o monitoramento das condições de desenvolvimento das plantas na região onde se concentra a produção. Neste sentido, uma das alternativas interessantes consiste no uso de técnicas de sensoriamento remoto, aos quais permitem um estudo em escala regional e com adequada periodicidade. Na literatura são abundantes os trabalhos desenvolvidos neste tema, mostrando a contribuição de imagens de satélite em um sistema de previsão de safras, tanto para estimativa de área cultivada como para o acompanhamento da evolução temporal das plantas (ALMEIDA et al., 2005).

O monitoramento de culturas agrícolas por imagens de satélites tem sido feito por meio dos índices de vegetação, definidos como combinações de dados espectrais de duas ou mais bandas (MOREIRA, 2000). Dentre os índices de vegetação comumente citados na literatura, o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) tem sido o mais frequentemente utilizado,

inclusive para atividades de monitoramento global (Sellers et al, 1994), bem como na análise do comportamento espectral de genótipos de soja em diferentes condições hídricas (CRUSIOL et al., 2013) e diferentes horários do dia (CRUSIOL et al., 2012).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a Relação entre o Índice de Área Foliar (IAF) e o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) em cultivares de soja, de tipo de crescimento determinado e indeterminado, e em condições de diferentes arranjos de plantas.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na fazenda experimental da Embrapa Soja (latitude 23°11'44" S; longitude: 51°10'35" W; altitude: 598 m), no município de Londrina, PR, safra primavera/ verão, no período entre novembro de 2011 e fevereiro de 2012. O clima da região é subtropical úmido de verão quente, Cfa, conforme a classificação de Köppen. Foram utilizadas as cultivares de soja BRS 294 RR, de tipo de crescimento determinado e BMX Turbo RR, de tipo de crescimento indeterminado.

As parcelas de 6m x 6m, foram semeadas com população normal recomendada para a cultura da soja, casualizadas em três blocos. As duas cultivares foram conduzidas em três arranjos de semeadura: com espaçamento entre linhas de 19cm (19), espaçamento de 38cm (38) e espaçamento entre linhas alternados (19x38) (filas duplas espaçadas de 19cm e 38cm entre as fileiras duplas).

O IAF foi medido por um sensor (LI-2050 LI-COR) com anel concêntrico de 90 graus de abertura, acoplado a um datalogger (LI-2000 LI-COR), conforme as recomendações de operação LI-2000 (1992). As leituras foram realizadas no estádio reprodutivo R1 da cultura, em dois pontos no interior de cada parcela e em duas alturas, rente ao solo (em três pontos) e 20cm acima do dossel.

A quantidade de folhagem em um dossel vegetativo pode ser deduzida a partir de medições de quão rapidamente a radiação é atenuada, uma vez que esta passa através da cobertura de plantas. O LAI-2000 mede a atenuação da radiação difusa do céu em cinco ângulos zenitais simultaneamente, utilizando o sensor ótico LAI-2050 projetado para medir através de seu ponto ótico quase hemisférico com detectores dispostos em anéis concêntricos (LI-COR, 1992).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (ROUSE et al., 1973) foi medido com o aparelho GreenSeeker 505 HandHeld Sensor, onde o índice é calculado a partir da seguinte equação:

$$NDVI = \frac{(\rho_{iv} - \rho_v)}{(\rho_{iv} + \rho_v)}$$

Onde: ρ_{iv} é a reflectância no infravermelho próximo (compatível com a banda do visível: 630 e 690nm); ρ_v é a reflectância na faixa do vermelho visível (compatível com a banda do visível: 760 e 900nm).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância, através do programa computacional Sisvar 5.3.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 encontram-se apresentados os valores de IAF e NDVI, das cultivares BRS 294 RR e BMX Turbo RR, submetidas aos diferentes arranjos de plantas.

Tabela 1. Índice de Área Foliar (IAF) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), obtidos em duas cultivares de soja (BRS 294 RR e BMX Turbo RR) cultivada em três espaçamentos (19; 38 e 19x38 cm). Embrapa Soja, Londrina-PR, 2012.

Cultivar	19		38		19 x38		Médias (9P)	
	IAF	NDVI	IAF	NDVI	IAF	NDVI	IAF	NDVI
BRS 294 RR	6,08 Aa	0,84 Ab	6,14 Aa	0,86 Aa	6,11 Aa	0,85 Aa	6,11 a	0,85 b
BMX Turbo RR	6,06 Aa	0,87 Aa	6,17 Aa	0,87 Aa	6,34 Aa	0,86 Aa	6,19 a	0,87 a
Médias (9P)	6,07 A	0,86 A	6,16 A	0,87 A	6,22 A	0,86 A		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula (linha) e minúscula (coluna) não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey. 9P: Médias de 9 parcelas.

Constatou-se pela Tabela 1 que não houve diferença significativa no comportamento do IAF entre as cultivares nos três sistemas de semeadura estudados. Em relação ao NDVI, não houve diferença significativa entre as cultivares para os espaçamentos 38 e 19x38 cm. Porém, para o espaçamento 19cm, a cultivar BMX Turbo apresentou valor (0,87) superior ao da BRS 294 (0,84). Considerando-se as médias das nove parcelas dentro de cada cultivar, novamente a cultivar BMX Turbo apresentou valor (0,87) superior ao da BRS 294 (0,85).

Segundo Jensen (2009), o NDVI é bastante relacionado ao IAF. Entretanto um dos seus limites é a saturação dos seus dados em relação a altos valores de IAF. Almeida (2008) detectou saturação de NDVI com IAF superior a 4,0 para a cultura de soja em solos com diferentes condições hídricas. A diminuição da sensibilidade do NDVI a altos valores de IAF ocorre devido à reflectância ser atenuada quando a superfície do solo está completamente encoberta pelas folhas. Esta saturação ocorre devido à quantidade de luz vermelha que pode ser absorvida pelas folhas, rapidamente alcançando um pico. Em contraste, a radiação no infravermelho próximo difundida pelas folhas continua a aumentar quando o IAF excede a 3 (MOTOMYIA et al., 2007).

Para a cultura do feijoeiro, Fideles Filho (2005) obteve coeficientes de determinação elevados e significativos entre IAF e NDVI, o que demonstra que o NDVI é uma combinação espectral poderosa para estimar o IAF do feijoeiro em qualquer situação de tratamento hídrico. Em seu trabalho, Motomyia et al. (2009) encontraram valores parecidos tanto para IAF e NDVI quando este atingiu seu valor máximo por volta de 0,85, encontrando correlação quadrática positiva com o IAF, com R^2 de 0,91, para a cultura do algodoeiro.

No presente estudo, o NDVI possivelmente apresentou tendência de saturação com altos valores de IAF, o que pode ter contribuído para a não obtenção de diferenças significativas entre as cultivares estudadas, o que tem sido descrito por diversos autores (ANTUNES et al., 1993; FONSECA, 2002; FIDELES FILHO, 2005). Tal fato evidencia uma das principais limitações quanto ao uso do NDVI, baseada na falta de sensibilidade do índice em diferenciar a vegetação em condições de alta biomassa. Por outro lado, como o IAF não diferiu entre as cultivares ou mesmo entre os espaçamentos, seria de se esperar que o NDVI também não variasse, ou seja, acompanhasse o resultado do IAF. Porém, o NDVI variou de 0,84 a 0,87, mesmo com a diferença estatística detectada no espaçamento de 19 cm. Para se ter certeza da saturação seria necessário ter leituras do NDVI anteriores ao estágio R1, provavelmente quando as plantas ainda apresentavam menores valores de IAF.

Conclusões

Para as condições do presente estudo, o NDVI não apresentou valores significativos para diferenciação das cultivares de soja de tipo de crescimento determinado e indeterminado sob condições de altos valores de IAF. Além disso, deve ser ressaltado que os diferentes arranjos exerceram influência somente sobre o NDVI e não sobre o IAF.

Referências

ALMEIDA, T.S. **Respostas espectrais da soja sob diferentes condições hídricas e de preparo do solo**. 2008. 100p. Dissertação (Mestrado em sensoriamento remoto) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

ALMEIDA, T.S.; FONTANA, D.C.; MARTORANO, L.G.; BERGAMASCHI, H. Índices de vegetação para a cultura da soja em diferentes condições hídricas e de sistema de manejo do solo. **Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, 2005.

ANTUNES, M. A. H.; ASSAD, E. D.; BATISTA, G. T. Variação das medidas espectrais tomadas com espectrorradiômetro ao longo do ciclo de crescimento da soja. In: **Anais... Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba, v.3, p.1-9, 1993.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas**. Jabotiabal, Funep, 41p., 2003.

CRUSIOL, L.G.T.; CARVALHO, J.F.C.; SIBALDELLI, R.N.R.; FARIAS, J.R.B. Diferenciação de cultivares de soja sensível e tolerante à seca por meio de medidas horárias de índice de vegetação (NDVI) e temperatura do dossel em casa de vegetação. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu, 2013.

CRUSIOL, L.G.T.; CARVALHO, J.F.C.; SIBALDELLI, R.N.R.; PROCÓPIO, S.O.; MARCELINO-GUIMARÃES, F.C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B. Influência do horário das medições nos valores de NDVI. **Anais... VI Congresso Brasileiro de Soja**, Cuiabá, 2012.

ECHER, E.; SOUZA, M.P. A Lei de Beer Aplicada na Atmosfera Terrestre. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 23, n.3, 2001.

FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa, 9p. (Circular Técnica n° 48), 2007.

FIDELES FILHO, J.; NÓBREGA, J.Q.; RAO, T.V.R.; BELTRÃO, N.E.M. Monitoramento de área foliar e biomassa do feijoeiro usando índice de vegetação por diferença normalizada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, SP, v.13, n.2, p.212-218, 2005.

FONSECA, E. L.; ROSA, L. M. G.; FONTANA, D. C. Caracterização espectral de *Paspalum notatum* em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.3, p.365-371, 2002.

LI-COR – **Manual LI-2000 Plant Canopy Analyzer**. Nebraska USA, 175p. 1992.

MOTOMIYA, A.V.A.; MOLIN, J.P.; CHIAVERATO, E.J. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.2, p.137-145, 2009.

MOTOMIYA, A.V.A.; BELLAMINUT, C.E.C.; MOLIN, J.P.; CHIAVERATO, E.J.; ECHEVARRIA, P.B.; COLACO, A.F. Determinação da intensidade de infestação de nematóide em algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio por meio de um sensor óptico ativo. **Anais...** VI Congresso Brasileiro de Algodão, Uberlândia, 2007.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** 2ed. São José dos Campos, Parêntese, 604p., 2009.

ROUSE, J.W.; HASS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. **Anais...** Third ERTS Symposium, vol.1, 1973.

SELLERS, P.J.; LOS, S.O.; JUSTICE, C.O.; TUCKER, C.J. A global 1 by 1 NDVI data set for climate studies. Part 2: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from NDVI. **International Journal of Remote Sensing**, vol.15, p.3519-3548, 1994.

STENBERG, P.; LINDER, S.; SMOLANDER, H.; ELLIS, J.F.; Performance of the LAI-2000 plant canopy analyzer in estimating leaf area index of some Scots pine stands. **Tree Physiology**, v.14, p.981-995, 1994.