
INFLUÊNCIA DA DIREÇÃO DA SEMEADURA E DA HORA DO DIA EM ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Grazieli Suszek¹, Eduardo Godoy de Souza², Miguel Angel Uribe-Opazo³, Lúcia Helena Pereira Nóbrega⁴, Márcia Regina Siqueira Konopazki⁵

RESUMO

A necessidade de nitrogênio (N) apresenta grande variabilidade espacial dentro de uma mesma área. A aplicação da real necessidade de N pode aumentar o rendimento, reduzir a aplicação desnecessária e o fluxo para os lençóis freáticos. A medida da reflectância espectral e conseqüente cálculo de índices de vegetação são considerados promissoras abordagens não destrutivas e sem contato para o sensoriamento instantâneo da deficiência de N em milho. Neste trabalho procurou-se estudar a influência da direção da sementeira e da hora do dia nos índices de vegetação no milho. As linhas de sementeira foram localizadas na direção Norte-Sul (NS) e Leste-Oeste (LO). O direcionamento da sementeira em relação à trajetória do sol influenciou os índices estudados: relação infravermelho próximo pelo vermelho - IVP/Verm, índice de vegetação da diferença normalizada - IVDN, índice de vegetação ajustado ao solo - SAVI, índice de vegetação ajustado ao solo aperfeiçoado - OSAVI, relação infravermelho próximo pelo verde - IVP/Verd, índice verde de vegetação da diferença normalizada - IVVDN. O IVVDN apresentou-se mais homogêneo e com menor coeficiente de variação, mostrando-se mais interessante na utilização da aplicação de N em tempo real e a taxas variáveis quando não for possível controlar a direção da sementeira. Caso contrário os índices SAVI e OSAVI são os mais indicados por apresentarem modelos com maior R².

Palavras-chave: aplicação de fertilizantes, reflectância, sensoriamento remoto.

INFLUENCE OF THE DAY HOUR AND DIRECTION OF THE SOWING ON SOME VEGETATION INDEXES OF CORN

ABSTRACT

There is high spatial variability of nitrogen availability within the same area. Supplying the required N can increase income, and reduce unnecessary N supply and its leaching to underground water. Measuring spectral reflectance and calculating vegetation indexes is considered promising non-destructive and non-contact approach to instantly measure N deficiency in corn. This study was done to determine the influence of the direction of the sowing and of the hour of the day on determination of the vegetation indexes of corn crop. The sowing lines followed North-South and East-West direction. The sowing direction and sun trajectory influenced the indexes: the NIR/red ratio, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), the Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index (OSAVI), the NIR/green ratio and the Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI). GNDVI was more homogeneous with lower coefficient of variation, thus appears to be more appropriate for use in real time N application and in variable rates, when control of sowing direction is not possible. In other cases SAVI and OSAVI are the more suitable as their models had higher R².

Keywords: fertilizer application, reflectance, remote sensing.

Recebido para publicação em 11/10/2006. Aprovado em 20/01/2010

- 1- Eng^a Agrícola, doutoranda em Eng. Agrícola, CCET/UNIOESTE, Grupo de Pesquisa GROSAP. graziagri@yahoo.com.br
- 2- Eng^o Mecânico, Professor Associado, CCET/UNIOESTE, Grupo de Pesquisa GROSAP. godoy@unioeste.br
- 3- Estatístico, Professor Associado, CCET/UNIOESTE, Grupo de Pesquisa GGEA. mopazo@unioeste.br
- 4- Eng^a Agrônoma, Professor Adjunto, CCET/UNIOESTE, Grupo de Pesquisa GROSAP. lhpn@unioeste.br
- 5- Eng^a Agrícola, Mestranda Engenharia Agrícola, CCET/UNIOESTE, Grupo de Pesquisa GROSAP. marciak@pop.com.br

INTRODUÇÃO

A busca de otimização do sistema de recomendação é constante e, nesse sentido, há grande potencial de inclusão de características de solo e de planta como indicadores complementares da disponibilidade de N no solo, principalmente em sistemas altamente produtivos e com aplicação de altas doses de N (RAMBO et al. 2004). O uso de insumos químicos agrícolas tem sido identificado como principal fator de contaminação de água e do solo. Como forma de minimizar as agressões causadas pela utilização de grandes doses de fertilizantes e diminuir custos de produção há necessidade de que sejam realizados balanços entre o fornecimento e a utilização destes insumos pela cultura.

O sensoriamento remoto, lembra Florenzano (2007), refere-se à obtenção de dados sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre. Desta forma, a obtenção dos dados requer o uso de energia, podendo ser proveniente de uma fonte natural como a luz do sol ou uma fonte artificial. Meneses e Madeira Netto (2001) explicam que os diferentes comprimentos de onda refletidas da superfície dos objetos podem ser representadas na forma gráfica sendo chamada de espectrorradiometria.

Desta forma, para Ponzoni (2001), desde a descoberta de que os vegetais extraem da radiação eletromagnética emitida pelo sol parte da energia que necessitam para sobreviver, a interação entre essa radiação e a vegetação passou a ser bastante explorada. O comportamento espectral da vegetação em especial a folha, pode mostrar deficiências que podem ser corrigidas em tempo real com a utilização da Agricultura de Precisão, melhorando a qualidade e o rendimento das culturas.

Assim verifica-se que o principal responsável pela cor verde das folhas é a clorofila, que atua na absorção do nitrogênio. Isso significa que conforme a necessidade de N na planta há certa mudança na cor das folhas, fazendo com que sua deficiência seja notada. Segundo Blackmer et al. (1994), o nível de N nas folhas pode ser rapidamente estimado pela quantidade de luz que delas é refletida. Por outro lado, Scharf & Lory (2002) afirmaram que as necessidades de nitrogênio são frequentemente diferentes das taxas realmente aplicadas pelos agricultores e também muito variáveis de uma área para outra. Os índices de vegetação medidos servem como indicadores do crescimento e do vigor de vegetação verde e pode ser utilizado no diagnóstico

de vários parâmetros biofísicos, incluindo o índice de área foliar, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade, com os quais têm apresentado elevados graus de correlação.

Malzer et al. (1996) e Blackmer & White (1998) verificaram que as folhas de milho deficientes em N refletem mais luz, em todo espectro visível, que as não deficientes, devido ao menor nível de clorofila, que absorve luz nesta faixa de comprimento de onda.

Índices de vegetação (IV) são úteis para minimizar variações devido a fatores desconhecidos e maximizar a sensibilidade da variável de interesse, tal como a concentração de clorofila na folha da planta de milho (DAUGHTRY et al., 2000, ZHAO et al., 2005); os referidos índices tiram proveito da baixa reflectância nos comprimentos de onda visíveis e da alta reflectância nos comprimentos de onda do IVP, que são característicos de vegetação viva. Tumbo et al. (2002) encontraram forte coeficiente de determinação ($R^2 = 0,94$) entre a relação IVP/verde e a concentração de clorofila em milho, no estádio vegetativo V6. Souza et. al (2009) avaliaram o comportamento de alguns índices de vegetação em relação à hora do dia e da taxa de nitrogênio aplicada para cultura do milho e concluíram que os índices de vegetação (IV) apresentaram aumento de seus valores médios com o aumento da taxa de N aplicada.

Objetivou-se, com este trabalho, estudar a influência da direção da semeadura do milho nos índices de vegetação: relação infravermelho próximo pelo vermelho - IVP/Verm, índice de vegetação da diferença normalizada - IVDN, índice de vegetação ajustado ao solo - SAVI, índice de vegetação ajustado ao solo aperfeiçoado - OSAVI, relação infravermelho próximo pelo verde - IVP/Verd e índice verde de vegetação da diferença normalizada - IVVDN.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram coletados em laboratórios e campos experimentais da Universidade do Missouri, Columbia, MO, EUA. A cultura foi instalada por meio de semeadura direta, administrando-se os nutrientes de acordo com a necessidade do solo e com taxa de N de 160 kg ha⁻¹. Sua localização era latitude 38° 54' 00" e longitude -92° 12' 00". As linhas de semeadura foram localizadas na direção Norte-Sul (NS) e

Leste-Oeste (LO). O espaçamento entre plantas foi de 0,25 m e entre linhas 0,80 m, proporcionando uma população aproximada de 50.000 plantas ha⁻¹.

As medidas foram estudadas no período de 03/09/2002 a 05/09/2002, estando o milho no estágio vegetativo V6 (Figura 1). Quatro radiômetros Crop Circle (Holland Scientific, Lincoln, NE, EUA) foram montados a 0,25 m acima do ápice das plantas e posicionados verticalmente para baixo, oferecendo um campo de visão de 28°, representando 0,125 m de diâmetro de visão. Dois radiômetros foram posicionados sobre as linhas orientadas na direção LO e outros dois sobre as linhas orientadas na direção NS.

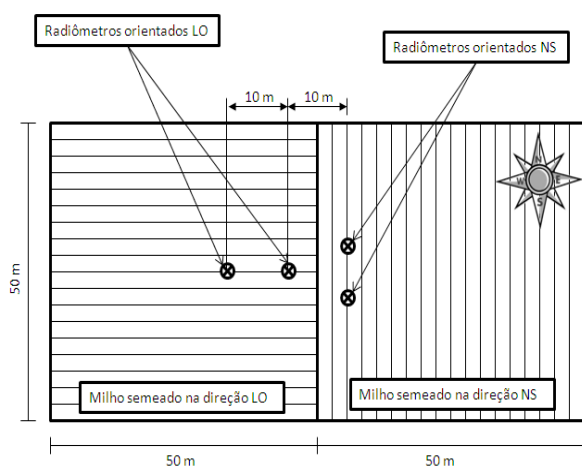


Figura 1. Esquema de distribuição dos radiômetros sobre o milho nas direções NS e LO.

Os radiômetros foram calibrados, visando-se que diferenças nas reflectâncias calculadas não fossem originadas de diferenças entre os radiômetros, mas sim devido às plantas sobre os seus campos de visão, tais como ao estado nutricional da planta e da geometria da radiação.

Nos três dias de medição (03, 04 e 05/09/2002) coletaram-se dados das 8 às 18 h. A resposta espectral foi medida nas bandas 550 nm (verde), 680 nm (vermelho) e 800 nm (infravermelho próximo), cada uma com 10 nm de largura. Um outro radiômetro, voltado verticalmente para cima, caracterizou a irradiação horizontal incidente. Pode-se então calcular a reflectância (R) nas bandas estudadas: R₅₅₀, R₆₈₀ e R₈₀₀. Foram selecionados os índices com base em resultados reportados por Daughtry et al. (2000) e Tumbo et al. (2002), desta forma selecionaram-se seis índices de vegetação:

1) Relação infravermelho próximo pelo vermelho - IVP/Verm (R_{800}/R_{680});

2) Índice de vegetação da diferença normalizada - IVND ($(R_{800}-R_{680})/(R_{800}+R_{680})$);

3) Índice de vegetação ajustado ao solo (optimized soil-adjusted vegetation index, SAVI) ($1,5*(R_{800}-R_{680})/(R_{800}+R_{680}+0,5)$);

4) Índice de vegetação ajustado ao solo aperfeiçoado (optimized soil-adjusted vegetation index, OSAVI) ($1,16*(R_{800}-R_{680})/(R_{800}+R_{680}+0,16)$);

5) Índices de vegetação relação infravermelho próximo pelo verde - IVP/Verd (R_{800}/R_{550}); e

6) Índice verde de vegetação da diferença normalizada - IVVDN ($(R_{800}-R_{550})/(R_{800}+R_{550})$).

A análise dos dados foi realizada por meio da estatística descritiva, sendo determinadas a média, a mediana, os quartis, o mínimo, o máximo, a variância, o desvio padrão e coeficiente de variação. Na análise do coeficiente de variação (CV) foi utilizada a proposta de Gomes & Garcia (2002) que classifica o CV obtido nos ensaios agrícolas de campo em baixos, quando inferiores a 10%; médios, quando de 10 a 20%; altos, quando de 20 a 30%; muito alto, quando superiores a 30%. Para comparação das direções estudadas (NS e LO) realizou-se a diferença entre as mesmas, transformou-se em porcentagem e construiu-se um gráfico temporal para melhor visualização e comparação entre os índices estudados.

Em seguida, fez-se uma análise de regressão para ajuste dos modelos que descrevem a influência do tempo e da direção de semeadura nos índices de vegetação. Para representar o efeito em cada direção, utilizou-se a média das medições dos radiômetros para direção NS e somente um dos radiômetros para a direção LO. Um dos radiômetros da direção LO apresentou médias significativamente menores quando comparado aos outros radiômetros, o que não era esperado, tendo sido avaliado como erro experimental. Desta forma optou-se pela retirada do mesmo. Possivelmente, ocorreu um posicionamento incorreto do radiômetro sobre a planta.

Para elaborar os modelos de regressão dos índices de vegetação, selecionaram-se as variáveis: ângulo zenital (ψ , graus), hora do dia (t, horas) e direção de semeadura (dir, variável Dummy que assume o valor 0 para a direção LO e 1 para a direção NS). Essas variáveis foram selecionadas por se correlacionarem com a posição de sol e o grau de iluminação da cultura, fatores influentes na reflectância (DAVIS, 1957; JACKSON et al., 1979 e TUMBO et al., 2000).

Visando reduzir a esperada multicolinearidade pelo uso de modelos polinomiais, as variáveis quantitativas independentes foram transformadas para ângulo zenital centrado (ψ_c) e hora do dia centrada (t_c). Na elaboração dos melhores modelos de regressão múltipla, empregou-se o método de seleção automática de variáveis “forward.” O coeficiente de determinação (R^2) e o coeficiente de determinação ajustado foram utilizados para avaliar os melhores modelos. Após uma análise exploratória dos dados, optou-se pelo ajuste ao seguinte modelo cruzado:

$$Y = \beta_0 + \beta_1*t_c + \beta_2*t_c^2 + \beta_3*\psi_c + \beta_4*\psi_c^2 + \beta_5*t_c*\psi_c + \beta_6*dir + \beta_7*dir*t_c + \beta_8*dir*t_c^2 + \epsilon, \quad (1)$$

$$+ \beta_9*dir*\psi_c$$

em que,

Y = variável resposta (IVP/Verm, IVDN, SAVI, OSAVI, IVP/Verd e IVVDN)

β_0 à β_9 = parâmetros do modelo ajustado;

ϵ = erro aleatório;

dir = variável Dummy que assume o valor 0 para a direção LO e 1 para a direção NS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1 é apresentada a análise estatística descritiva para os índices de vegetação, não se considerando a direção de semeadura. Os CV variaram de 3 (baixo, IVVDN) a 21 % (alto, IVP/Verm). O CV encontrado para o IVDN também foi baixo (5 %), fazendo dos coeficientes IVVDN e IVDN os mais adequados, caso não se queira fazer correções quanto à

hora do dia e da direção de semeadura em aplicação de fertilizantes em tempo real e a taxas variáveis. Simões et al. (2003), analisando o comportamento espectral da cana-de-açúcar no município de Araras SP, obteve para o IVDN, coeficientes de variação maiores do que 20% em todas as 18 amostras analisadas.

Já Rambo et al. (2005) avaliaram as características óticas da folha e do dossel como indicadores para predição da necessidade de nitrogênio em cobertura em milho, utilizando o radiômetro “crop scan”, obtendo média de 0,46 e CV de 13,75 para o IVDN medido no estádio vegetativo V6, apresentando média menor e CV maior do que os encontrados neste estudo. O mesmo autor concluiu que a reflectância do dossel (milho), medida pelos radiômetros “Crop Scan” e “Green Seeker”, tem potencial para ser usada como indicadora do nível de N em milho, porém, são necessários mais estudos para aumentar sua eficiência.

No Quadro 2 é apresentada a análise estatística descritiva para os índices de vegetação analisados considerando-se a direção de semeadura. De forma geral, observa-se para direção NS maiores médias e CV do que na direção LO. Os CV da direção LO variaram de 2% (baixo, IVVDN) a 15% (médio, IVP/Verm). Já para a direção NS, variaram de 4% (baixo, IVVDN) a 22% (alto, IVP/Verm).

Para a relação IVP/Verm, os CVs variaram de médio (15 %) para a direção LO a alto (22 %) na direção NS. Já para dados do IVDN, pode-se observar que ambas as direções apresentaram variabilidade semelhante, isto é, CV próximos. Como os CV foram um dos menores encontrados (menores que 5 %, baixo), considerados homogêneos, pode-se caracterizar o IVDN como um dos melhores resultados entre os índices analisados.

Com o índice SAVI, o maior CV foi observado para

Quadro 1. Estatística Descritiva da relação infravermelho próximo pelo vermelho (IVP/Verm), do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN), do índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), do índice de vegetação ajustado ao solo aperfeiçoado (OSAVI), da relação infravermelho próximo pelo verde (IVP/Verd) e do índice verde de vegetação da diferença normalizada (IVVDN)

Estatísticas	IVP/Verm	IVDN	SAVI	OSAVI	IVP/Verd	IVVDN
Média	7,61	0,76	0,54	0,65	6,07	0,71
DP*	1,58	0,04	0,07	0,06	0,52	0,02
CV**	21%	5%	14%	9%	9%	3%
Mínimo	5,24	0,68	0,44	0,56	4,61	0,64
1º Quartil	6,46	0,73	0,48	0,61	5,69	0,70
Mediana	7,38	0,76	0,53	0,64	6,15	0,72
3º Quartil	8,33	0,78	0,58	0,68	6,40	0,73
Máximo	15,93	0,88	0,83	0,85	8,26	0,78

*DP: desvio padrão **CV: coeficiente de variação

a direção NS (15 %, médio), correspondendo, portanto, a uma média homogeneidade. Para a direção LO foi encontrado valor de 9 % (baixo), caracterizando dados homogêneos.

Pode-se observar que, apesar da semelhança com o SAVI, o índice OSAVI apresentou dados homogêneos nas duas direções, com os CV iguais a 9 % para a direção NS e 7 % para LO.

A relação IVP/Verd também resultou em coeficientes de variação homogêneos, sendo 10 % para direção NS e 5 % para direção LO. Já o IVVDN apresentou coeficientes de variação menores entre os índices estudados sendo de 4 % para NS e 2 % para LO.

De acordo com os CV observados no Quadro 2, pode-se verificar que existe menor influência da hora para a direção LO e para o índice IVVDN.

Na Figura 2 são apresentados os dados obtidos para as direções NS e LO em função do tempo para o período de 3 a 5/09/2002. Os radiômetros posicionados sobre o milho semeado na direção NS apresentaram, freqüentemente, médias maiores do que os radiômetros orientados para a direção LO, exceto para o IVP/Verd e IVVDN, percebendo-se que, próximo ao meio dia solar os valores para os índices, nas duas direções, diminuem e voltam a aumentar fora deste período. Isso somente não foi verificado na direção LO para os índices IVP/Verd (Figura 2 (e)) e IVVDN (Figura 2 (f)).

A relação infravermelho próximo/vermelho (IVP/Verm) apresentou-se mais dispersa na direção NS do que na direção LO (Figura 2(a)), devido à maior variabilidade dos dados na direção NS (Quadro 1). Essa direção também mostra maior influência da hora do dia quando comparada à direção LO.

O índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) (Figura 2 (c)) apresenta o mesmo valor para ambas as direções, próximo às 14 horas. Já para o índice de

vegetação ajustado ao solo aperfeiçoado (OSAVI) tem-se um comportamento bastante semelhante ao SAVI. Para os dois gráficos (c) e (d), observa-se que para direção NS, os dados visualmente apresentam maior dispersão e maior influência da hora do dia.

Para as duas figuras (c) e (d), observa-se que para direção NS os dados visualmente apresentam maior dispersão e maior influência da hora do dia.

Já os índices IVP/Verd e IVVDN comportam-se visualmente de forma semelhante entre si, mas diferente dos outros índices, apresentando dependência na direção LO de forma linear ascendente e média superior à direção NS.

Na Figura 3 é apresentado o comportamento médio da diferença porcentual entre as duas direções para os índices estudados. Já no Quadro 3 são apresentados os mesmos índices, com diferença média porcentual em módulo entre as duas direções. Verifica-se que a influência da direção nos diferentes índices é variável, sendo menor e mais constante para o IVDN e IVVDN, sendo estes os mais indicados caso não seja realizada a correção em relação a direção de semeadura. As maiores média e mediana foram encontrada para o IVP/Verm e o maior CV para o SAVI, mostrando-se o mais instável quanto é levada em consideração a diferença entre as direções.

A partir dos coeficientes de determinação (R²) encontrados (Quadro 4), verificou-se que a explicação da variável independente foi maior para os índices SAVI (86,6 %) e OSAVI (84,8 %) de acordo com o modelo, fazendo destes índices os mais indicados caso optasse por um sistema de aplicação de fertilizantes em tempo real e a taxas variáveis utilizando modelagem matemática para corrigir a influência da direção e da hora do dia.

Quadro 2. Estatística descritiva dos índices de vegetação IVP/Verm, IVDN, SAVI, OSAVI, IVP/Verd e IVVDN para as direções de semeadura NS e LO

	IVP/Verm		IVDN		SAVI		OSAVI		IVP/Verd		IVVDN	
	NS	LO	NS	LO	NS	LO	NS	LO	NS	LO	NS	LO
Média	8,22	7,01	0,77	0,75	0,56	0,52	0,67	0,63	5,86	6,28	0,70	0,72
DP*	1,77	1,08	0,04	0,03	0,09	0,05	0,06	0,04	0,59	0,33	0,02	0,01
CV**	22%	15%	5%	4%	15%	9%	9%	7%	10%	5%	4%	2%
Mínimo	5,48	5,24	0,69	0,68	0,44	0,44	0,56	0,56	4,87	4,61	0,66	0,64
1º Quartil	7,05	6,11	0,75	0,72	0,49	0,48	0,62	0,59	5,39	6,11	0,68	0,72
Mediana	7,93	6,80	0,77	0,74	0,54	0,51	0,66	0,63	5,78	6,24	0,70	0,72
3º Quartil	8,86	7,81	0,80	0,77	0,62	0,56	0,71	0,67	6,27	6,47	0,72	0,73
Máximo	15,93	9,82	0,88	0,81	0,83	0,68	0,85	0,72	8,26	7,21	0,78	0,76

*DP: desvio padrão **CV: coeficiente de variação

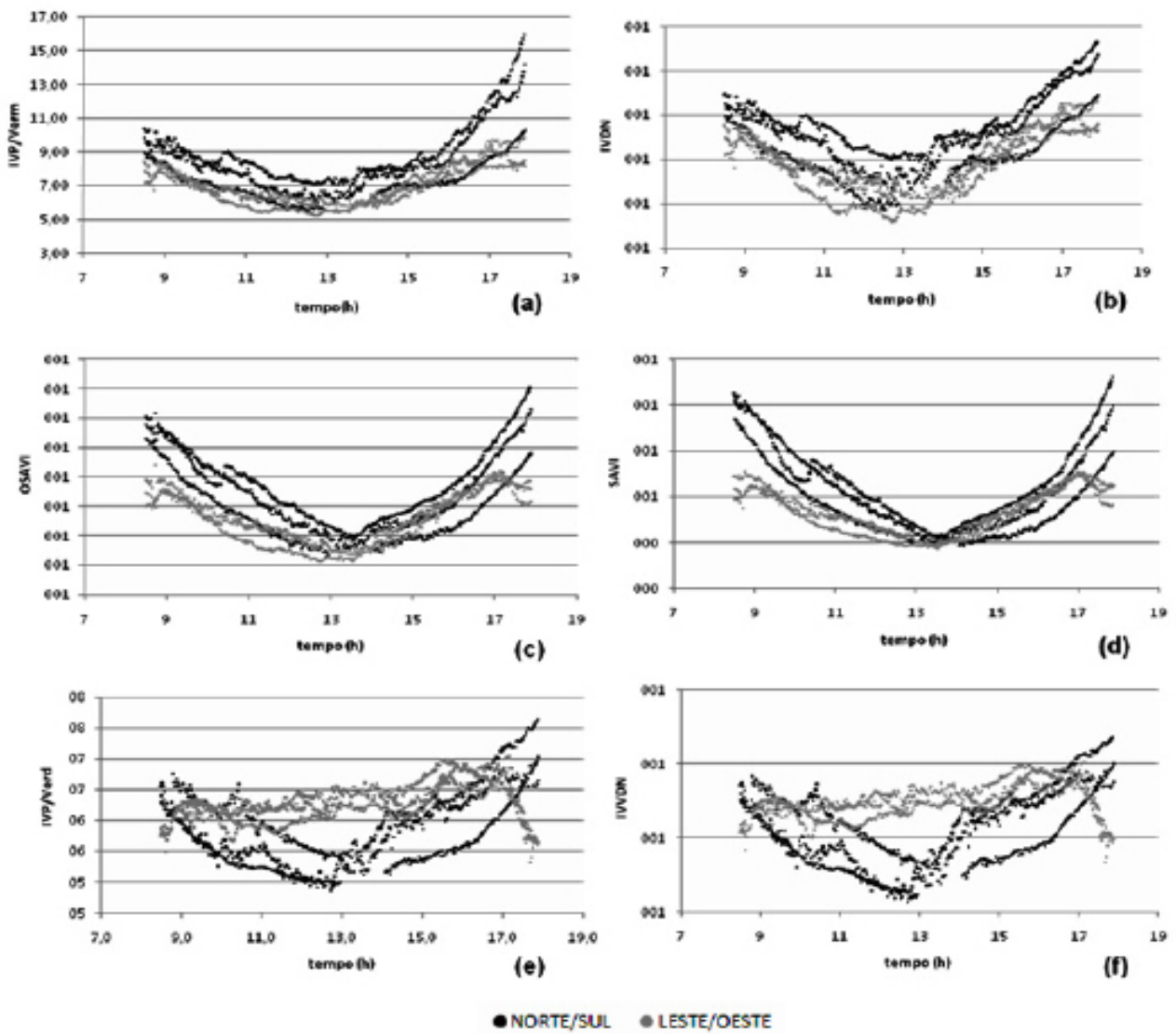


Figura 2. Comportamento médio dos índices de vegetação em função da direção da sementeira e da hora do dia, para os três dias estudados: (a) relação infravermelho próximo pelo vermelho (IVP/Verm), (b) índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN), (c) índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), (d) índice de vegetação ajustado ao solo aperfeiçoado (OSAVI), (e) relação infraVermelho próximo pelo verde (IVP/Verd) e (f) índice verde de vegetação da diferença normalizada (IVVDN).

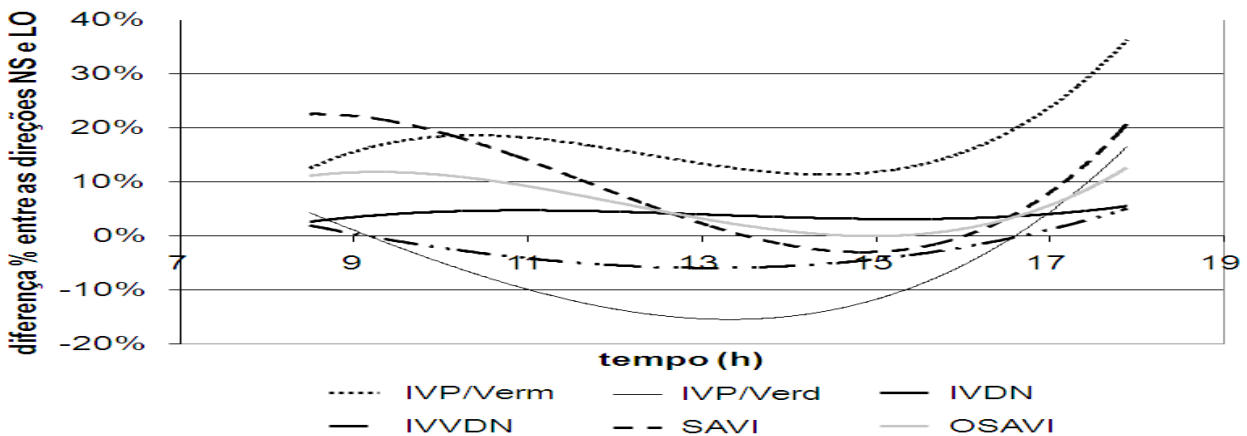


Figura 3. Diferença porcentual média entre as direções LO e NS para os índices estudados.

Quadro 3. Diferença média percentual em módulo (%Mod (NS-LO)) entre as direções NS e LO para os índices de vegetação IVP/Verm, IVDN, SAVI, OSAVI, IVP/Verd e IVVDN

Estatística	%Mod(NS-LO)					
	IVP/Verm	IVDN	SAVI	OSAVI	IVP/Verd	IVVDN
Média	18,1%	4,4%	11,1%	7,3%	10,3%	3,8%
DP	0,119	0,026	0,091	0,050	0,060	0,023
CV	66%	59%	83%	69%	58%	61%
Mediana	17,8%	4,5%	9,0%	6,3%	9,3%	3,3%

Quadro 4. Coeficientes de regressão para as relações IVP/Verm e IVP/Verd e para os índices de vegetação IVDN, SAVI, OSAVI e IVVDN em função da hora do dia centrada (t_c), do ângulo zenital centrado (ψ_c) e da direção de semeadura (dir)

Parâmetros do Modelo	IVP/Verm	IVDN	SAVI	OSAVI	IVP/Verd	IVVDN
Intercepto (β_0)	7,473814	0,777679	0,472715	0,697124	29,418503	1,518593
t_c (β_1)	0,187079	0,007578	-	0,007578	1,498372	0,051931
t_c^2 (β_2)	-0,097508	-0,005703	0,008223	-0,011239	-3,990860	-0,136821
ψ_c (β_3)	0,126602	0,005400	-	0,009259	2,002182	0,068637
ψ_c^2 (β_4)	-	-	-0,000125	-	0,022684	0,000773
$t_c * \psi_c$ (β_5)	-	-0,000087	-	-	-0,002758	-0,000128
dir (β_6)	-0,918448	-	-0,155707	-0,091650	-1,887854	-0,062659
dir * t_c (β_7)	-	-0,001625	-0,021525	-0,012939	-0,040319	-
dir * t_c^2 (β_8)	0,311856	0,004497	0,030103	0,019435	0,212651	0,006094
dir * ψ_c (β_9)	-0,135824	-0,002367	-0,013635	-0,009064	-0,078223	-0,001673
R ² (%)	78,2	79,6	86,6	84,8	68,1	69,4

Obs. Todos os estimadores são significativos pelo teste t em nível de 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

- O direcionamento da semeadura do milho em relação à trajetória do sol e a hora do dia influenciaram os índices de vegetação estudados;
- O milho semeado na direção Norte-Sul apresentou índices de vegetação com maior variabilidade se comparado com a direção Leste-Oeste;
- O IVVDN e o IVDN mostraram-se mais adequados quando não forem utilizadas correções quanto à hora do dia e da direção de semeadura;
- Considerando que os maiores R² foram encontrados para os índices SAVI (87%) e OSAVI (85%), estes mostraram-se mais indicados quando for utilizada a modelagem matemática para corrigir a influência da direção e da hora do dia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S.; VARVEL, G. E. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurement in corn leaves. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p.934-938, 1994.
- BLACKMER, A.M.; WHITE, S.E. Using precision farming technologies to improve management of soil and fertilizer nitrogen. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 49. p.555-564, 1998.
- DAUGHTRY, C.S.T.; WALTHALL, C.L.; KIM, M.S.; BROWN DE COLSTOUN, E.; MCMURTREY III, J.E. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.74, n.2, p.229-239, 2000. ISSN 0034-4257
- DAVIS, P. A. Exploring the atmosphere's first mile. The great plains turbulence field program. In: O'Neill, Nebraska; Lettau, H. H.; Davidson, B. (ed.). SYMPOSIUM PUBLICATIONS DIVISION, 1957, New York. **Proceedings...** New York: Pergamon Press, 1957. p.377-383.

- FLORENZANO, T. G. 2007. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos. 102 p.
- GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.
- JACKSON, R. D.; PINTER, J. R.; IDSO, S. B.; REGINATO, R. J. Wheat spectral reflectance: interactions between configuration, sun elevation and azimuth angle. **Applied Optics**, Washington, v.18, n. 22, p. 3730-3732, 1979.
- MALZER, G.L., P.J. COPELAND, J.G. DAVIS, J.A. LAMB, P.C. Robert, T.W. BRUULSEMA. Spatial variability of profitability in site-specific N management. In: PRECISION AGRICULTURE, PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE, 3, 1996, Madison: American Society of Agronomy, 1996. p. 967-975
- MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. **Sensoriamento remoto. Reflectância dos alvos naturais**. Planaltina: UNB/Embrapa Cerrados, 2001. 262p.
- PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. (Org.). **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Planaltina: UNB/Embrapa Cerrados, 2001. p. 63-119.
- RAMBO, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. & BAYER, C. Testes de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.4, p.1279-1287, 2004.
- RAMBO, L. **Integração de características de planta, de dossel e de solo para maior eficiência da adubação nitrogenada em cobertura em milho**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 176p. (Tese de Doutorado)
- SCHARF, P. C; LORY, A. J. Calibrating corn color from aerial photographs to predict side dress N need. **Agronomy Journal**. Madison, v.94, p.397-404, 2002.
- SIMÕES, M. S.; ROCHA, J. V.; LAPARELLI, R. A. C. Análise do comportamento espectral de uma área comercial de cana-de-açúcar em duas safras por meio de radiometria de campo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2367 - 2374.
- SOUZA, E.G.; ROCHA, T.; URIBE-OPAZO, M. A.; NÓBREGA, L. H. P. 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, (Suplemento), p.865–872, 2009.
- TUMBO, D. S., WAGNER, D. G., e HEINEMANN, P. H. **Real-world hyperspectral characteristics of corn plants under different chlorophyll levels**. 2000 ASAE Annual International Meeting. Paper No. 001093.
- TUMBO, D. S.; WAGNER, D. G.; HEINEMANN, P. H. Hyperspectral characteristics of corn plants under different chlorophyll levels. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.45, n.3, p.815-823, 2002.
- ZHAO, D.; REDDY, R. K.; KAKANI, V. G.; READ, J. J.; KOTI, S. Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field-grown cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v.97, p.89-98, 2005.