

# **CORREÇÕES MATEMÁTICAS DA RELAÇÃO INFRAVERMELHO/VERMELHO E DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA PARA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM TEMPO REAL**

**GRAZIELI SUSZEK<sup>1</sup>, EDUARDO G. DE SOUZA<sup>2</sup>, LÚCIA H. P. NÓBREGA<sup>3</sup>, MIGUEL A. URIBE OPAZO<sup>4</sup>, PETER SCHARF<sup>5</sup>**

1 Eng<sup>a</sup> Agrícola, Mestranda Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do oeste do Paraná UNIOESTE, Grupo de Pesquisa GROSAP, Cascavel - PR. Fone: (0XX45) 8405.4608, graziagri@yahoo.com.br

2 Eng<sup>o</sup> Mecânico, Prof. Associado, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CCET) da UNIOESTE, Grupo de Pesquisa GROSAP, Cascavel, PR.

3 Eng<sup>a</sup> Agrônoma, Prof. Adjunto, CCET da UNIOESTE, Grupo de Pesquisa GROSAP, Cascavel, PR.

4 Estatístico, Prof. Associado, CCET da UNIOESTE, Grupo de Pesquisa GGEA, Cascavel, PR.

5 Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Professor da University of Missouri, EUA.

**Escrito para apresentação no  
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
31 de julho a 4 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB**

**RESUMO:** A aplicação da real necessidade de nitrogênio tem o potencial de aumentar a produtividade em áreas onde previamente eram fertilizadas abaixo da recomendação e de reduzir a aplicação desnecessária em áreas previamente fertilizadas acima da recomendação. O objetivo deste trabalho foi estudar a influência da direção da semeadura do milho nas relações infravermelho pelo vermelho e no índice de vegetação da diferença normalizada e caracterizar a sua dependência com a hora do dia e do ângulo zenital. Para isto a cultura foi implantada utilizando-se a técnica do plantio direto e os nutrientes foram administrados de acordo com a necessidade do solo e com taxa de nitrogênio constante em 160 kg ha<sup>-1</sup>. As linhas de semeadura foram localizadas na direção Norte-Sul e Leste-Oeste. O direcionamento da semeadura do milho em relação à trajetória do sol influenciou os índices estudados. O IVDN apresentou-se mais homogêneo (com menor coeficiente de variação) mostrando-se mais interessante na utilização da aplicação de nitrogênio em tempo real. Os modelos encontrados para caracterizar a dependência dos índices em função da hora do dia, apresentaram coeficientes de determinação em torno de 80%, caracterizando uma boa explicação da variável dependente.

**PALAVRAS-CHAVE:** REFLECTÂNCIA, ÍNDICE VEGETAÇÃO, SENSORIAMENTO REMOTO

## **MATHEMATICAL CORRECTIONS OF REFLECTANCE INDICES OF CORN FOR REAL TIME NITROGEN APPLICATION**

**ABSTRACT:** The application of the precise amount of nitrogen needed has the potential to increase productivity in areas which previously were fertilized below crop need and to reduce unnecessary application in areas previously fertilized above crop need. Fertilizer application based on crop spectral characteristics is a promising approach to this problem. The objective of this work was to study how corn reflectance indices (near infrared/red and NDVI) were influenced by the hour of the day and sun angle, and the dependence of this relationship on row direction. Corn was planted in North-South and East-West-oriented rows and fertilized with 160 kg N/ha. Reflectance in four wavelengths was measured at stage V6 using a Crop Circle passive radiometer positioned over the same plants from sunrise to sunset. Row direction influenced the daily pattern of reflectance, which changed more in North-South rows. NDVI had a smaller coefficient of variation than near infrared/red, possibly making it more desirable for real time crop sensing to control nitrogen rate. Models developed to

characterize the dependence of the indices on row direction, sun angle, and time of day had R2 values around 0.8, suggesting a good chance of improving system performance by correcting reflectance measurements for these effects.

KEY WORDS: REFLECTANCE, VEGETATION INDEX, REMOTE SENSING

**INTRODUÇÃO:** A utilização de grandes doses de fertilizantes visando aumentar a produtividade pode causar problemas ambientais. Como forma de minimizar tais agressões e diminuir custos de produção há necessidade de se realizar balanços entre o fornecimento e a utilização destes insumos pela cultura (AUERNHAMMER et. al., 1994). A interação entre informações prévias e dados coletados em tempo real por sensoriamento é uma forma de melhorar a qualidade das intervenções localizadas no campo. O aprimoramento do conhecimento da relação entre radiação eletromagnética e a vegetação tem ocorrido pela realização de estudos do comportamento espectral da vegetação (MENESES e MADEIRA NETTO, 2001). SCHARF e LORY (2002) afirmaram que as necessidades de nitrogênio (N) são freqüentemente muito diferentes das taxas realmente aplicadas pelos agricultores e também muito variáveis de uma área para outra. A medição da reflectância espectral é importante para que seja possível a prática de aplicação de fertilizantes a taxas variáveis em tempo real, mas é influenciada por muitos fatores. Segundo MENESES e MADEIRA NETTO (2001), para minimizar a variabilidade causada por fatores externos, a reflectância espectral tem sido transformada e combinada em vários índices de vegetação. O objetivo deste trabalho foi estudar a influência da direção da semeadura do milho nas relações infravermelho pelo vermelho e no índice de vegetação da diferença normalizada – IVDN. O conhecimento da magnitude de influência permitirá encontrar-se correções matemáticas que possibilitarão a conversão da reflectância na correta taxa necessária de N.

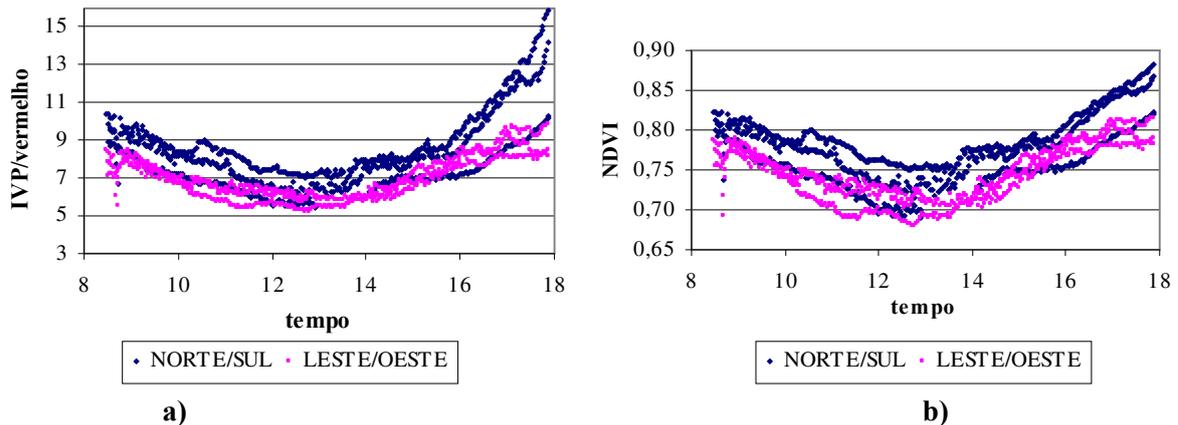
**MATERIAL E MÉTODOS:** Os dados foram levantados em laboratórios e campos experimentais da Universidade do Missouri, Columbia, MO, EUA. A cultura foi instalada por meio de semeadura direta, administrando-se os nutrientes de acordo com a necessidade do solo e com taxa de N de 160 kg ha<sup>-1</sup>. O espaçamento entre plantas foi de 25 cm e 80 cm entre linhas, proporcionando população aproximada de 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>. As medidas foram tomadas no período de 03/09/2002 a 05/09/2002, estando o milho no estágio vegetativo V6. Dois radiômetros foram posicionados sobre as linhas orientadas na direção LO (radiômetros 1 e 5) e dois sobre as linhas orientadas NS (radiômetros 2 e 3). A resposta espectral das folhas do milho foi medida nas bandas 680 nm (vermelho) e 800 nm (infravermelho próximo), cada uma com 10 nm de largura. Outro radiômetro (radiômetro 4), foi colocado verticalmente para cima para medir a irradiação nos mesmos comprimentos de onda.. Pode-se então calcular a reflectância nas bandas 680 nm (vermelho, R<sub>680</sub>) e 800 nm (infravermelho próximo,

R<sub>800</sub>) através da seguinte equação  $r_i = \frac{Rad(ji)}{Rad4(i)}$  em que: r<sub>i</sub> é a reflectância na banda i (680 e 800 nm),

Rad (ji) é a radiação medida no radiômetro j (1,2,3,e 5) e na banda i e Rad4 (i) é a radiação medida no radiômetro 4 (voltado verticalmente para cima) na banda i (680 e 800 nm) . Foram selecionados para análise os índices de vegetação: relação InfraVermelho Próximo pelo Vermelho - IVP/Verm (R<sub>800</sub>/R<sub>680</sub>) e Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - IVDN (Normalized Difference Vegetation Index, (R<sub>800</sub>-R<sub>680</sub>)/(R<sub>800</sub>+R<sub>680</sub>)). A análise estatística contemplou a análise descritiva seguida de análise de regressão para ajuste dos modelos que descrevem a influência do tempo nos índices de vegetação. Para representar a direção NS utilizou-se a média dos radiômetros 2 e 3, para a direção LO utilizou-se somente o radiômetro 5, visto que o radiômetro 1, apresentou médias significativamente menores o que não era esperado, tendo sido avaliado como erro experimental, possivelmente, devido ao posicionamento incorreto do radiômetro sobre a planta. Para elaborar os modelos de regressão dos índices de vegetação foram selecionadas as variáveis: ângulo zenital ( $\psi$ , graus), hora do dia (t, hora) 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 ( $\psi_c$ ) e hora do dia centrada (t<sub>c</sub>). Após análise dos dados optou-se pelo ajuste ao

seguinte modelo:  $Y = a + b \cdot t_c + c \cdot t_c^2 + d \cdot \psi_c + e \cdot \psi_c^2 + f \cdot t_c \cdot \psi_c + g \cdot \text{dir} + h \cdot \text{dir} \cdot t_c + i \cdot \text{dir} \cdot t_c^2 + \varepsilon$ , em que:  $Y$ : variável resposta (IVP/Verm, IVP/Verd e IVDN),  $a, b, c, d, e, f, g, h, i$ : parâmetros do modelo a serem estimados e  $\varepsilon$ : erro aleatório.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Durante o decorrer do dia, os índices IVP/Verm e do IVDN apresentaram frequentemente valores maiores na direção Norte-Sul do que a direção Leste/Oeste (Figura 1). Próximo ao meio dia solar, os valores dos índices atingem seu mínimo. Observa-se ainda que os índices apresentaram menor variabilidade e menor influência da hora do dia na direção Leste/Oeste se comparado a Norte/Sul.



**Figura 1** (a) Relação Infravermelho Próximo pelo Vermelho (IVP/Verm) e (b) Índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) no período de 3 à 5/09/2002, para as direções Norte/Sul e Leste/Oeste, em função da hora do dia.

Na Tabela 1 é apresentada a análise estatística descritiva dos índices estudados. Conforme visualizado anteriormente a direção de semeadura influenciou os índices estudados, sendo que as plantas semeadas na direção Norte/Sul apresentaram médias e valores máximos. Verifica-se também que os resultados associados à direção Leste/Oeste apresentaram menor variabilidade, mostrando os menores coeficientes de variação (CV). O IVDN apresentou os menores coeficientes de variação quando comparado a relação IVP/Verm, mostrando menor dispersão e maior homogeneidade dos dados em relação a sua média.

Tabela 1. Estatística descritiva para Relação Infravermelho Próximo pelo Vermelho (IVP/Verm) e Índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) para as direções Norte/Sul e Leste/Oeste.

	IVP/Vermelho		IVDN	
	Norte/Sul	Leste/Oeste	Norte/Sul	Leste/Oeste
<b>Média</b>	8,216	7,009	0,775	0,746
<b>Desvio padrão</b>	1,772	1,077	0,037	0,033
<b>Mínimo</b>	5,482	5,237	0,691	0,679
<b>Máximo</b>	15,934	9,819	0,882	0,815
<b>Quartil 1</b>	7,048	6,115	0,750	0,719
<b>Mediana</b>	7,926	6,804	0,775	0,744
<b>Quartil 3</b>	8,861	7,811	0,796	0,773
<b>CV (%)</b>	21,56%	15,37%	4,81%	4,43%

CV: Coeficiente de Variação

Foram desenvolvidos modelos pelo método de mínimos quadrados para descrever a dependência das variáveis respostas IVP/Verm e IVDN em relação às variáveis ângulo zenital centrado ( $\psi_c$ ), hora do dia centrada ( $t_c$ ) e direção de semeadura ( $\text{dir}$ ). A explicação da variabilidade índices de vegetação pelos modelos foi maior que 77 %, visto que o  $R^2$  encontrado foi 77,8 % para a relação IVP/Verm e 79,3 % para o IVDN (Tabela 2). Ressalte-se que a inclusão da variável Dummy ou binária  $\text{dir}$  (0 para a direção LO, 1 para a direção NS) possibilitou a construção de um único modelo para ambas as direções, para cada variável resposta.

Tabela 2. Coeficientes de regressão para os índices de vegetação Relação Infravermelho Próximo pelo Vermelho (IVP/Verm) e Índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) em função do ângulo zenital ( $\psi$ , graus), hora do dia (t, hora) e direção de semeadura (dir, variável Dummy que assume o valor 0 para a direção LO e 1 para a direção NS).

Parâmetros do modelo	IVP/Vermelho	IVDN
Intercepto	7,474	0,777
$t_c$	0,187	0,008
$t_c^2$	-0,097	-0,006
$\psi_c$	0,127	0,005
$\psi_c^2$	-	-
$t_c * \psi_c$	-	-0,00009
dir	-0,918	-
dir * $t_c$	-	-0,002
dir * $t_c^2$	0,312	0,004
dir * $\psi_c$	-0,136	-0,002
$R^2$ (%)	78,2	79,6

Todos os estimadores dos coeficientes de regressão foram significativos ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste T.

**CONCLUSÕES:** A partir do estudo da relação Infravermelho pelo vermelho IVP/Verm e do índice de vegetação da diferença normalizada IVDN em milho, conclui-se que o direcionamento da semeadura do milho em relação à trajetória do sol, a hora do dia e o ângulo zenital influenciaram ambos os índices, implicando que sensores de aplicação de nitrogênio a taxas variáveis e em tempo real que utilizarem qualquer um dos índices estudados deverão contabilizar estas variáveis enquanto a operação for realizada. O milho semeado na direção Norte-Sul apresentou maiores coeficientes de variação se comparado com a direção Leste-Oeste. Os menores coeficientes de variação foram encontrados no IVDN, apresentando-se desta forma mais homogêneo, além de menos sensível à direção de semeadura, e portanto, apropriado para uso em sistemas de aplicação de fertilizantes a taxas variáveis em tempo real, utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto. A inclusão da variável Dummy possibilitou a construção de um único modelo para ambas as direções, para cada variável resposta (IVP/Verm e IVDN).

#### LITERATURA CITADA:

- AUERNHAMMER, H.; DEMMEL, M.; MUHR, T.; ROTTMEIER, J.; WILD, K. GPS for yield mapping on combines. **Computers and Eletronics in Agriculture**. v.11, p.54-68. 1994.
- DAVIS, P.A. **Exploring the atmosphere's first mile; proceedings of the Great Plains turbulence field program, 1 August to 8 September 1953**, O'Neill, Nebraska. Edited by Heinz H. Lettau and Ben Davidson. New York, Symposium Publications Division, Pergamon Press, p.377-383, 1957.
- JACKSON, R.D.; PINTER, P.J.; IDSO, S.B.; REGINATO, R.J. **Wheat spectral reflectance: interactions between crop configuration, sun elevation, and azimuth angle**. Applied Optics, v.18, n.3, p.730-33. 1979.
- MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO J. S. **Sensoriamento remoto: Reflectância de alvos naturais**. Editora Universidade de Brasília/EMBRAPA; 1a. edição, 2001; 1vol, 262p.
- SCHARF, P. C; LORY, A. J. **Calibrating corn color from aerial photographs to predict sidedress N need**. Submitted to Agron. J., v.94 p.397-404, 2002.
- TUMBO, D.S.; WAGNER, D.G.; HEINENMANN, P.H. Real-world hyperspectral characteristics of corn plants under different chlorophyll levels. 2000 ASAE Annual International Meeting. Anais.... Mineapolis, MN: ASAE. 2000. ASAE Paper No. 001093.